

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS GRADUÇÃO EM EDUCAÇÃO  
DOUTORADO EM EDUCAÇÃO:  
ENSINO DE CIÊNCIAS NATURAIS**

**ATIVIDADES EXPERIMENTAIS:  
DO MÉTODO À PRÁTICA  
CONSTRUTIVISTA**

**Jose de Pinho Alves Filho**

**Prof. Dr. Maurício Pietrocola  
Orientador**

*Tese apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Educação da  
Universidade Federal de Santa Catarina para  
obtenção do grau de Doutor em Educação*

**Florianópolis (SC)  
2000**





**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
CURSO DE DOUTORANDO EM EDUCAÇÃO**

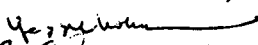
**“ATIVIDADE EXPERIMENTAL: DO MÉTODO À PRÁTICA  
CONSTRUTIVISTA”**

Tese submetida ao Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Educação do Centro de Ciências da Educação em cumprimento parcial para a obtenção do título de Doutor em Educação.


**APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 14/04/2000**

Dr. Maurício Pietrocola de Oliveira – UFSC ( Orientador) 

Dr. Ernst W. Hamburger – USP (Examinador) 

Dra. Yassuko Hosoume – USP (Examinadora) 

Dra. Edel Ern – UFSC (Examinadora) 

Dr. Arden Zylbersztajn – UFSC ( Examinador) 

Dr. José André Perez Angotti – UFSC (Suplente)

Dr. Méricles Moretti – UFSC (Suplente)

  
**Profa. Edel Ern**  
**Coordenadora do PPGE**

  
**José de Pinho Alves Filho**

**Florianópolis, Santa Catarina, abril de 2000.**

*Àquela que:*

*Como Colega incentivou seguir.*

*Como Profissional exerceu a crítica.*

*Como Amiga ofereceu o ombro.*

*E como Companheira reparte a vida.*

*Para ti TÊ, com meu amor e carinho.*

## **AGRADECIMENTOS**

*O tom de impessoalidade do discurso literário de um trabalho reflete a frieza do “contexto da justificação” imposto pelos cânones estabelecidos. A formalidade do texto esconde, e faz perder no tempo, a riqueza do processo de produção e da convivência dos diferentes personagens do “contexto da descoberta”. Contexto este permeado pelos desafios, angústias, alegrias, afetividades, emoções... enfim a infinidade de sentimentos inerentes ao seres humanos. Abro esta página com muito carinho para render minha gratidão e registrar a humanidade dos personagens que, de alguma forma, participaram da “noosfera” de minha descoberta.*

*Ao Prof. Dr. Mauricio Pietrocola pela condução crítica e profissional com que me orientou.*

*Ao colega de Departamento Mauricio Pietrocola pelo constante incentivo e apoio.*

*Ao “Menino” (Maurício) por dividir humanidade.*

*A Profa. Dra. Edith Saltiel que me orientou por ocasião do estágio na França.*

*A Família Da Ros (Silvia, Marcão, Zezo e Igi) pela acolhida e guarida em terras distantes, recheadas de carinho.*

*Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Educação pela presença e auxílio constante.*

*A “minha Turma” de Curso, conhecida “Turma do Coletivo” pelas horas de discussão e crescimento intelectual.*

*Aos colegas do Departamento de Física pela oportunidade.*

*Aos ex-alunos e alunos por serem fonte de inspiração e objetivo de profissão.*

*Aos meus queridos pais pela Vida.*

*Ao meu filho Caio pelo “ouvido”.*

***A todos vocês “Muito Obrigado”.***



# SUMÁRIO

Dedicatória	II
Agradecimentos	III
Sumário .....	IV
Resumo .....	VII
Abstract .....	VIII
<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>Cap. 1- A literatura escolar do ensino médio e o laboratório didático no Brasil .....</b>	<b>10</b>
1. Introdução .....	10
2. Os livros Didáticos do ensino médio brasileiros .....	13
3. A era dos projetos de ensino de Física .....	25
3.1. O PSSC .....	26
3.2. O Projeto Harvard .....	31
3.3. O Projeto Nuffield.....	35
3.4. O Projeto Piloto.....	36
3.5. O que os projetos deixaram .....	41
4. Os projetos brasileiros .....	44
4.1. Os antecedentes .....	44
4.2. FAI .....	49
4.3. O PEF .....	51
4.4. O PBEF .....	56
5. O GREF – Uma alternativa .....	60
6. Laboratórios didáticos: tipos e metodologia .....	63
6.1. Laboratório de Demonstrações .....	64
6.2. Laboratório Tradicional ou Convencional.....	65
6.3. Laboratório Biblioteca .....	67
6.4. Laboratório “Fading” .....	68
6.5. Laboratório Prateleira de Demonstração .....	69
6.6. Laboratório Circulante .....	69
6.7. laboratório de Projetos .....	70
6.8. Laboratório Divergente .....	71
6.9. Laboratório Programado .....	72
6.10. Laboratório de múltiplas ações (Saad) .....	74
7. Registrando a época .....	76
8. Bibliografia do Capítulo 1 .....	79
<b>Cap. 2 - As investigações sobre o laboratório didático no Brasil .....</b>	<b>84</b>
1. Introdução .....	84
2. Construindo categorias de análise .....	86
2.1. Categoria das Proposições .....	87
2.2. Categoria das Prescrições Experimentais .....	89
2.3. Categoria das Técnicas de Construção .....	90
2.4. Categoria da Mídia .....	91

2.5. Categoria Outros .....	91
3. Os eventos nacionais .....	95
3.1. O primeiro SNEF .....	95
3.2. O II SNEF .....	96
3.3. O III SNEF .....	97
3.4. O IV SNEF .....	101
3.5. O V SNEF .....	101
3.6. O VI SNEF .....	103
3.7. O VII SNEF .....	105
3.8. O VIII SNEF .....	108
3.9. O IX SNEF .....	108
3.10. O X SNEF .....	109
3.11. O XI SNEF .....	111
3.12. O XII SNEF .....	112
3.13. O XIII SNEF .....	113
3.14. Análise dos SNEFs .....	115
3.15. Os Encontros de Pesquisa em Ensino de Física .....	123
3.16. O III EPEF .....	125
3.17. O IV EPEF .....	126
3.18. O V EPEF .....	127
3.19. O VI EPEF .....	128
3.20. Análise dos trabalhos dos EPEFs .....	132
3.21. O I ENPEC .....	136
4. Os periódicos nacionais .....	138
4.1. A Revista Brasileira de Ensino de Física .....	138
4.2. O Caderno Catarinense de Ensino de Física .....	139
5. Bibliografia do Capítulo 2 .....	146
<b>Cap. 3 - Experiência e Experimentação .....</b>	<b>149</b>
1. Introdução .....	149
2. Elaborando o senso comum .....	153
3. Estabelecendo uma referência .....	160
4. O germe da experimentação moderna .....	170
5. Francis Bacon, uma nova referência .....	176
6. René Descartes, uma opção .....	181
7. Galileu Galilei, a opção moderna .....	183
8. A título de síntese .....	191
9. Bibliografia do Capítulo 3 .....	200
<b>Cap. 4 - Análise do laboratório didático à luz da Transposição Didática ..</b>	<b>203</b>
1. Introdução .....	203
2. A tradição do laboratório didático .....	205
3. Transposição Didática: um instrumento de análise .....	217
3.1. Considerações gerais .....	217
3.2. O saber sábio .....	223
3.3. O saber a ensinar .....	225
3.4. O saber ensinado .....	229
3.5. As regras da Transposição Didática .....	234
4. Interpretando o laboratório didático à luz da Transposição Didática .....	240
5. Bibliografia do Capítulo 4 .....	248

<b>Cap. 5 - Atividade experimental: uma alternativa na concepção construtivista</b> .....	251
1. Introdução .....	251
2. O laboratório na concepção construtivista .....	256
3. Ambiente escolar e suas relações .....	259
4. Atividade experimental: uma proposta na concepção construtivista .....	262
5. Operacionalizando a atividade experimental .....	266
6. Categorias das atividades experimentais .....	270
6.1. Atividade experimental histórica .....	271
6.2. Atividade experimental de compartilhamento .....	274
6.3. Atividade experimental modelizadora .....	276
6.4. Atividade experimental conflitiva .....	279
6.5. Atividade experimental crítica .....	281
6.6. Atividade experimental de comprovação .....	282
6.7. Atividade experimental de simulação .....	283
7. Considerações finais .....	287
8. Transpondo os muros da academia .....	194
9. Bibliografia do Capítulo 5 .....	298

## PARTE II - ANEXOS

Anexo 1 - Livro Francês	1
Anexo 2 - Livro de Anopbal freitas	8
Anexo 3 - Livro de Francisco Alcantara	22
Anexo 4 - Livro da Coleção FTD	31
Anexo 5 - Livro de Antonio teixeira Jr.	39
Anexo 6 - Projeto PSSC	49
Anexo 7 - Projeto Harvard	66
Anexo 8 - Projeto Piloto/UNESCO	86
Anexo 9 - Projeto FAI	97
Anexo 10 - Projeto PEF	111
Anexo 11 - Projeto PBEF	127

## RESUMO

*Um estudo analítico sobre o laboratório didático de Física é realizado fazendo uso de três fontes [livros didáticos até 1960, projetos de ensino de Física estrangeiros e nacionais e investigações apresentados nos Simpósios de Ensino de Física (SNEF) e nos Encontros de Pesquisadores de em Ensino de Física (EPEF)] procurando caracterizar a concepção de ensino de laboratório predominante. É realizada uma discussão sobre a “experiência” como instrumento socialmente aceito para a elaboração do conhecimento vulgar e sobre a “experimentação”, instrumento historicamente construído para a produção do conhecimento científico, buscando determinar o papel de cada uma delas no ensino de Física. Utilizando da Transposição Didática como instrumento de análise, é localizada a razão epistemológica da presença do laboratório no ensino e caracterizado o método experimental como seu objeto de ensino. A partir da adoção de uma concepção epistemológica construtivista para o ensino de Física, é proposta a atividade experimental (AE) como um novo instrumento de ensino. Sua função é ser mediadora do diálogo construtivista (didático) entre professor, estudante e conhecimento científico. Nesta ótica, foram elaboradas categorias de atividades experimentais, associadas aos diferentes momentos do diálogo, sem caráter ou configuração prescritiva.*

## ABSTRACT

Physics didactic laboratory is the subject matter of an analytical study that makes use of three sources [didactic textbooks up to 1960, foreign and national projects of Physics teaching and investigations presented in the national symposia of Physics teaching (SNEF - Simpósio Nacional de Ensino de Física) and researchers' encounters in Physics teaching (EPEF- Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física)] in an attempt to characterize the mainstream concept of laboratory teaching. A discussion is made about "experience" as a socially accepted instrument for the elaboration of common knowledge and about "experimentation" as a historically built instrument for the production of scientific knowledge, in order to establish the role that each of them play in Physics teaching. Using of the Didactic Conversion as an analytic tool, the epistemological reason for the inclusion of laboratory activities in the teaching process is identified and the experimental method is characterized as its teaching object. Starting from the adoption of a constructivist epistemological conception for Physics teaching, experimental activity (AE) is proposed as a new teaching instrument. Its function is to be the connecting link in the constructivist (didactic) dialogue between teacher, student and scientific knowledge. From this point of view; categories of experimental activities were elaborated, associating such activities to the different moments of the dialogue, without any prescriptive character or configuration.

# APRESENTAÇÃO

## *POR QUE O LABORATÓRIO DIDÁTICO ?*

A eleição de um tema para investigação pelo investigador está subordinada, de modo geral, a um conjunto de influências e instâncias que transcendem a presente discussão. No entanto, dentro deste conjunto acredito existir um motivo preponderante no ato da escolha: a sedução do tema.

Abrindo mão de outros argumentos, atendi o canto sedutor do tema laboratório didático, movido por uma história que se inicia no tempo de estudante de graduação e se prolonga no exercício profissional. Para mim, a sedução nasceu no curso de graduação, quando em diferentes momentos tive oportunidade de desenvolver atividades de laboratório. Além das disciplinas formais de laboratório encontrei, principalmente, através de um curso oferecido a secundaristas<sup>1</sup> pela instituição em que estudei (IFUFRGS)<sup>2</sup>, uma excelente ocasião para o trabalho experimental. Este curso denominava-se “Teorias Básicas para Secundaristas”.

Dentre os vários objetivos do curso (semestral) um deles era ensinar a Física, de uma forma diferenciada daquela lecionada nas escolas e, ao mesmo tempo, oferecer um espaço para os estudantes de Física desenvolverem habilidades didáticas, pois cabia aos graduandos a responsabilidade de lecionar o conteúdo, sob supervisão de um professor. O curso se dividia em três momentos: aulas teóricas, aulas de problemas e aulas de laboratório. Estas últimas eram novidade tanto para os cursistas como também para os estudantes novatos de graduação, pois se diferenciavam dos experimentos realizados nas disciplinas formais de laboratório. O livro texto adotado era o projeto PSSC<sup>3</sup>, o que permitia cumprir mais um dos objetivos do curso: treinar os futuros professores para aplicar o projeto PSSC.

---

<sup>1</sup> O curso secundário é conhecido atualmente como ensino médio.

<sup>2</sup> IFUFRGS – Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

<sup>3</sup> PSSC – Physical Science Study Committee, texto de Física na forma de “projeto” de origem americana, que comentaremos mais adiante.

A preparação das aulas de laboratório para este curso favoreceu o treinamento e reconhecimento de experimentos, equipamentos e instrumentos de medida. Com o passar do tempo, desenvolvi algumas habilidades e adquiri alguma prática que veio facilitar, posteriormente, eventuais modificações e até proposições de novos experimentos para serem utilizados no curso. Além do todo o equipamento do PSSC que estava à disposição para atividades criativas, tinha-se ainda as “caixas Bender”<sup>4</sup> com todos os seus dispositivos e componentes. Com total liberdade de ação, sob orientação dos “veteranos”, ocorria o aprendizado no manuseio dos equipamentos, junto com discussões de novas propostas de montagens experimentais. De iniciante, o tempo me fez “veterano”, mas sem deixar de “brincar no nosso laboratório”, continuando o aprendizado.

Nova oportunidade surge quando, terminada a graduação, ingressei no Grupo do PEF–Projeto de Ensino de Física, no IFUSP em São Paulo, onde trabalhei junto ao subgrupo responsável pelo volume de Eletricidade. Novamente estava desenvolvendo experimentos e material experimental que fariam parte do Projeto. No mesmo IFUSP, também trabalhei na Prateleira de Demonstração<sup>5</sup> de Eletricidade, um laboratório de apoio para as aulas de teoria e também para os estudantes realizarem experimentos extraclasse. Ainda vinculado ao IFUSP, tive uma oportunidade ímpar de acompanhar o nascimento da pesquisa “formal” em Ensino de Física no Brasil, quando em 1973 ali era instituído o Mestrado em Ensino de Ciências – Modalidade Física.

Posteriormente, em meados da década de 70, ingressei no Departamento de Física da UFSC e de imediato assumi as disciplinas de Instrumentação para o Ensino de Física I e II, as quais leciono ainda hoje com outros colegas. Quase três décadas de profissão, duas delas ministrando a disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física, me permitiram acompanhar de maneira muito próxima o ensino de Física na escola média e as modificações decorrentes das diferentes legislações. Não só por força das contingências profissionais, mas por interesse particular, sempre participei dos encontros, simpósios e seminários sobre ensino

---

<sup>4</sup> Caixas Bender eram conjuntos experimentais, fabricados pela Ind. e Com Bender Ltda.

<sup>5</sup> A Prateleira de Demonstração será comentada adiante.

de Física, particularmente aquelas relacionadas à formação de professores e ao ensino médio.

É importante um esclarecimento em relação à disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física, incorporada ao Currículo Mínimo do CFE para o curso de Licenciatura em Física, desde 1962<sup>6</sup>. Esta disciplina tem como objetivo instrumentalizar o futuro professor para a prática da docência, principalmente no uso do laboratório didático. Sua introdução no currículo obrigatório da Licenciatura ocorre no momento em que o PSSC estava sendo traduzido para o português aqui no Brasil.

É interessante registrar que a disciplina de Instrumentação nunca alcançou um programa definido nas várias instituições que mantêm um curso de licenciatura em Física. Disciplinas como as Físicas Básicas, as Mecânicas, Eletromagnetismo, Estrutura da Matéria, etc., por serem mais antigas e tradicionais, já estabeleceram um consenso relativo a seus programas e até a uma bibliografia básica. Quando da implantação da disciplina de Instrumentação, o texto referência era o projeto PSSC, que ocupou esta posição por cerca de uma década. Este foi o período de maior uniformidade no programa da disciplina. Com o passar do tempo, surgiram restrições ao PSSC e os outros projetos que passaram a ser utilizados na disciplina acabaram com a tênue uniformidade do programa de Instrumentação.

No início dos anos 70, o movimento dos projetos de ensino de Física nacionais, a chegada do tecnicismo e outras proposições metodológicas foram levadas para discussão na disciplina de Instrumentação, mudando seu perfil disciplinar. Muito importante neste processo de mudança do programa de Instrumentação foi a implantação do mestrado em Ensino de Ciências no IFUSP. As discussões sobre temas de pesquisa em ensino, lideradas pelos mestrandos e pelos membros dos diferentes grupos de pesquisa em ensino, lentamente vão criando um espaço para a introdução de novos temas. O crescimento do número de pesquisadores em ensino, a maior divulgação de

---

<sup>6</sup> Currículos Mínimos dos Cursos de Nível Superior. MEC/CFE. Brasília, 2<sup>a</sup> ed. 1975, p.236. (Parecer 296/62 de 17/12/1962).



trabalhos científicos da área e novas publicações fizeram crescer significativamente o material bibliográfico, possibilitando novas proposições programáticas da disciplina. Particularmente, nas instituições cujo corpo docente conta com mestres e doutores, estes têm preferência no momento da atribuição das aulas desta disciplina. Isto faz com que cada professor pesquisador, de certo modo, enfatize determinados temas de pesquisa para discussão. Mas, independentemente da variedade ou diversidade dos temas tratados, um deles sempre foi e sempre será mantido: o laboratório didático. As discussões ligadas ao laboratório didático abrangem desde as suas diferentes modalidades até o planejamento de experimentos e a produção de equipamentos alternativos. Este fato faz do laboratório didático um tema quase intocável dentro do programa da disciplina.

Não fugindo à regra, também fiz do laboratório didático tema discussões em Instrumentação, por vezes com demasiada ênfase. Tipos de experimentos, alternativas de material, caráter e função do experimento, proposições de novas metodologias para aulas de laboratório foram discutidas e, algumas vezes, testadas e implantadas. Um destaque deve ser dado às dissertações e teses sobre laboratório que, junto com os artigos e publicações, forneciam subsídios às argumentações a respeito das vantagens e desvantagens do uso do laboratório didático no ensino de Física no ensino médio. Em suma, o laboratório didático sempre teve destaque em meus programas da disciplina por dois motivos, no meu entendimento, importantes: primeiro, os licenciandos somente tinham cursado as disciplinas de laboratório, cuja ênfase era o desenvolvimento de habilidades experimentais, a obtenção de boas medidas, a análise e interpretação de dados. Em segundo, a disciplina de Instrumentação com sua característica “híbrida”, isto é, revisão de conteúdo e concepções de ensino, era o espaço ideal para discutir o laboratório didático do ponto de vista pedagógico, mostrando a importância de seu uso no ensino de Física.

No início dos anos 80, o paradigma construtivista passa a orientar as investigações em ensino. Investigações sobre concepções alternativas, mudança conceitual, resolução de problemas, entre outras, passam a dar o norte da linha de investigação. O laboratório didático, por sua vez, continua sendo objeto de

investigações a respeito de metodologias, abordagens, prescrições da maneira de utilizar um experimento, técnicas de construção de equipamentos e uso de softwares, estes ainda de forma bastante tímida. No que concerne à construção de equipamentos, a década de 80 foi bastante criativa, particularmente para os “sucateiros” (entre os quais me incluo): professores que se dedicavam à confecção de material de laboratório com sucata ou material alternativo. Esta modalidade de trabalho experimental, onde o aluno construía seu próprio equipamento, foi bastante difundida e teve um número expressivo de adeptos. Este movimento, se assim podemos chamá-lo, tinha características muito “ativistas” e sua inspiração teórica ainda eram os antigos projetos de ensino, nacionais e estrangeiros.

Ao mesmo tempo, o laboratório didático assume o papel de instrumento de pesquisa, em especial junto aos investigadores que procuravam mapear as concepções alternativas dos alunos relativas a vários conceitos físicos.

O acompanhamento das pesquisas em ensino de Física fazendo delas fontes de discussão em sala de aula, não fizeram com que diminuísse a ênfase nas discussões sobre o laboratório didático no ensino médio. Entretanto, nos últimos anos, minhas “crenças” e convicções sobre o laboratório didático começaram a titubear. Através de conversas com colegas e constatações junto aos ex-alunos, passei a fazer uma auto-avaliação e esbocei algumas conclusões que para mim, professor da disciplina, eram preocupantes.

❖ As discussões sobre o laboratório didático na disciplina de Instrumentação não fizeram aumentar, entre os formados na UFSC, o número de professores que conseguiram incorporá-lo na sua prática pedagógica de maneira convicta e conseqüente; no entanto, o discurso a favor de seu uso permanecia. ✕

❖ O encaminhamento dado nas discussões em classe e a argumentação teórica utilizada não foram suficientemente fortes para convencer os licenciandos a adotar o laboratório didático. A motivação dos alunos era o argumento mais utilizado.

❖ As pesquisas relativas ao laboratório didático encontradas na literatura apresentam, na maioria das vezes, somente metodologias e/ou abordagens

específicas, muitas delas de difícil aplicabilidade em qualquer escola, ou apenas oferecem sugestões para construção de novos equipamentos, novas montagens experimentais, etc.

Estas conclusões me colocaram a pensar! Era necessário um repensar, uma reflexão mais profunda e sistemática da função real do laboratório didático no processo ensino-aprendizagem em Física. Era preciso procurar justificativas teóricas capazes de convencer o futuro professor do papel do laboratório no processo de ensino-aprendizagem. E, no caso de não encontrá-las, era imprescindível aceitar o desafio e construí-las.

Acredito ter esclarecido o porquê da opção em realizar um trabalho sobre o laboratório didático. De certa forma, mesmo com um atraso aparente, a questão ainda é oportuna e candente. Mesmo porque estou convencido de que o laboratório didático, da forma como é tratado e entendido, não cumpre sua função e sua mera participação no processo ensino aprendizagem deixa muito a desejar. Como não há consenso e sistematização a respeito do assunto, sustentarei que é necessário encontrar argumentos, sejam eles pedagógicos, psicológicos ou epistemológicos, que componham o cimento de uma construção teórica que justifique o papel do laboratório didático.

É imprescindível que o laboratório didático tenha uma estrutura teórica que o justifique pois caso contrário, não será possível a erradicação da idéia de que o laboratório didático seria uma panacéia. Tal concepção impregnou o próprio conceito de laboratório didático e se impôs através de uma tradição.

Quero esclarecer que o objeto de minha investigação é o laboratório didático que faz parte do ensino formal, de uso nas escolas, direcionado e dirigido pelo professor a sua classe. Não quero me referir aos laboratórios, salas de demonstrações, museus etc., que fazem parte de um contexto mais informal, cujo mérito e importância são enormes. O estudo será restrito ao laboratório didático formal dirigido ao ensino médio. Outrossim, o termo laboratório didático não está sendo utilizado para caracterizar o espaço físico, entendido tradicionalmente como o local onde se realizam experimentos. O termo será

utilizado no sentido lato de ensino experimental e dirá respeito às práticas desenvolvidas nesse espaço e em outros.

A presente investigação se constituiu em cinco etapas ou capítulos, onde o primeiro capítulo foi dedicado a uma retrospectiva de textos escolares dirigidos ao que hoje é chamado de ensino de médio. Como ponto de partida, escolhi o ano de 1950 por caracterizar um período pós-guerra, com o fortalecimento da hegemonia americana nos países ocidentais e uma época que precede o movimento inovador no ensino de ciências através dos grandes projetos.

Quatro grandes blocos subdividem o capítulo, cada um dedicado à análise dos textos escolares mais representativos de um certo período na escola brasileira. Iniciamos com os livros didáticos tradicionais da década de 60, procurando os indicadores da presença do laboratório didático e de seu funcionamento. O segundo bloco faz uma retrospectiva dos projetos estrangeiros, com especial dedicação àqueles que mais influenciaram o ensino de Física no Brasil. Iniciamos com o movimento renovador do ensino de Ciências nos Estados Unidos em 1955, que deu origem ao PSSC. Seguem-se os projetos Harvard (americano) e Nuffield (inglês). Também foi dada uma atenção particular ao projeto Harvard pela peculiaridade de seus objetivos serem “antagônicos” ao seu congênere americano PSSC. O bloco é encerrado com o Projeto Piloto, de responsabilidade da UNESCO, desenvolvido no Brasil no biênio 1963-64 em São Paulo. O terceiro bloco é dedicado aos projetos nacionais (PEF, FAI e PBEF), todos elaborados em São Paulo no período de 1970-75. O último bloco foi reservado para as pesquisas sobre o laboratório didático realizadas no Brasil. A ótica que permeou esta análise foi direcionada ao diagnóstico de como se justificava o papel do laboratório didático nos textos e projetos para o ensino médio. Este capítulo adota um discurso um tanto descritivo, pois a intenção era oferecer um pouco mais do que uma simples análise crua. Procurei resgatar um pouco da História de um período extremamente fértil para o ensino de Física.

O segundo capítulo é dedicado totalmente à análise das investigações relacionadas ao ensino de Física, com foco especial naquelas que tratam do laboratório, tomando por referência as atas, anais e resumos dos diferentes encontros e simpósios da área de ensino desde 1970. Para cada evento foi elaborado um pequeno resumo com o objetivo de contextualizá-lo, registrando seu tema ou temas diretores, assim como as principais atividades realizadas. Os trabalhos ou resumos publicados sobre laboratório foram classificados segundo um conjunto de categorias de análise construídas para este fim. A mesma sistemática foi utilizada para apreciação das publicações nacionais (Caderno Catarinense de Ensino de Física e Revista Brasileira de Ensino de Física). Esta espécie de radiografia das investigações sobre o laboratório permitiu delinear, por meio das categorias, as temáticas de maior interesse e desvelar as concepções que permearam as diferentes investigações ao longo do tempo.

Os primeiros dois capítulos permitiram antever e delinear uma concepção sobre o laboratório didático, de relativa consensualidade: trata-se de um laboratório de investigação científica com suas devidas reduções.

Para entender o mecanismo da “experimentação”, que permite a produção do conhecimento científico e o seu *modus operandi*, foram realizadas algumas incursões na História. Por meio das contribuições de pensadores e filósofos, procurei reconstituir a trajetória da experimentação como uma atividade historicamente construída pelos investigadores para uso exclusivo da produção do conhecimento científico. É feita uma comparação entre a experimentação, atividade científica, e a “experiência”, atividade inerente ao ser humano, ligada ao conhecimento vulgar.

O entendimento de que o laboratório didático é uma espécie de réplica do laboratório de investigação e que a experimentação, uma atividade inerente à produção do conhecimento, indicava que houvera, em algum momento, uma interpretação equivocada do papel do primeiro no processo de ensino. A adoção da Transposição Didática como instrumento de análise fez do quarto capítulo o intérprete da maneira como os conteúdos e os procedimentos didáticos se organizaram nos livros escolares, caracterizando um contexto que também

inclui o laboratório didático. Ao final, fica delineada a existência de uma concepção de ciência e de ensino de ciências que permeia toda a literatura escolar e, por extensão, o laboratório didático.

Desvelada a concepção epistemológica diretiva dos textos escolares e práticas de laboratório, as razões da pouca eficiência ou fracasso do laboratório didático no processo de ensino de Física ficam expostas. Faz-se necessária uma reavaliação epistemológica, para que uma nova concepção de ciência seja adotada e direcione o processo transformador em outra Transposição Didática para os textos escolares e o laboratório de ensino. Abraçando o paradigma construtivista, aponto as justificativas e a viabilidade do laboratório didático, fazendo-o assumir uma função de mediação no processo de ensino. A função mediadora acontece no momento do diálogo didático entre professor e estudante, onde as concepções de mundo do estudante são expostas e confrontadas com situações “científicas”. Nessa perspectiva, são construídas categorias de atividades experimentais, que se constituem em um novo instrumento de ensino e que procuram abranger os diferentes diálogos didáticos que podem ocorrer no processo de ensino.

## CAPÍTULO 1

### *A LITERATURA ESCOLAR DO ENSINO MÉDIO E O LABORATÓRIO DIDÁTICO NO BRASIL*

#### *1. INTRODUÇÃO*

Os livros didáticos cumprem um papel fundamental no processo de ensino. Oferecem a seu público um corpo de conhecimentos que, por sua seleção e organização, refletem um determinado padrão de profundidade e extensão. Nesta trilha, poder-se-ia dizer que a adoção de um dado livro didático é um indicativo do padrão de ensino na instituição escolar.

Durante o século passado e até meados deste, a maioria dos livros didáticos de Física tinham um formato denominado de “compêndio”. Os compêndios, se comparados aos livros didáticos atuais, universitários ou do ensino médio, são bastante diferentes. O discurso literário era monocórdio, e o conhecimento era estruturado de uma forma “descritiva” racionalmente encadeada. Entremeados aos conceitos e definições, os experimentos originais eram descritos passo a passo e, sempre que possível, acompanhados de esquemas e desenhos. A maioria dos compêndios não oferecia exercícios, problemas ou qualquer sugestão para o laboratório. Acreditamos que era competência do professor a preparação e realização daqueles experimentos descritos no texto e a proposição de problemas. Em uma leitura popular, seria dito que estes livros são “densos e pesados”.

Um compêndio é uma obra didática elaborada, geralmente, por um único autor. Suas origens eram as notas de aulas preparadas por seus autores, que as organizavam com o passar do tempo, resultando num livro que contemplava toda a “Física Geral ou Clássica”. A seqüência dos assuntos segue a tradição das antigas enciclopédias, que iniciam no estudo dos movimentos (Cinemática),

e vão até as causas do movimento (Dinâmica), Gases, Calor...etc. Os compêndios de origem européia dominaram a literatura universitária e dos colégios por um longo tempo, em especial a francesa.

Um estudo de Lorenz (1986) analisando livros didáticos de ciências no período de 1838 e 1900 no Colégio Dom Pedro II (RJ), concluiu que *“Portanto, a influência francesa sempre esteve presente nos currículos do Colégio foi, também, muito marcante na sala de aula devido à adoção de livros didáticos daquele país. O que torna este fato mais notável é que, a influência francesa no ensino superior diminui durante o século, por causa da publicação de livros didáticos de ciências escritos por brasileiros.”* (Lorenz, 1986:432)<sup>1</sup>. Como se observa, a literatura escolar francesa, além de sua influência direta por longo período, certamente foi fonte inspiradora para os livros didáticos nacionais que, por sua vez, devem ter sido fonte para a elaboração dos livros didáticos do curso secundário. Certamente o texto para secundaristas não era tão “denso” como os compêndios; no entanto, guardavam sua estrutura e formato e, na maioria das, a seqüência de conteúdo.

Grande parte dos autores do final do século passado ou, no máximo, do início do atual lecionavam em Escolas Politécnicas ou de Engenharia. Isso, de alguma forma, já direcionava os conhecimentos em Física, adequando-os e ajustando-os aos futuros profissionais. Nos primeiros capítulos, nota-se uma ênfase acentuada na descrição de instrumentos de medida, seu potencial de uso e o modo de operá-los. O estudo de medidas, erros e limitações dos instrumentos também compunham este tópico. Em um livro de 1908<sup>2</sup>, encontramos descrições e gravuras a bico de pena (1032 no total) de um torno mecânico elétrico cuja configuração externa, não difere muito das atuais (Anexo 1). Se porventura algum assunto fosse de interesse profissional para os estudantes, os autores faziam a atualização a cada edição, porque era preciso *“(...) garantir a contemporaneidade dos conceitos estudados.”* (Lorenz,

---

<sup>1</sup> É extremamente instrutiva a leitura do artigo pois apresenta em detalhes a influência dos diferentes autores e livros adotados no Colégio D. Pedro II, tomado como referência, durante um período de mais de 60 anos.



1986:434).

Conforme já mencionamos, o discurso literário dos compêndios segue uma estrutura racional e linear, demonstrando um crescer de dificuldade, visto que para saber o conteúdo “B” era necessário dominar antes o conteúdo “A”. Em linguagem atual, seria um encadeado de pré-requisitos. Esta estrutura, já estabelecida pela tradição, ainda permanece durante vários anos nos livros didáticos.

---

<sup>2</sup> Um “compêndio” francês datado de 1908 em sua 24ª. edição. Possui 1158 páginas e 1032 gravuras. Seu formato é “livro de bolso”, medindo 11cmx17 cm. Seu autor é George Maneuvrier com a colaboração de M. Marcel Billard. Intitula-se “Traité élémentaire de Physique”.

## 2. OS TEXTOS DIDÁTICOS DO ENSINO MÉDIO BRASILEIRO

Para o público leigo, Física e laboratório têm uma relação muito próxima, a ponto de serem entendidos como sinônimos. Esta “associação” reflete, na realidade, uma interpretação popular equivocada que confunde o produto do trabalho do cientista com o *modus operandi* da produção científica. Na contramão do senso comum, o ensino de Física não mostra uma associação tão imediata, ou seja quando se aprende Física o laboratório quase sempre está ausente.

Vamos voltar nossa atenção aos livros didáticos e manuais escolares para o ensino secundário, com base no que já foi discutido. Em uma breve leitura dos textos didáticos, nota-se uma tendência que incentiva ao professor centrar o ensino da Física na memorização e verbalismo e, por extensão, um ensino afastado do laboratório e das observações empíricas inerentes à própria construção da Física. Buscando argumentos, vamos analisar alguns autores que predominaram na década de 50, cujos textos detinham o aval oficial através da autorização do “Ministério da Educação e Saúde” para publicarem seus livros.

Aníbal Freitas detinha na capa de sua coleção “Física - Ciclo Colegial” em três volumes, o registro nº 641 do Ministério citado acima. O texto era editado pela Editora Melhoramentos e, em 1950, o livro para o 1º ano colegial já registrava sua 6ª edição, correspondendo ao 32º milheiro impresso. O livro para o 3º ano colegial, publicado pela mesma editora, em 1960 registrava sua 11ª edição e seu 57º milheiro (Anexo 2). Outro autor, também bastante conhecido, Francisco Alcântara Gomes Filho, publicava pela Companhia Editora Nacional (SP) e em 1956 já tinha chegado à 10ª edição do volume de Física para o 2º Colegial. Não obtivemos a tiragem desta obra, mas o registro do volume em nossas mãos é o de nº 6310. Em 1958, o volume “Física para o terceiro ano colegial” do mesmo autor alcançava a 4ª edição. Outra coleção bastante conhecida é a Coleção Didática FTD, dos Irmãos Maristas, com três volumes para o Curso Colegial. A Congregação Marista nasceu na França e, por isso a orientação de seus textos segue muito de perto o modelo francês de ensino. Dos textos para o colegial desta época, esta coleção é a que mais se

aproxima das estruturas de compêndio do modelo europeu.

O conteúdo tratado nos livros citados, em especial os editados pós 1951, deveria respeitar as Portarias nº 66 de 21/10/51 e de nº 1045 de 14/12/51 do MEC, que prescreviam os novos programas de Física para o curso Colegial. O conteúdo destes livros, se comparado aos modernos, deixa os saudosistas perplexos. A quantidade de tópicos tratados é considerável e ampla, permitindo ao estudante, pelo menos, ter acesso a um conjunto de informações significativas relativas à Física. Na leitura do índice do programa do 3º colegial (vide Anexo 3) encontramos temas que dificilmente fariam parte dos livros didáticos atuais. O último capítulo do livro de Alcântara Filho trata, em 42 páginas, dos seguintes itens (reproduzidos conforme índice):

<ul style="list-style-type: none"><li>• Oscilações elétricas</li><li>• Ondas eletromagnéticas</li><li>• Rádio comunicação</li><li>• Radiofonia</li><li>• Televisão</li><li>• Condução dos sólidos nos gases</li><li>• Potencial explosivo</li><li>• Descargas nos gases rarefeitos</li><li>• Raios catódicos</li><li>• Oscilógrafos catódicos</li><li>• Microscópio eletrônico</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Raio X</li><li>• Ampôlas de raio X</li><li>• Raios canais</li><li>• Emissão termo-iônica</li><li>• Triodos</li><li>• Efeito foto-elétrico</li><li>• Constituição de matéria</li><li>• Radiatividade</li><li>• Teoria da relatividade</li><li>• Teoria da matéria</li><li>• Teorias da Luz</li></ul>
--	---

Para efeitos de comparação, tomamos o livro do 3º ano, Física, da coleção dos Irmãos Maristas, editado pela FTD (1966), que oferece o seguinte conteúdo no seu último capítulo:

<ul style="list-style-type: none"><li>• Campo magnético das correntes</li><li>• Indução eletromagnética</li><li>• Geradores mecânicos de corrente contínua</li><li>• Unidades elétricas</li><li>• Correntes alternadas</li><li>• Oscilações eletromagnéticas. Ondas eletromagnéticas</li><li>• Descargas elétricas</li></ul>
--

Uma análise mais atenta da aparente redução de tópicos do livro da FTD (Anexo 4) mostra que, sob o título maior de “Oscilações Eletromagnéticas. Ondas Eletromagnéticas” são encontrados subitens como a TV, válvulas, triodos, telefonia etc., enquanto que o subtítulo “Descargas Elétricas” trata de todo tipo de emissão em tubos de baixa pressão (Tubo de Crookes). O autor encerra o capítulo tratando do modelo atômico e partículas. Existe, portanto, uma equivalência entre os itens tratados em ambos os livros. Com maior ou menor extensão, todos são cotejados, mantendo o mesmo conjunto de informações. Uma diferença, a favor de Alcântara Filho, é que a publicação da FTD não faz qualquer menção à Relatividade.

Quanto à profundidade com que os tópicos são tratados, permanece-se no nível da noção ou da introdução, o que, de um certo ponto de vista, deixa a desejar; porém, de outro, permite a discussão de assuntos ditos “atualizados”. A aparente superficialidade resultará, por certo, na criação de oportunidades de discussão em classe, além de proporcionar ao estudante o conhecimento de uma outra concepção da natureza, diferente da ótica newtoniana. Permite quebrar o paradigma determinista por meio dos tópicos “Física Moderna” e “Relatividade”. Sem dúvida, se faz urgente o resgate dos conteúdos dos “antigos” textos, com a devida “modernização” de linguagem e de material instrucional.

Entretanto, ao mesmo tempo em que trata de assuntos atualizados, os livros didáticos analisados incluem tópicos que fogem totalmente das concepções modernas da Física, como, por exemplo, o tratamento do campo magnético gerado por ímãs como um fenômeno devido à ação de “massas magnéticas”. O livro 3 da coleção FTD, trata o Magnetismo e a ação entre ímãs (força magnética) como uma extensão da Lei de Coulomb para o Magnetismo, definindo o que se “entende” por massa magnética. No Anexo 4 reproduzimos o texto que trata deste tópico.

De todo modo, esta quantidade de informações, cuja profundidade pode ser questionada, deixa transparecer uma certa concepção de ensino, onde prevalecia a quantidade de informações e descrições, agregando um processo de

avaliação que valorizava a memorização e o verbalismo descritivo. Alguns nem ofereciam exercícios/problemas<sup>3</sup> para os alunos resolverem, seguindo muito de perto a tradição dos compêndios.

A elaboração desses livros parece seguir uma estrutura mais ou menos comum, pois explora a descrição de equipamentos e experimentos através de desenhos, esquemas etc. Artificio que, de certo modo, dá a conhecer ao estudante um “laboratório e equipamentos imaginários”, se assim podemos denominá-los. Nesta concepção, o laboratório didático centrado em demonstrações feitas pelo professor seria passível de dispensa, sob o argumento de que o texto já oferece descrições experimentais em detalhes. Mesmo assim, mantinha-se um certo proselitismo em relação ao uso do laboratório. A leitura do texto introdutório do volume de Física da FTD para o 3º ano colegial (1963), intitulado “Orientação Programática”<sup>4</sup>, confirma o discurso didático.

---

<sup>3</sup> É o caso dos livros de Francisco Alcântara e Aníbal Freitas. Freitas apresenta alguns exemplos numéricos ao longo do texto, mas não oferece problemas ao final do capítulo.

<sup>4</sup> Os grifos em negrito foram feitos para chamar a atenção e são nossos. A reprodução foi feita por scanner, preservando integralmente o texto original, sendo que apenas recursos de fonte, negrito e sombra foram aplicados.

## ORIENTAÇÃO PROGRAMÁTICA

O tipo atual de exame vestibular de Física para os candidatos a engenharia, medicina, etc., tem prejudicado imensamente o ensino da Física no curso secundário. Consoante a opinião do ilustre professor padre Aloysio Vienken, S.V.D., que leciona Física há mais de 30 anos, os nossos **métodos são antiquados**, pois a maioria dos professores, preocupados com os vestibulares, ensinam apenas Física teórica, *Física de giz* na lousa escolar, obrigando o estudante a decorar fórmulas e questões matemáticas, desleixando completamente a parte prática, **jamais ilustrando as aulas com experiências**. Com isso o aluno perde o estímulo e atrativo pela matéria. Resultado: **falta de iniciativa nas ciências e nas pesquisas, falta de físicos autênticos, de que o Brasil tanto necessita para vencer o estágio de subdesenvolvimento.**

Felizmente está havendo reação por parte de muitos professores do curso secundário. O desenvolvimento da técnica, nos últimos anos, exigiu a hodiernização do ensino da Física. Acompanhando esse desenvolvimento, a Firma "Otto Bender" apresenta novos conjuntos Bender para o ensino da Física pela experiência, fabricados com a colaboração do Padre Aloysio Vienken, S.V.D., e conforme as **diretrizes que vêm sendo adotadas nos países mais desenvolvidos**, bem como pela CADES (Campanha de Aperfeiçoamento e Difusão do Ensino Secundário), do Ministério da Educação e Cultura. Todos esses conjuntos estão acompanhados de fichário explicativo, com muitas experiências elaboradas. O programa de tais conjuntos "Bender" consta de 1) conjuntos fundamentais para ciências (Física, Química, Hist. Natural, Geografia e Desenho), destinados ao curso ginásial; 2) conjuntos individuais para o curso *colegial*: mecânica dos sólidos, dos líquidos e dos gases, acústica, ótica, termologia, eletricidade. Cada conjunto vem acondicionado em estôjo de madeira. Todo esse material pode ser adquirido na "Indústria e Comércio Bender Ltda.", rua Santa Ifigênia, 89, 6.º andar, cidade de São Paulo.

A observação e a experiência nos ensinam que o olho humano é *15 vezes* mais sensível ao estudo do que todos os outros órgãos em conjunto. Esse fato é utilizado em larga escala pela pedagogia contemporânea a fim de melhorar o ensino. **Ao invés de longas e cansativas explicações verbais do professor, hoje se emprega o método direto da demonstração pelas projeções de *diafilmes* ou *diapositivos* que fixa a matéria na inteligência do aluno, sem cansaço perceptível e com maior proveito.**

O padre Aloysio Vienken disse: "O problema número um do nosso progresso material e da formação científica da nossa juventude é o ensino *experimental* da Física no curso secundário".

De maneira nada crítica, a leitura do texto acima poderia ser feita e entendida sob dois aspectos, desde uma sutil propaganda do material instrucional da “Indústria e Comércio Bender Ltda” até um manifesto nacionalista convocando jovens para serem cientistas em nosso país.

Ultrapassando a leitura publicitária acreditamos que o texto é altamente instrutivo à medida em que, ao retratar um pensamento da época, aponta idéias que, quase quarenta anos passados, ainda persistem no contexto escolar em geral. A crítica é bastante antiga e seu discurso permanece. A afirmativa sobre o vestibular parece continuar tão válida hoje como naquele tempo, podendo ser expandida aos demais estudantes, que desde muito cedo assumem o papel de candidatos ao ingresso na universidade.

A autocritica dos autores chama atenção quando mencionam os métodos antiquados utilizados nas aulas de Física; a predominância da Física de giz e os professores que apenas se preocupam com vestibular; a valorização do “decorar de fórmulas e questões matemáticas, deixando de lado a parte prática, jamais ilustrando as aulas com experiências.” (sublinhado nosso). A rigor, estaremos de acordo com as afirmações, ainda hoje válidas. Para nossos objetivos, é instrutivo verificar que o texto é explícito quanto às formas de uso do laboratório didático: o “método direto da demonstração” e a “ilustração das aulas”. Fica claro que o laboratório didático era entendido como componente didático complementar ao ensino, justificando-se o seu uso em substituição à “verborragia” das descrições e explicações do professor.

São indiscutíveis a representatividade e importância destas obras no ensino de Física até os anos 60. Além de direcionar o conteúdo em profundidade e extensão, também induziam uma prática didática e uma forma de avaliação que valorizava a memória e o verbalismo.

Estes aspectos pedagógicos são comentados por Hamburger (1982), em seção do V SNEF, na qual resgata os principais eventos relacionados com o ensino de Física no Brasil. Através de um relato histórico, tece a cronologia dos mais importantes acontecimentos desde 1934. Chama a atenção quando cita que,

em 1953, no ITA/São Paulo, foi realizado o “**I Curso para Aperfeiçoamento de Professores de Física do Ensino Secundário**”, patrocinado pelo MEC. “*A duração do curso foi de um mês, constando de conferências, trabalhos de laboratório realizados pelos professores-alunos, visitas a instituições de pesquisa, trabalhos de grupos com a participação dos organizadores.*” Cita ainda que, em 1955, foi realizado o segundo curso e, o mais importante, que “*Em ambos os cursos foi dado ênfase na experimentação, recomendando-se um ensino para compreender e raciocinar contra o verbalismo e memorização.*” (Hamburger, 1982:195)

É de interesse histórico conhecer-se os organizadores, conferencistas e “professores-alunos” destes cursos, pois a maioria deles teve, e alguns ainda tem, forte influência no meio acadêmico. São citados entre os organizadores os professores P. A. Pompéia, L. Cintra do Prado, A. de Moraes, J. Tiommo e A. H. Madsen. O corpo de conferencistas era formado pelos professores D.R. Collins, D. Bohm, R. Feynman, J. Costa Ribeiro e Oscar Sala. Dentre os “professores-alunos” mais conhecidos, encontramos Beatriz Alvarenga, J. Israel Vargas e A. Teixeira Junior.

Os objetivos destes cursos ocorridos há quase meio século, vão ao encontro e ressaltam que o laboratório didático era entendido como um aposto dentro do processo ensino-aprendizagem. A citação acima vem confirmar que a concepção educacional vigente se mostra mais preocupada com o exercício da retórica e da memória do que com a formação do estudante.

Entretanto, mesmo após estes cursos, as alterações no processo de ensino não se mostraram tão significativas ou revolucionárias, quanto se poderia esperar, pelo menos no que concerne ao uso do laboratório didático. Entre os alunos do primeiro curso, dois deles tornaram-se autores de livros didáticos para o ensino médio: Beatriz Alvarenga e Antonio S. Teixeira Jr.

Teixeira Jr. publicou o livro “Física – Curso Colegial/ segundo volume”



(Ed. Brasil S/A - SP)<sup>5</sup>. Alvarenga em co-autoria com Antonio Máximo, publicou em 1970, o livro texto “Física”, volume I, pela Ed. Bernardo Alves S. A. Alvarenga e Máximo registram no Prefácio (p. 5) que “ (...) nos propusemos a organizar um programa completo de ensino de Física para as escolas secundárias, com livro-textos para os estudantes, guias para os professores, **guia de laboratório**, materiais auxiliares de ensino de modo geral, etc. Nossa intenção é fazer um trabalho que, sendo moderno, pois dá ênfase às leis gerais, reduz a informação ao mínimo necessário, procura desenvolver o gosto pela **experiência e o raciocínio lógico**” (grifos nossos). Os mesmos autores, no “Manual do Professor” para o texto de “Física” (vol. I), editado em 1972 pela mesma editora, em sua página inicial, sob o título “Ao Professor”, informam: “*Prosseguindo nosso projeto de desenvolver um programa completo de ensino de Física para as escolas secundárias brasileiras, após publicarmos os livros textos de Física, em três volumes, lançamos, agora o “Manual do Professor”, também em três volumes, esperando que, no próximo ano, possamos completar nossa série, publicando o “Guia de Laboratório”* (grifo nosso). Além deste compromisso, o Manual do Professor se exime de qualquer referência ao uso do laboratório didático ou a experimentos didáticos, dedicando-se unicamente a apresentar a solução dos problemas do livro. O mencionado Guia de Laboratório parece não ter sido elaborado; em todo caso não foi colocado à disposição dos professores. Sejam quais forem as razões que determinaram a não elaboração do Guia, é importante perceber que, de certa forma, o laboratório didático não manteve o prestígio que aparentemente lhe fora atribuído no prefácio citado acima.

Se compararmos o Prefácio do “Manual do Professor”, dos mesmos autores, em sua 3ª edição, 1995, (Ed. Harbra) vinte e três anos após a edição do primeiro Manual, é encontrado no item 3, p. VI, a seguinte orientação: “*Nunca é demais salientar a importância do trabalho experimental em um curso de Física. As experiências que apresentamos em nossos livros podem ser feitas, em sua maioria, com material caseiro. Desta maneira, sem se sobrecarregar demasiadamente com o trabalho de laboratório, o professor tem condições de*

---

<sup>5</sup> Temos em nosso poder o volume de número 2114 da 8ª edição de 1966.

*dar aspectos experimentais ao seu curso, exigindo que os alunos realizem e interpretem aquelas experiências.” (grifo nosso)*

Este item explicita o valor do trabalho experimental, de modo perfeitamente coerente com um discurso pedagógico relativo ao laboratório (material caseiro de baixo custo) e a sua função. Todavia, na seqüência da leitura, o item 8 do Prefácio prescreve “*Sugerimos que as atividades a serem desenvolvidas pelos estudantes que acompanham nosso Curso de Física sejam realizadas com a seguinte ordem de prioridade: leitura do texto, exercícios de fixação, exercícios de revisão, “Tópico especial”, experiências, problemas e testes, problemas suplementares. Em casos de carga horária reduzida, o professor poderá planejar seu curso chegando apenas aos exercícios de revisão e incluindo alguns “Tópicos Especiais” e experiências mais simples.*” (grifos nossos). Mais adiante encontramos outra recomendação para os professores indicarem quais atividades os alunos devem fazer em casa, inclusive experiências. No entanto, faz a ressalva que “...dentro do possível..” tais atividades deverão ser analisadas e interpretadas pelo professor em sala de aula.

O exemplar analisado de Teixeira Júnior não apresenta Prefácio, eliminando quaisquer orientações didático-pedagógicas por parte do autor com referência ao uso do texto em classe. Isso nos leva a concluir que o texto deveria ser utilizado dentro das práticas tradicionais: a memorização e verbalização. A seqüência de conteúdo é extremamente tradicional: texto com os conceitos e definições concernentes ao tópico, a descrição de algumas “experiências históricas”, as respectivas fórmulas, exemplos resolvidos, exercícios e um questionário. Não são feitas referências a atividades relacionadas ao laboratório didático no corpo do texto (reprodução de parte do texto no Anexo 5). Silva e Hosoume (1997:358) confirmam nossa análise ao comentar que “*O livro Física de Teixeira Júnior, de 1953, se propõe como obra que objetiva adequar-se aos programas e evitar prolixidades. As divisões propostas ao conteúdo são as que vimos atualmente nos livros didáticos: Mecânica, Física Térmica, Óptica e Eletricidade e Magnetismo. O conteúdo é desenvolvido dentro dos capítulos em itens não numerados que abordam um único tópico. A ilustração é feita por desenhos esquemáticos relacionados, na*

*maioria das vezes a exercícios de aplicação.(...) A obra é extremamente formal e o tratamento abstrato deixa de lado discussões conceituais detalhadas.”*

Se admitirmos, a priori, que os livros didáticos são, em geral, indicadores do processo ensino-aprendizagem que ocorre em sala de aula, é fácil concluir que o laboratório didático não foi marcante nem se mostrou significativo para o ensino da Física, no “ciclo colegial”. Portanto, o objetivo dos organizadores do curso de 1953, que almejavam quebrar o processo mecânico de verbalização e memorização, além de implementar o laboratório didático, não ocorreu. A introdução de uma concepção mais arrojada e ligada ao desenvolvimento do raciocínio e compreensão, aliada a outros mecanismos de avaliação e ao uso do laboratório didático, não apresentou a repercussão ou influência desejada. O simples uso do laboratório, com o objetivo de minimizar a quantidade de descrições experimentais dos textos, não foi alcançado.

Percebe-se que, por mais que esforços tenham sido empreendidos para mudar a trajetória do ensino, dois aspectos foram mantidos: *a didática tradicional e o discurso sobre o laboratório didático*. Este discurso é, em sua essência, contraditório, pois, ao mesmo tempo em que enaltece o uso do laboratório, coloca-o como uma das últimas prioridades, podendo ser, em última análise, dispensável. Deve-se lembrar que sua total, ou quase total, ausência se justificava pela falta de equipamentos, pela falta de tempo, pelo tumulto disciplinar em classe, etc.

É ingenuidade pensar que somente os livros didáticos foram os responsáveis pela não divulgação e uso do laboratório didático. Certamente são os mais responsáveis, mas não os únicos. Fatores outros também interferiram para a sua dispensa. Os antigos laboratórios escolares, com sala ambiente própria, possuíam um acervo de material experimental restrito, geralmente, a um exemplar de cada experimento, implicando que a prática experimental se resumisse em demonstrações realizadas pelo professor. Estes equipamentos eram importados, pois a indústria nacional, se existia, era incipiente. Além de seu custo ser significativo, a quebra ou extravio de um equipamento constituíam problemas enormes, e por isso o material era de uso exclusivo do Professor.

A dependência dos livros didáticos escolares em relação ao modelo europeu e a escassez de materiais experimentais levou várias instituições nacionais a tentar mudar este quadro, elaborando material instrucional mais adequado à realidade educacional brasileira. Entre estas instituições estava o IBECC – Instituto Brasileiro de Educação Ciência e Cultura - fundado em 1946 em São Paulo. O IBECC certamente foi o grande líder na produção de material instrucional de Ciências. A partir dele foram criados os Centros de Treinamento de Professores de Ciências em vários estados brasileiros (CECISP, CECIGUA, CECIRS...e outros)<sup>6</sup> e a FUNBEC - Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências<sup>7</sup>.

Para se ter uma idéia, em 1952 (Barra e Lorenz, 1986) o IBECC já produzia os primeiros “kits” de Química para o 2º grau (atual ensino médio), seguidos pelos de Física e Biologia. Também foram elaborados textos para acompanhar os respectivos kits. Na década de 60, surgiram os grandes projetos<sup>8</sup> de ensino (BSCS, de Biologia; PSSC de Física; Chemistry e CHEMS de Química). Ele também foi sede da elaboração do Projeto Piloto, que reuniu professores de vários países da América do Sul. Barra e Lorenz (1986) fazem uma retrospectiva detalhada das atividades do IBECC no período de 1950 a 1980 e seus desdobramentos. A linha diretora que norteava as atividades do IBECC era “(...) ênfase na vivência pelo aluno, do processo de investigação científica” porque “Esta visão de ciências como processo não se refletia nos livros didáticos até então utilizados em nossas escolas.” (Barra e Lorenz, 1986:1982)

Mesmo com o esforço que a equipe do IBECC empregava na produção de materiais adequados e acessíveis, treinamento de professores e tradução de textos, entre outras iniciativas, “(...) no que se refere especificamente à melhoria da aprendizagem, os resultados demonstram que em geral, os mesmos ficam aquém do esperado.” (Barra e Lorenz, 1986:1982)

---

<sup>6</sup> CECISP - Centro de Treinamento de Professores de Ciências de São Paulo. As letras CECI passaram a ser o prefixo dos centros de ciências e ao final era adicionada a sigla do estado brasileiro correspondente.

<sup>7</sup> O FUNBEC atuava junto ao IBECC para a comercialização do material produzido pelo IBECC.

Do lado comercial, a empresa “Firma Otto Bender” de São Paulo, inicia, nos anos 60, a produção de material experimental para laboratórios de Ciências e Física. Coube ao Pe. Aloysio Vienken, S.V.D. a consultoria científica à empresa e a divulgação do material junto aos Professores. No ápice de sua produção, em meados da década de 60, a empresa mantinha um ônibus como uma espécie de laboratório móvel, onde o Pe. Aloysio ministrava os cursos sobre o uso do material Bender. Os equipamentos e dispositivos eram acomodados em “caixas”, permitindo a montagem de um número considerável de experimentos relativos aos grandes temas da Física. Os conjuntos Bender se compunham de Mecânica (duas caixas); Hidrostática (uma caixa); Termologia (duas caixas); Ótica (duas caixas) e Eletricidade (duas caixas).

Na década de 70, muitas foram as escolas que adquiriram este material e ele tornou-se relativamente conhecido. Algumas Secretarias de Educação fizeram aquisições de lotes de várias caixas Bender e “distribuíram” às suas escolas. Com estas caixas, o professor poderia realizar mais de uma centena de experimentos, qualitativos ou quantitativos, mas sempre de forma demonstrativa. A sugestão do “Livro de Experiências” que acompanhava os conjuntos experimentais, era que os experimentos fossem realizados ao fim da unidade teórica, caracterizando típicas práticas experimentais de comprovação.

Esta visão do uso do laboratório didático perdura até meados dos anos 60, quando se inicia a era dos grandes projetos de ensino de Física. Ocorre então uma mudança significativa no ensino de ciências e, em particular, na valorização do laboratório e das práticas experimentais. Mesmo assim, Hamburger (1982:199) encerrando seu retrospecto histórico sobre o ensino de Física no Brasil, afirma: *“A ênfase no ensino experimental da Física, tão propalada em praticamente todas as reuniões, não passou para a sala de aula. Estamos hoje [1986] em relação a este ponto em situação muito próxima àquela de 1953, época do I Curso de Aperfeiçoamento para Professores de Física do Ensino Secundário”*.

E hoje, aqui no Brasil, como estamos?

---

<sup>8</sup> Os projetos de ensino de Física serão discutidos adiante.

### 3. A ERA DOS GRANDES PROJETOS

Em 1955, iniciou-se nos Estados Unidos um movimento de renovação do ensino de ciências experimentais, que se estendeu, posteriormente, à Europa e aos demais continentes (África, Ásia e América Latina), compreendendo mais de cinquenta países. O desencadeamento deste movimento de renovação pode ser atribuído ao PSSC, um dos mais reconhecidos currículos de Física do mundo. ✕

Além do PSSC, o pioneiro dos novos currículos, a Universidade de Harvard, apresenta outra proposta curricular através do “Project Physics Course”. Na Inglaterra, o movimento renovador se concretiza através do projeto “Nuffield Physics”. A UNESCO promove no Brasil a elaboração do Projeto Piloto, cujo tema era “Física da Luz”. No Brasil o “PEF – Projeto de Ensino de Física”, o “FAI – Física Auto Instrutiva” e o “PBEF – Projeto Brasileiro de Ensino de Física” são frutos nacionais da semente inovadora do pioneiro PSSC. Cada um destes projetos será discutido nas próximas seções.

O período ou, como denominamos, a “era” dos projetos, foi extremamente fértil e, sob certos aspectos poderia, guardadas as proporções, ser equiparada a uma “revolução industrial”. A dinâmica organizacional e didática que envolveu a elaboração desses projetos, foi revolucionária frente ao que já se tinha feito em relação a propostas educacionais na área de ciências. A disseminação desses projetos nos mais diferentes países, com suas abordagens metodológicas quebrando a estrutura monolítica dos antigos textos escolares, encontrou eco junto aos professores. Por conseguinte, promoveu um incentivo enorme às investigações em ensino, estimulando um maior número de profissionais a se dedicarem a ela. O resultado, hoje dia, mostra uma área de pesquisa madura, com vários cursos de pós-graduação e com um número crescente de investigadores. ✕

Entre as modificações contidas nas propostas didáticas dos diferentes projetos, constata-se uma nova seqüência para os conteúdos; novos objetivos educacionais, agora mais explícitos; a adoção de novas metodologias e técnicas

de ensino; um laboratório didático muito ligado aos conteúdos e um comportamento mais ativo do aluno.

Do ponto de vista desta investigação, o resgate destes projetos é de extrema importância visto que, na proposta pedagógica de cada um deles, o laboratório didático está presente e contextualizado. Esta contextualização parece ter, pela primeira vez, alguma justificativa para o seu uso dentro do espaço didático. É nesta perspectiva que faremos uma releitura dos diferentes projetos: procuraremos extrair as justificativas que fizeram com que o laboratório didático fosse incluído no processo de ensino de cada projeto. Cada projeto será avaliado isoladamente, registrando as principais referências ao laboratório para convergir à uma análise final.

### *3.1- Physical Science Study Committee - PSSC*

O maior representante do movimento inovador no ensino de ciências foi o projeto de Física do Physical Science Study Committee, mais conhecido pela sigla PSSC, iniciado em 1957 nos EUA. Sua tradução para o português foi liderada por uma equipe de professores do IBCEC<sup>9</sup> entre 1961 e 1964, na Universidade de São Paulo. O PSSC teve o mérito de modificar substancialmente a percepção do que se entendia por ensino de Física até aquela época. Independente dos motivos político-ideológicos que justificaram sua elaboração, a proposta metodológica foi revolucionária. Um texto totalmente diferenciado, utilizando uma linguagem moderna, apresentava um seqüencial de conteúdo novo e incorporava tópicos pouco explorados no corpo dos textos tradicionais. Questões abertas foram inseridas no próprio texto e o laboratório passa a fazer parte integrante do curso. A prática experimental tinha sua inserção, à medida que fazia a inter-relação com a teoria no desenvolvimento da Física. Como novidade, filmes, produzidos especialmente para o projeto, são agregados como ferramentas de ensino.

O conteúdo aliado a uma dinâmica metodológica, que por sua vez fazia

---

<sup>9</sup> IBCEC – Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura.

uso dos diferentes recursos já enumerados, se faz presente concomitantemente em todos os momentos do curso. Desta forma, a novidade maior do PSSC estava na pluralidade de seus meios e no sincronismo de sua aplicação. A participação ativa do estudante era estimulada pelas discussões promovidas pelo professor através de questões abertas, manipulação experimental, etc.

Com relação ao programa de laboratório contido no PSSC, observa-se, para a época, um espetacular avanço. Dos cinquenta experimentos que compõem seu acervo básico, alguns são de natureza qualitativa e outros são quantitativos. É importante destacar que muitos dos experimentos, do ponto de vista didático, são novidades. Entre eles destaca-se o “tanque de ondas”, para o estudo de ondas. São experimentos que, além de fugir das tradicionais experiências demonstrativas, são inovadores na concepção do sua “montagem”. (Anexo 6)

Uma das premissas da proposta do PSSC era fazer com que o estudante tivesse uma participação mais ativa em todas as atividades, exigindo que todos os alunos realizassem o experimento ao mesmo tempo. Do ponto de vista estrutural, essa exigência criou a necessidade de produzir e oferecer equipamentos que se caracterizavam pela simplicidade e robustez (Barra e Lorenz, 1986). A simplicidade diminuía o custo e a robustez permitia a manipulação pelos próprios alunos. No início do projeto, foi o envolvimento dos alunos na construção de seus próprios equipamentos, idéia posteriormente afastada. A organização final dos equipamentos resultou em pequenos “kits”<sup>10</sup>.

Os experimentos eram acompanhados de “guias de laboratório”, mas com outra configuração, isto é, afastando-se das conhecidas fórmulas “cook-book”<sup>11</sup>. Sua função era fornecer instruções explícitas sobre o funcionamento do equipamento, acompanhado de questões que direcionavam a execução experimental, sem prender-se em demasia nos detalhes do procedimento e sem

---

<sup>10</sup> Os “kits” experimentais tornaram-se bastante conhecidos, por se constituírem em caixas que continham o equipamento básico necessário para os experimentos. A idéia foi adotada por diversos projetos de ensino.

<sup>11</sup> “Cook-books” são roteiros para a realização de experimento, onde o estudante deve seguir instruções detalhadas e seqüenciadas, extremamente limitados pela pouca flexibilidade oferecida ao aluno.



oferecer informações vagas que comprometessem o objetivo da experimentação. Pretendia-se que o laboratório fosse “(...) *um meio direto de ensino, contribuindo com seu trabalho de experimentação para o desenvolvimento do pensamento físico e para apreciação do método científico.*” (Carvalho, 1972:19)

O “Guia de Laboratório – Notas de Laboratório” é parte integrante do “Guia do Professor - Parte I” e contém apenas três páginas que explicitam a expectativa dos autores em relação ao laboratório. As “Notas de Laboratório” foram elaboradas por cerca de 7 professores coordenados pelo Prof. Uri Haberschaim e outros colaboradores que procuraram deixar bastante claro, o papel do laboratório e suas atividades no PSSC, quando afirmam que “(...) *laboratório não substitui somente demonstrações do professor, como também economiza o tempo despendido, nas aulas, com explicações. O trabalho de laboratório se relaciona bastante com o livro texto, e é de igual importância*” (Guia do Professor, 1967: 197 - grifo nosso). Esta frase é extremamente significativa e de grande importância pois determina o princípio didático-pedagógico assumido pelos autores. Coloca o trabalho de laboratório no mesmo patamar de valorização que o trabalho de conteúdo teórico e impõe um papel mais ativo para o aluno. Além disso, oferece um significado didático para sua inclusão na composição estrutural do programa de Física.

Outra inovação, se compararmos a nova abordagem com o uso tradicional do laboratório como elemento demonstrativo/confirmativo, está na recomendação de que os experimentos sejam realizados “**antes de seus tópicos serem apresentados no texto.**” À primeira vista, pode parecer que está sendo explorada a faceta da motivação.

Provavelmente sim. Entretanto, os autores deixam claro que se, no início, os alunos não dominam de pronto os aspectos a serem observados e relatados, com o passar do tempo passarão a apreciar a realização de experimentos e discutir resultados que outros (cientistas) já encontraram.

Houve um cuidado em diminuir, senão eliminar, o exagero dado às

habilidades manipulativas no laboratório. A obsessão de precisão nas medidas experimentais foi bastante atenuada, pois a “(...) *precisão exigida é determinada pelo conhecimento que você tinha antes da experiência e pela finalidade da experiência.*” (Guia, 1967: 196) Se a determinação de um dado valor desconhecido obtido experimentalmente chegar relativamente próximo ao valor aceito como padrão, isto é sinônimo de sucesso pois, para quem desconhece o valor correto, o valor encontrado já se configura no enriquecimento do conhecimento. Sustentam ainda que, muitas vezes, é desnecessário afinar a precisão das medidas, pois a finalidade da experiência não é o valor numérico encontrado e sim a discussão de sua validade.

Uma sugestão agradável, tanto para os professores quanto para os alunos, é feita em relação ao “relatório experimental”. “*Freqüentemente, o relatório é uma tarefa desagradável, não só para o aluno que precisa escrevê-lo, como para o professor que precisa lê-lo. Recomendamos a cada aluno que mantenha suas anotações bem feitas, tomando-as durante a experiência. Somente em raras ocasiões, uma experiência deve ser escrita em forma de relatório.*” (Guia, 1967:197 - grifo nosso). Esta recomendação, por certo, fogia à regra predominante de elaboração de um relatório experimental tradicional.

Uma frase constante no “Guia do Professor – Notas de Laboratório”, resume, em nosso entendimento, a concepção que os autores pretendiam transmitir aos professores adotantes do PSSC, referente ao papel do laboratório no contexto do curso: “*O valor de cada experiência é grandemente aumentada, se feita no momento correto.*” (Guia, 1967:197)

É inquestionável o aspecto inovador e revolucionário do PSSC. O programa proposto incorpora conteúdos nunca tratados nos programas tradicionais, além de incorporar toda uma gama de metodologias de ensino nunca utilizadas de maneira simultânea. Seu pioneirismo ainda hoje deve ser respeitado pelo que representou para o ensino de Física, cuja história pode ser dividida em “antes e depois do PSSC”. Mesmo seus opositores não negam o seu papel instigador e promotor de novas opções metodológicas para o ensino.

O PSSC foi também, num certo sentido, um marco de incoerências. Se não obteve o sucesso esperado e desejado no ensino secundário americano, foi o projeto de Física mais disseminado por meio de inúmeras traduções, inclusive para o russo, demonstrando um sucesso mundial. No Brasil, sua porta de entrada foram as disciplinas de Instrumentação para o Ensino de Física, formando toda uma geração de professores. Muitos deles exerceriam, no futuro, grande influência no ensino e na pesquisa em Física. Se houve algum sucesso do PSSC no Brasil, ele ficou restrito aos cursos de formação de professores. Anna Maria P. Carvalho, em sua tese “O Ensino de Física na Grande São Paulo”, de 1972 analisa com detalhes a adoção do programa do PSSC por alguns professores de escolas da grande São Paulo. Chamam a atenção suas conclusões constatando que os professores tiveram forte influência do PSSC, mas o número de adotantes foi muito pequeno. As razões são várias, mas a predominante é a falta de condições básicas como, por exemplo, salas para o laboratório, os kits experimentais, os filmes e o equipamento necessário para projeção. Entretanto, chama a atenção o fato de que mesmo não adotando o PSSC, uma enquete revelou que houve uma melhora no ensino de Física, seja pelo fato dos professores escolherem com mais cuidado o livro didático, seja por outras metodologias utilizadas em sala de aula. Essa mesma enquete acusou um uso mais freqüente do laboratório didático e a introdução de técnicas de discussão. Em suma, houve uma mudança de comportamento do professor, que procurou colocar em uso algumas das metodologias introduzidas no programa do PSSC. Carvalho apresentou a hipótese de que “*A introdução do PSSC em nosso meio educacional provocou uma mudança no ensino de Física e que esta mudança ocorreu, principalmente, na metodologia empregada*” (Carvalho, 1972: 136), confirmada pelos resultados de sua enquete.

Outra conclusão que Carvalho apresenta diz respeito à “*influência do PSSC nos projetos de ensino de Física em elaboração no Brasil*”. (Carvalho, 1972: 137) Esta, certamente, foi a mais duradoura das influências do PSSC: aquela exercida sobre os docentes que se envolveram em pesquisas em ensino de Física quando da produção dos projetos brasileiros.

O PSSC permanecerá na história do ensino da Física como uma das

maiores fontes de inspiração de inovações e investigações para o ensino de Física. Ser a favor ou contrário à proposta do PSSC é, no mínimo, reconhecer e aceitar seu papel histórico, como instrumento modificador de uma visão pragmática e tradicionalista no ensino de Física. A dinâmica proposta de um curso com discussões e atividades dos alunos em classe, visão moderna do conteúdo ministrado e um laboratório didático participativo, sem dúvida demarcou novos procedimentos didáticos para serem, senão adotados, no mínimo estudados para futuras propostas.

### 3.2 - *Project Physics Course*<sup>12</sup> (Projeto Harvard)

Ao final de uma reunião da Fundação Nacional de Ciência<sup>13</sup> em 1963, Gerald Holton, físico, James Rutherford, professor de Física na escola secundária e Fletcher Watson, educador, aceitaram o desafio de iniciar um novo projeto nacional de Física nos Estados Unidos (Holton, 1979). A idéia era elaborar uma nova proposta curricular para o ensino americano.

O objetivo do trabalho era oferecer uma alternativa ao projeto PSSC. Dos nomes citados, os dois primeiros já estavam trabalhando em textos para o ensino secundário. Essa experiência se transformou em fio condutor, dando norte à tarefa proposta de romper com o ensino fragmentado e racionalmente seqüenciado. Holton (1979) se refere aos grandes tópicos da Física como “pérolas”, que se encadeiam formando um “colar” que resulta na Física que é conhecida.

Para romper essa seqüência rígida, os autores propuseram um encaminhamento diferente, procurando mostrar como a Física se desenvolveu e abordando seu impacto social e humanístico, pontos que foram capazes de sensibilizar a grande maioria dos estudantes. Para integrar a Física, como ciência, ao contexto histórico e social, adotaram o que chamam de “*abordagem*

---

<sup>12</sup> O termo Harvard fazia parte da denominação original do projeto. Durante sua elaboração até a publicação foi adotada em definitivo, para a versão americana, a denominação Project Physics Course. No entanto, é mais conhecido no Brasil como Projeto Harvard.

<sup>13</sup>National Science Foundation - NSF

*conectiva*". Esta contextualização mais abrangente agregava História, Filosofia e Política, criando "não um colar de pérolas separadas, todas dentro de um campo, mas uma tapeçaria de conexões cruzadas entre muitos campos." (Holton, 1979: 258). Este pensamento amenizava a idéia de que o progresso do mundo estava na mão da Ciência, mandamento hegemônico da década de 50 e oculto na concepção de ensino do PSSC.

Seu objetivo maior era "organizar um curso de Física orientado humanisticamente". Duas outras diretrizes também foram incorporadas: "atrair um número maior de alunos para o estudo da Física introdutória e descobrir algo mais sobre os factores que influenciam a aprendizagem da ciência." (Projecto de Física<sup>14</sup>, Prefácio, 1979). Cinco grandes objetivos norteadores determinavam as aspirações do projeto, valorizando os aspectos já citados e propiciando uma perspectiva cultural e histórica "as idéias da Física têm uma tradição ao mesmo tempo que modos de adaptação e mudança evolutiva" (Projeto de Física, Prefácio, 1979:1). A participação ativa do aluno tinha o objetivo de fazê-lo vivenciar "as dificuldades e alegrias próprias da descoberta científica. De uma maneira simples deseja-se que os alunos se comportem como 'pequenos cientistas'." (Prefácio, 1979:2) Mesmo enfatizando o aspecto humanístico, a figura do aluno 'pequeno cientista', continuava viva e forte.

Além do aspecto inovador da concepção humanística que orientou a elaboração do projeto, a tendência do uso de "multi-meios" desencadeada pelo PSSC, influenciou parte do arsenal de material instrucional elaborado. O perfil de integração entre os diversos materiais foi cuidadosamente estruturado. Faziam parte deste arsenal o livro texto, os manuais de atividades, o material para experiências, a coleção de textos suplementares, os livros de instrução-programada, os filmes sem-fim (loop/super 8) e de 16 mm, as transparências, um sem número de aparelhos, o livro de testes e os guias para professores.

A presença do laboratório didático no Projeto Harvard é bastante

---

<sup>14</sup> A Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa/Portugal, traduziu para o português o projeto com o título de Projecto de Física. Em 1978, publicou a Unidade I (Conceitos de Movimento). Nos anos seguintes, foram traduzidas as demais unidades sucessivamente. O Prefácio referenciado é repetido em todas as unidades.

significativa, com cerca de 50 práticas experimentais. Uma novidade era a alternativa de um mesmo experimento oferecer diferentes procedimentos. Como exemplo, citamos “A medição da aceleração da gravidade”, que pode ser realizada de seis formas diferentes. (Anexo 7) Outra novidade é um conjunto de experimentos exclusivos para uso do professor, denominados de “Demonstrações”, para ser utilizado como instrumento de motivação para introdução de determinado tópico, ou para auxiliar na estruturação do conteúdo. O uso restrito ao professor se deve à sofisticação do equipamento ou à complexidade de montagem. Além desses dois conjuntos, havia outro que, sob o título de “Atividades”, permitia o acesso dos alunos a “*imensas sugestões para a construção de projetos, demonstrações e outras tarefas que poderá levar a cabo por si próprio, no laboratório ou em casa*”. (Projecto de Física, Unidade I, 1978:134).

A riqueza das possibilidades experimentais, com uso de material simples ou sofisticado e as alternativas de execução de um mesmo experimento deixam o laboratório em lugar de destaque no contexto do projeto. O número de atividades ligadas ao laboratório chamam a atenção. A “média”, por Unidade, é de 10 a 15 experiências, 25 demonstrações e 5 a 6 atividades para os alunos. Entretanto, o texto do aluno informa que “*São aqui descritos muito mais projetos do que aqueles que poderá fazer sozinho, pelo que será necessário fazer uma seleção. Embora só lhe devam ser entregues algumas experiências e atividades que são tratadas neste Manual, faça todas que despertarem o seu interesse. Além disso, se lembrar de alguma atividade, que aqui não esteja descrita, discuta com o professor a possibilidade de realização*”. (Projecto de Física, Unidade I, 1978:134). O enfoque e a valoração dada ao laboratório didático podem ser entendidos pelo seguinte conselho: “*Prepare-se (aluno) para um trabalho crítico e curioso, e também para algumas surpresas. Uma das melhores maneiras de aprender Física é fazer física, seja no laboratório ou fora dele. Não se deixe ficar pela simples leitura*”. (Projecto de Física, Unidade I, 1978: 134 - grifo nosso)

A participação ativa do aluno se aproxima muito daquela do PSSC e nas tarefas ligadas ao laboratório também não mais existe o relatório formal. É

salientado que o principal é o registro dos dados obtidos, aconselhando ao aluno a se perguntar: *“Será este um registro suficientemente claro e completo, de tal modo que, daqui a alguns meses, eu possa pegar no meu caderno de notas e explicar, a mim próprio ou a um colega, aquilo que fiz?”*. (*Projecto de Física, Unidade I, 1978:135*). São fornecidas algumas regras para o registro de dados, mas são gerais e de fácil assimilação pelo aluno. Procura incutir que não existem resultados “errados”. O que pode ter havido são eventos que nada tem a ver com a investigação ou que podem estar misturados com outro fenômeno. “Sujar as mãos” é a regra de ouro do trabalho laboratorial, incentiva o texto.

Percebe-se que a função do laboratório didático está plenamente de acordo com o que é preconizado no projeto. O aluno terá o papel de “pequeno cientista”, afinal para “aprender Física nada melhor que fazer Física”. Justificativas ou razões pedagógicas para a inserção do laboratório, mesmo apresentando todo um potencial poderosíssimo, não são colocadas. Somente uma transferência do “status” de cientista para o aluno.

O Projeto Harvard não teve repercussão significativa no Brasil. Em 1969, houve um movimento coordenado pelo Prof. Giorgio Moscati, do Instituto de Física da USP, junto a professores ligados ao CECISP<sup>15</sup>, dando origem a uma série de seminários sobre o Projeto, buscando uma adaptação do mesmo ao Brasil.

Em janeiro do 1970, durante a realização do I Simpósio Nacional de Ensino de Física no IFUSP, o Prof. Fletcher Watson apresentou um seminário divulgando o projeto. Na última semana de julho do mesmo ano, foi promovido na USP um curso sobre o Projeto Harvard, para um grupo selecionado de professores brasileiros, ministrado pelos Professores Bobby Chambers e Jerry Menter, ambos da equipe do Projeto Harvard. O grupo brasileiro teria a tarefa de disseminar o projeto por sua ligação com os Centros de Ciências dos vários estados brasileiros ou com escolas de graduação em Física.

---

<sup>15</sup> CECISP – Centro de Treinamento para Professores de Ciências de São Paulo, sediado na USP junto ao FUNBEC/IBECC.

O Projeto Harvard chegou a ser traduzido para o português aqui no Brasil, pela equipe do CECISP. Por motivos e/ou problemas editoriais não foi editado, ficando restrito a um público de professores e instituições do eixo Rio - São Paulo.

### 3.3 - O Projeto Nuffield

O Projeto Nuffield<sup>16</sup> foi elaborado na Inglaterra a partir de 1962. Já era do conhecimento dos responsáveis pelo currículo de Física da escola secundária inglesa a existência do PSSC. Por motivos vários, foi decidido que a Fundação Nuffield elaboraria um projeto próprio para Inglaterra. Os responsáveis pelo Nuffield não negam a influência do PSSC. Segundo Lewis, *“O trabalho do PSSC mostrou que o que realmente importava era o método pelo qual o assunto era ensinado, mais do que o conteúdo sumário. Havia uma grande complacência quanto aos métodos de ensino na Inglaterra ... e chamar atenção para este fato foi talvez o efeito mais estimulante do trabalho do PSSC.”* (apud Carvalho, 1972:136)

Fundação Nuffield expandiu seu projeto englobando Biologia, Química e Física. Além de atender os cinco anos obrigatórios de ensino de Ciências, como prescrevia a lei inglesa, reorganizava todo o ensino de Ciências segundo novas base metodológicas. O esperado pelos organizadores era um currículo de Ciências que fosse excitante para o aluno e que pudesse levá-lo, através de suas investigações e argumentos, a compreender o que a ciência é e, na medida do possível, o que **significa ser um cientista**.

Tal qual o PSSC, o Projeto Nuffield contemplava exaustivamente novos métodos de ensino, particularmente, atividades de discussão e laboratório. Com este último houve um cuidado especial: os experimentos foram organizados em “kits” com uso previsto de um kit para cada dois alunos. Esta atitude visava desencorajar a simples demonstração, forçando o professor a criar condições

---

<sup>16</sup> Na realidade existiam dois Projetos Nuffield, direcionados para níveis diferentes de ensino. Um para escola fundamental e outro para escola secundária. Cada projeto tinha sua coordenação própria, cabendo a E. Rogers e J. Osborne a liderança dos grupos.



para que os próprios alunos realizassem os experimentos. Os materiais que compunham estes kits eram relativamente simples e projetados para dar aos alunos uma oportunidade de se “comportarem como um cientista pesquisando”, sem valorizar em demasia os dados obtidos. Materiais mais sofisticados compunham o acervo de demonstrações à disposição do professor. A preocupação dos realizadores do projeto era criar condições para que o aluno se comportasse como um cientista, especialmente nas atividades ligadas ao laboratório didático.

A divulgação do Projeto Nuffield ficou bastante restrita à Grã-Bretanha e suas antigas Colônias, não obtendo repercussão maior em outros países. No Brasil, em 1968, o IBECC, que já tinha sido o responsável pela tradução do PSSC, apresentou o projeto ao Prof. José Goldemberg, do IFUSP, para a avaliação de uma possível tradução. Seu parecer foi negativo, alegando ser um texto bastante prolixo e não adaptável às condições brasileiras (Carvalho, 1972:119). Assim como o Projeto Harvard, o Nuffield não teve maiores repercussões no Brasil, ficando apenas conhecido no âmbito de grupos com interesses maiores em ensino de Física e algumas bibliotecas.

Tendo em vista a pouca, ou quase nenhuma divulgação do projeto Nuffield no Brasil, vamos nos limitar ao exposto. No entanto, mesmo sendo uma proposta inovadora, reunindo uma quantidade respeitável de material instrucional, não fugiu à regra, no que se refere ao laboratório didático, de fazer do aluno um pequeno cientista.

### ***3.4- Projeto Piloto para o Ensino de Física***

Com certeza muitos dos atuais professores de Física do Brasil desconhecem o fato de que em São Paulo, no IBECC, entre julho de 1963 e julho de 1964, foi elaborado um projeto de Física, conhecido por *Projeto Piloto da UNESCO*.

*“Em 1961, a UNESCO se interessou em reforçar suas atividades para o melhoramento do ensino de Ciências. O Dr. Alberto Baez foi convidado a participar deste movimento como diretor da nova Divisão de Ensino de Ciências criada dentro do Departamento de Ciências Naturais da UNESCO.”* (Ferreyra, 1979:4)

A UNESCO, engajada no movimento renovador do ensino de Ciências, desenvolveu a proposta de elaborar um projeto piloto fazendo uso de novos enfoques, métodos e técnicas para o ensino de Física na América Latina<sup>17</sup>. Uma das diretrizes propostas, consistia em contemplar uma “(...) forte ênfase na experimentação com novas técnicas, dentre elas a Instrução Programada, uso de televisão e filmes de curta duração.” (Ferreyra, 1979:4) Outro aspecto fundamental era a condição de que o material instrucional, em especial o experimental, fosse de baixo custo para os estudantes.

O Projeto Piloto tinha como objetivo ser uma atividade piloto que permitisse iniciar um processo, um ponto de partida para a melhoria do ensino de Física, utilizando novas metodologias e com ênfase no aspecto experimental utilizando material de baixo custo. Isto foi importante para a escolha do tema (conteúdo) sobre o qual que o projeto se debruçaria. O tema proposto foi “Física da Luz”, escolhido pelo diretor da Divisão de Ensino da UNESCO, Dr. Baez<sup>18</sup>, que o considerou adequado, pois satisfazia todos os quesitos iniciais: “(...) *Es también ideal como introducción en un curso experimental y permite ilustrar muchos de los aspectos y principios importantes de la física: el papel fundamental de los experimentos, la naturaleza de las leyes físicas, el uso de la teoría para resumir e predecir, la estrecha relación entre las distintas ramas de la física y las limitaciones de los conceptos simples e diarios para dar cuenta*

---

<sup>17</sup> Outras áreas da ciência foram contempladas, nos anos seguintes, em continentes diferentes: em 1965, um projeto de Química foi elaborado na Ásia; em 1967, na África, foi a vez do projeto de Biologia e nos Emirados Árabes, em 1969, foi a vez da Matemática ter seu projeto. O objetivo era internacionalizar uma proposta inovadora de ensino, tomando como base o país líder de cada região do dito terceiro mundo, tornando-o pólo gerador do projeto. Eram convocados professores de países vizinhos que, junto com professores do país sede e sob orientação da Equipe de especialistas da UNESCO, elaboravam o projeto.

<sup>18</sup> Muito do que antecedeu e do que foi concebido como o primeiro Projeto Piloto da UNESCO, foi trabalho de Alberto Baez. Físico de renome e com experiência junto ao comitê elaborador do PSSC, aceitou o desafio da UNESCO para um trabalho de produção educacional, que deveria ter a duração de um ano, orçamento extremamente curto (140 mil dólares) e que agrupasse especialistas e professores de diversos países da América do Sul.

*de fenómenos físicos complejos*". (Ferreyra, 1979:8) Além disso, para ele, o tema Física da Luz "*Ofrece buenas oportunidades para ilustrar el juego entre teoría y experimento y el uso de modelos en la teoría científica.*" (Ferreira, 1979:8)

Dentre as decisões tomadas, a introdução da Instrução Programada como determinante de todo o processo de ensino-aprendizagem, foi a mais inovadora e audaz. Inovadora porque nenhum trabalho educacional de ciências tinha, até então, se aventurado a adotá-la e, audaz, pela limitação do conhecimento e experiência sobre os novos métodos que seriam adotados. O processo estabelecia a auto-instrução, o que implicava em produzir um material auto-suficiente.

Mesmo com todas as dificuldades registradas (Bergvall, 1964:11), o Projeto Piloto gerou uma quantidade considerável de material instrucional. O texto de instrução programada era composto de seis volumes. Oito "kits" experimentais permitiam a realização de um número expressivo de experimentos. O kit da unidade "Algumas propriedades fundamentais da luz", por exemplo, possibilitava realizar perto de 40 experimentos. Onze filmes mudos de curta duração (cerca de 4 a 5 minutos) mostravam experiências mais difíceis de serem realizadas, seja pelo custo, seja pelo equipamento utilizado. Como parte integrante do acervo havia ainda um filme sonoro de 16 mm com 30 minutos de duração ( "A luz... é uma onda?") e mais oito roteiros para programas de televisão. Em relação ao material experimental, não só foram concebidos novos materiais e/ou montagens, como também foram aproveitados equipamentos de outros projetos, em particular o tanque de ondas do PSSC. (Anexo 8)

A Instrução Programada, adotada como matriz orientadora do projeto, tem sua fundamentação teórica na psicologia comportamentalista skinneriana (behaviorismo), a qual pressupõe que a todo estímulo corresponde uma resposta associada que, se devidamente reforçada, poderá se transformar em resposta condicionada (reforço positivo). Da mesma forma, o reforço pode extinguir uma resposta comportamental estabelecida (reforço negativo). Para que esta teoria

fosse usada na elaboração de textos, foi necessário desenvolver uma apresentação do conteúdo em pequenas parcelas, onde cada uma representasse um “estímulo” ao estudante. A este estímulo, o estudante deveria dar sua “resposta”, sendo aplicado, de imediato, o respectivo “reforço”. Seguindo estes princípios, o texto final tomou uma apresentação diferenciada dos textos tradicionais, optando por uma distribuição quadros<sup>19</sup>.

A grande novidade do laboratório didático foi sua configuração, adaptada aos moldes da metodologia adotada. Todas as instruções, medidas e conclusões também eram apresentadas através de quadros seqüenciais, fazendo parte do corpo comum do texto. Não havia separação entre a “parte teórica” e a “parte experimental”. A sucessão dos quadros era evolutiva, de maneira que cada estudante poderia, além de estudar com velocidade própria, realizar individualmente os experimentos.

Os equipamentos, quando de sua concepção, deveriam ser de baixo custo e com uma resposta experimental adequada à seqüência do conteúdo. Além disso, deveria permitir uma montagem rápida do experimento e, da mesma forma, possibilitar observações qualitativas e obtenção de dados. Isto significava que cada aluno realizaria o experimento a seu tempo e hora, isto é, dentro de sua velocidade de trabalho, o que impedia montagens complexas ou tomada de dados que demandassem um tempo relativamente longo.

Mesmo com a opção por uma metodologia que utiliza a instrução programada, com forte embasamento teórico na psicologia comportamental (behaviorismo), o laboratório não tem uma justificativa maior do que aquela que já é lugar comum no ensino de Física. Neste projeto, em particular, a ênfase é o conteúdo pelo conteúdo. Não há referências a fatos históricos (da Ciência) ou às relações entre ciência e sociedade.

---

<sup>19</sup> Cada quadro representava o estímulo, apresentado por meio de uma informação curta, que imediatamente solicitava uma resposta a ser dada pelo aluno, através de uma frase a ser complementada ou de uma resposta a uma pergunta. Depois de cada quadro, o aluno encontrava a resposta correta, seguida de um novo quadro. A resposta cumpria o papel do reforço que, se estivesse correta “incentivava” o estudante, se estivesse errada permitia a correção e o aluno seguia adiante. Para nova informação ou estímulo, seguia-se uma série de quadros que apresentava o mesmo estímulo de maneiras diferentes, com

Por conseguinte, o laboratório é inserido ao longo do conteúdo, de forma programada, ainda seguindo a máxima de que “para aprender física também é necessário fazer física”. Outro aspecto é a individualização do trabalho experimental, que é coerente com a linha metodológica, mas elimina a “socialização” que, mesmo pobre, sempre acompanha atividades em grupo.

Não podemos deixar de assinalar que a UNESCO e seus diretores, pretendiam atingir outros objetivos através do Projeto Piloto. Como objetivo político-educacional estava a formação de líderes em educação de ciências que, durante a elaboração do Projeto, adquirissem formação e experiência no uso de novas metodologias para, posteriormente, serem os multiplicadores em seus países de origem. De certa maneira, o Projeto Piloto, se não foi o responsável direto por implementar uma nova visão no ensino de Física, em muito colaborou, preparando professores e deixando-os em condições de propor outras modificações e/ou inovações no ensino de Física e Ciências, na América Latina.

Quinze anos após o término da elaboração do Projeto Piloto, Ferreyra (1979) faz uma retrospectiva histórica das origens do projeto e sua influência nos vários países da América Latina<sup>20</sup>. Este autor resgata a continuação do Projeto Piloto nos oito países da América Latina que enviaram professores para participarem de sua elaboração. Ferreyra registra, no Brasil, o trabalho do Prof. Cláudio Zaki Dib, como continuador da proposta metodológica do Projeto Piloto e a constituição do GETEF - Grupo de Estudos e Tecnologia de Ensino de Física, responsável pelo Projeto FAI, que veremos mais adiante.

Se a aceitação da proposta metodológica apresentada pelo Projeto Piloto no Brasil não teve o número de adeptos esperados, não significa que tenha sido

---

o objetivo de reforçar o aprendizado. No Anexo 8, é reproduzida uma página do Projeto Piloto para uma idéia mais precisa do processo.

<sup>20</sup> O autor resgata a trajetória individual ou de grupos de professores que participaram da equipe de redatores. A equipe que trabalhou no Projeto Piloto se compunha de 26 professores, sendo 3 da Argentina, 12 do Brasil, 4 do Chile, 1 de Cuba, 2 do Equador, 1 de Honduras, 1 do Peru e 2 da Venezuela, mais os especialistas da própria UNESCO. O trabalho desenvolvido por Ferreyra é de fôlego, pois investiga, em cada um dos países, de forma detalhada, todos os acontecimentos ligados ou decorrentes do Projeto Piloto. Ao final do relato discursivo, dedicado a um dado país, apresenta num quadro sinóptico desde os ensaios em escolas, até os congressos que foram realizados acerca do Projeto Piloto. Acrescenta os cursos ministrados, o envolvimento dos professores autores e os grupos de pesquisa em ensino de Física que se constituíram ao longo do tempo.

um fracasso. Fracasso ocorreria se ela não despertasse crítica dos opositores e nem incentivasse seus adeptos a mostrar a viabilidade da proposta metodológica no Brasil. Aos críticos coube o ônus de produzirem alternativas. E isto felizmente, ocorreu com ambos os grupos.

### **3.5 - O que os projetos deixaram**

Sem dúvida alguma, pode-se afirmar que os projetos de ensino de Física estrangeiros, elaborados ao longo de um período de quase quinze anos (1956-1969), foram determinantes para a mudança do entendimento que se tinha do ensino de ciências. É quase impossível, para qualquer professor de Física que os conheceu, mostrar-se neutro frente a eles. Sentimentos de afinidade ou rejeição são comuns. Pode-se dizer, sem muito medo de errar, que o julgamento dos projetos é dosado também pelo ingrediente passional. E isto é natural e muito importante, na medida em que leva o “apaixonado” a refletir sobre as propostas pedagógicas à sua frente. Ser um “adotante ou não adotante” consciente, implica em uma análise dos projetos, que demanda certo conhecimento relativo ao processo ensino-aprendizagem.

Entretanto, é necessário um olhar mais atento com relação às proposições dos projetos apresentados. De relance, parecem ser completamente diferentes. A metodologia e os objetivos podem realmente ter sido diferentes; no entanto, todos se espelhavam na Ciência e nos sucessos que caracterizavam sua imagem à época. O progresso refletia a importância da Ciência e de seus procedimentos para a solução de problemas tecnológicos. O pensamento instalado e difundido popularmente sustentava que a ciência seria o remédio definitivo para todos os males do homem. Portanto, a ordem implícita era: todos precisam aprender Ciência. E o mais natural era fazer o estudante se comportar como um “cientista” em seu trabalho escolar.

VCEP

O Projeto Harvard tenta dourar a pílula – e, na realidade, o faz com muita elegância e inteligência, mas não abandona a importância do vigor da ciência para a solução dos problemas. O estudante visto como “pequeno cientista” está presente, de forma oculta ou não, em todos os projetos. A

intensidade ou clareza com que se manifesta é o que os diferencia, mas esta visão parece ser subjacente aos objetivos educacionais.

Em todos os projetos foi mencionado que o estudante deveria desempenhar o papel de pequeno cientista e, propositadamente, não entramos em maiores detalhes para fazê-lo agora, após a apresentação dos mesmos. A concepção do aluno cientista tem uma estreita relação com a visão de Bruner (1968), quando este trata da aprendizagem através da descoberta. Suas idéias se aproximavam muito das de Piaget (1976), que considerava a reinvenção individual como um processo para chegar à compreensão. Zylbersztajn (1977), em estudo em que aplica as idéias de Bruner ao ensino de Física, mostra a íntima ligação entre as práticas de laboratório e o que elas deveriam propiciar ao estudante. As proposições de Bruner são de direção contrária às do ensino tradicional, entenda-se aqui como essencialmente expositivo.

A redescoberta, amparada em quatro justificativas<sup>21</sup>, faz do laboratório didático o local ideal, por envolver ações capazes de que a promover os princípios defendidos por essas justificativas. Tais ações deveriam acontecer em diversas etapas diferentes, com graus de liberdade crescentes<sup>22</sup>. A principal preocupação da aplicação do método da redescoberta reside no incentivo ao “pensamento intuitivo” e não somente ao “pensamento analítico” do estudante, procurando incentivar aspectos de organização lógica. Zylbersztajn (1977) critica, neste ponto, a supervalorização do pensamento analítico no ambiente escolar em detrimento do pensamento intuitivo que é coibido pelo professor. Diz ele que é difícil decidir “*se esta repressão é fruto da ignorância do professor, que desconhece o importante papel da intuição no desenvolvimento do pensamento científico, ou de um sentimento de autodefesa, por temer ser superado pelo aluno neste campo, ou de ambas as coisas.*” (Zylbersztajn, 1977:31). Acompanhamos a crítica do autor e desejamos fazer um acréscimo. O fato é que os diferentes projetos em suas concepções de ensino, mesmo na tentativa de propiciar um ambiente de redescoberta no laboratório didático, não

---

<sup>21</sup> “1. Aumento da potência intelectual. 2. Deslocamento das recompensas extrínsecas para as intrínsecas. 3. Aprendizagem heurística da descoberta. 4. Auxílio à capacidade memorizante” (Zylbersztajn, 1977: 24)

superaram totalmente o atrelamento a uma concepção empirista, ainda presente nos textos e, principalmente, a concepção dos professores permeada pela visão popular de ciência.

A antiga passividade do aluno e a visão de que o mesmo aprende repetindo e memorizando, transformada na concepção de pequeno cientista ativo, é algo inovador e revolucionário para a época em que os projetos foram propostos. Isto, porém, não elimina a leitura, na concepção atual de ensino, de que a importância maior ainda estava centrada em ensinar o processo de como se faz ciência e no seu conteúdo.

Em particular, no aspecto que buscamos avaliara nos projetos, que é o laboratório didático, é notável verificar sua transformação. De um laboratório tradicional, onde predomina a atuação do professor apresentando demonstrações ou experimentos-padrão, com predominância de objetivos comprobatórios, o laboratório se torna um “espaço didático” mais ligado ao processo de ensino. O material experimental torna-se mais “leve”, isto é, de domínio de construção e manuseio por parte do aluno. Quanto à execução, esta é quase que totalmente transferida para os alunos. São eles os responsáveis pela montagem, coleta dos dados e discussão dos resultados. O eixo de trabalho é completamente oposto ao do laboratório tradicional, pois a passividade do aluno é substituída por sua interação direta com o equipamento. A tendência inovadora da participação ativa do aluno, em todos os momentos do curso e, principalmente, nas atividades ligadas ao laboratório, sem sombra de dúvida foi marcante.

Pode-se registrar até o momento que a) o laboratório didático até a divulgação dos projetos de ensino se caracterizava por demonstrações realizadas pelo professor e pela passividade do estudante, inserida em processo de ensino predominantemente expositiva; b) Os projetos modificam o eixo de execução dos experimentos do professor para o estudante, passando a utilizar de equipamentos mais simplificados e de fácil manuseio, inseridos em propostas metodológicas onde não mais predomina a exposição oral do professor, como elemento único.

---

<sup>22</sup> Detalhadas por Zylbersztajn, (1977: 28)



## 4. PROJETOS DE ENSINO DE FÍSICA BRASILEIROS

### 4.1 - *Os antecedentes*

O movimento renovador no ensino de Ciências, que eclodiu nos diversos países a partir do PSSC, também se refletiu no Brasil, exercendo forte influência sobre a formação de vários professores de Física brasileiros, até a metade da década de 60. E esta influência provocou conflitos que vão surgir algum tempo depois, resultando na formação dos futuros grupos de ensino.

Para uma idéia mais clara é importante localizar-se a USP neste contexto. Primeiro, é a maior universidade do país e seu Instituto de Física (IFUSP), o responsável pela formação de um grande contingente de licenciandos. O IBECC, também localizado dentro da USP, propiciava um livre trânsito de seus integrantes, em particular, os da área de Física, entre este instituto e o IFUSP.

No ano de 1965, com a criação dos Centros de Treinamento de Professores em vários estados do país, o PSSC passa a ter um órgão de divulgação junto aos professores de Física, através de várias ações, tais como curso de férias, seminários e treinamentos em serviço. De certa forma, tudo convergia em um grande movimento para divulgação e adoção do PSSC no ensino secundário.

Além dos cursos promovidos pelos Centros de Treinamento de Professores, a disciplina de Instrumentação foi um excelente veículo de divulgação formal do projeto em várias universidades brasileiras, como já mencionamos anteriormente. O espaço era ideal para apresentar, discutir e “treinar” a proposta metodológica do PSSC. De certa forma, a ampla divulgação do PSSC como proposta de renovação metodológica no ensino de Física, deixa o projeto ao alcance de seus críticos e defensores, fazendo dele referência das discussões.

É de se supor que os professores que conheciam o PSSC tentassem sua

implantação na escola mas, no momento de implantação, nascia um sentimento de frustração, seja pela infra-estrutura precária na maioria das escolas, seja pela dificuldade de implantar a proposta como um todo, isto é, com aulas de laboratório, discussões, filmes, etc., ou ainda pela carga horária da disciplina de Física ser aquém do mínimo desejável. Enfim, estas ou outras razões fizeram germinar, com o passar do tempo, um sentimento de rejeição por projetos estrangeiros, uma espécie de “xenofobia”.

Este sentimento não foi de todo gratuito, ao lembrarmos o momento político que o Brasil estava vivendo. O movimento político de 64 procurava firmar-se, determinando diretrizes que também refletiram na Educação. A adoção do PSSC no Brasil teve muito apoio externo, político e financeiro. Independentemente do fato de ser uma proposta inovadora no ensino da Física, altamente atraente, sua origem americana trazia consigo, mesmo que implicitamente, a marca de uma concepção ideológica que, se era atrativa para os membros do governo, criava certo desconforto no meio educacional. Esta mistura gerava sentimentos antagônicos nos “adotantes brasileiros”.

O pólo catalisador deste conflito, se formou na USP em São Paulo. Lá estava a Equipe responsável pela adoção, tradução e divulgação do PSSC, além de seus críticos e os defensores mais ferrenhos. Nesta efervescência de posições, os demais projetos estrangeiros chegaram ao Brasil, para serem analisados e julgados por grupos que buscavam alternativas inovadoras e oferecessem outra concepção educacional – concepção esta não muito clara, mas que deveria ser adequada à “*realidade brasileira*”.

Estas contradições, na realidade, espelham um objetivo comum aos diferentes grupos, ou seja a modificação no ensino de Física brasileiro, buscando uma significativa melhoria de aprendizagem. Este objetivo comum começa a induzir a formação de grupos, agora organizados, que irão liderar os projetos nacionais na década de 70. Este mesmo objetivo também passa a ser o fermento da organização de um evento histórico para o ensino de Física no Brasil: o 1º Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), que aconteceu no Instituto de Física da USP em janeiro de 1970, coordenado por E. Hamburger.

O Boletim nº 4 de 1970 da Sociedade Brasileira de Física é todo dedicado às Atas deste Simpósio e, em seu Prefácio, apresenta uma lista de nove moções, todas aprovadas por unanimidade. Uma entre elas é de fundamental importância para o futuro dos projetos de ensino de Física brasileiros:

*“Que sejam concedidas verbas para implantação de projetos brasileiros de elaboração de textos e material de ensino de Física.”*

Esta moção, por certo, reflete o espírito que permeou todo o Simpósio.

A leitura dessas Atas, organizada por E. Hamburger, revelam claramente o sentimento de não adoção indiscriminada de projetos estrangeiros como forma de solucionar os problemas do ensino de Física no país. E, como consequência, vai se impondo a idéia da produção de projetos nacionais. De certa forma, a tradução e divulgação do material estrangeiro não é de todo negada, pois justificava a necessidade de se conhecer e acompanhar as propostas metodológicas e o desenvolvimento tecnológico contido neste material e que poderia servir de referencial para nossos projetos.

Ainda neste Simpósio, Hamburger (1970) apresenta e defende a proposta da elaboração de um projeto nacional, que denominou de “Projeto Inicial”. Sua proposta era desenvolver na USP, durante um período de seis meses, este Projeto Inicial. A equipe inicial seria pequena, em torno de 10 pessoas, composta de professores universitários e secundários de Física, para adquirirem experiência e formarem o núcleo da equipe maior que envolveria também especialistas – psicólogos, sociólogos, especialistas em avaliação etc. Ao mesmo tempo, seria elaborado um projeto maior, com uma equipe ampliada e maior tempo para execução. Bittencourt (1977:13), membro da equipe proponente do Projeto Inicial, descreve as origens desta proposta, que foi o embrião do PEF - Projeto de Ensino de Física, que discutiremos mais adiante.

Passados quase trinta anos desse Simpósio histórico, pode-se afirmar que o ensino de Física no mundo teve dois momentos: antes e depois do PSSC. No Brasil existe um divisor de águas: antes e depois do 1º SNEF. Até o momento já foram realizados 13 simpósios, cujas atas permitem reconstituir a evolução da pesquisa em ensino de Física no Brasil, de sua infância a sua maturidade. Seus pesquisadores conquistaram espaço e respeito, à medida que foram implementados cursos de mestrado e doutorado na área no país.

O recuperar da história, algumas vezes, é um tanto difícil pois, ao seguirmos uma trilha, deixamos de atentar para outros eventos que ocorrem paralelamente. Ao iniciarmos a apresentação do PSSC e do SNEF como eventos pontuais e suas conseqüências, deixamos de lado, na trilha da narração, um fato que com o passar do tempo se entrelaça aos primeiros. É o caso do Projeto Piloto. Como já citamos, o IBECC, através de sua diretora, a Profa. Maria Julieta Ormastroni, liderou o grupo de professores latinos na elaboração do referido projeto. Entre os professores brasileiros que dele participaram, destacamos Cláudio Zaki Dib, pelos desdobramentos da sua participação no Projeto Piloto.

Após o término do projeto, Cláudio Dib concentrou seus esforços, na proposta de cursos nos quais é explorada a utilização de multi-meios. Em 1968, propõe a disciplina de Tecnologia do Ensino de Física no curso de licenciatura em Física da USP (Ferreyra, 1979). Este curso tratava dos princípios básicos da Tecnologia da Educação (Psicologia Behaviorista, Teoria de Sistema e Teoria da Comunicação, definição operacional de objetivos, Instrução Programada, etc.) discutida em relação à educação em geral e, em especial, aos conteúdos de Física. Um grande número de professores do segundo grau e de alunos de graduação frequentou o curso e, de um modo ou de outro, foram influenciados pela proposta tecnicista discutida no curso. Grande parte dos professores que se envolveram nos projetos nacionais cursaram a disciplina de Tecnologia de Ensino.

O curso de Tecnologia da Educação funcionou como uma espécie de catalisador, auxiliando na difusão de uma linguagem comum entre aqueles que

se colocavam dentro do movimento de mudanças no ensino de Física e já formavam uma pequena “comunidade”. A linguagem tecnicista, sem dúvida nenhuma, era o que se tinha de vanguarda na área educacional; foi por isso que a aceitação de termos/conceitos como objetivos comportamentais, operacionais e instrucionais, entre outros, tornou-se jargão e de uso corrente entre os membros da comunidade. A disciplina Tecnologia da Educação foi, indubitavelmente, um dos espaços fundamentais que permitiram a todo um grupo de pessoas iniciarem-se de maneira mais formal e sistemática em trabalhos educacionais.

O movimento de renovação do ensino de Física que se instalava, foi favorecido por outro fato: a oferta de um curso em nível de pós-graduação para professores e licenciados, ministrado pelo Prof. Ernst Hamburger no IFUSP. O curso tinha por título “Tópicos de Física Clássica”, tornando-se outro espaço para discussão sobre ensino de Física. Muitos de seus alunos que tinham cursado Tecnologia da Educação, fizeram desse curso um momento para reflexão e discussão sobre o ensino de Física no Brasil, questionando a adoção de projetos estrangeiros. O fruto maior deste curso foi a formação de pessoal e de grupos que iriam elaborar projetos nacionais.

O momento histórico do 1º SNEF não foi gratuito, portanto. Foi fruto de um anseio que permeava os profissionais preocupados com o ensino de Física e que não encontraram solução satisfatória para a realidade brasileira nas propostas dos projetos estrangeiros. O 1º SNEF propiciou o primeiro grande momento nacional de reflexão sobre ensino de Física no Brasil. Torna-se responsável pela aceleração do movimento renovador no ensino de Física, que se concretiza através da elaboração dos projetos nacionais e de outras iniciativas individuais, como também se torna o marco inicial para a linha de pesquisa em ensino de Física no Brasil.

A instituição dos grupos de ensino que iriam elaborar os projetos nacionais dá-se quase imediatamente após o SNEF, onde cada grupo assume sua diretriz de trabalho. Nosso propósito agora é resgatar o histórico de cada um dos projetos, ressaltando o papel do laboratório didático em cada um deles. Por

razões de respeito à memória dos personagens que participaram desse momento histórico do ensino de Física no Brasil, faremos uma descrição mais detalhada dos projetos nacionais.

#### **4.2- Física Auto - Instrutivo - F.A.I.**

Professores de Física do ensino médio de São Paulo/SP, avaliando o nível de aproveitamento de seus alunos e os recursos utilizados, concluem pela necessidade de interferir no processo ensino-aprendizagem, planejando situações didáticas que pudessem auxiliar o professor. Este grupo veio a constituir o GETEF – Grupo de Estudos em Tecnologia de Ensino de Física, coordenado pelos Professores Fuad Daher Saad, Paulo Yamamura e Kazuo Watanabe que, por sua vez, elaborou o projeto FAI, com a colaboração de outros 14 professores. Grande parte desses professores era efetiva da Rede Estadual de Ensino de São Paulo; seis deles eram do Instituto de Física; dois do Instituto de História; um do Instituto de Psicologia e outro da Faculdade de Comunicação e Artes, todos da USP. Os demais eram convidados de outras instituições.

O GETEF dedicou-se a trabalhar dentro dos parâmetros preconizados pela Tecnologia Educacional, em especial a Instrução Programada. O ponto básico é o do maior envolvimento do aluno no processo de ensino-aprendizagem, o que, em outras palavras, passa a ser entendido como ensino individualizado. Os propósitos assumidos pelo Grupo para a elaboração do projeto se resumiam a sete pontos básicos<sup>23</sup>.

Esses pontos norteadores determinaram os procedimentos adotados pelo Grupo para a especificação dos objetivos instrucionais, conteúdo programático e meios instrucionais. Neste último item, estão incluídos a elaboração de textos

---

<sup>23</sup> “Fornecer ao professor uma nova metodologia de trabalho; Propiciar ao aluno uma possibilidade de aprendizagem efetiva pelo trabalho realizado (auto-instrução); Caracterizar o educador como elemento orientador, motivador, criador e avaliador dos resultados provenientes do processo de aprendizagem; Elaborar um texto baseado em um método de ensino individualizado que considerasse cada aluno como um ser individualizado com características próprias e deixasse margem para cada professor poder dar suas contribuições pessoais; Elaborar instrumentos de laboratório adaptados às nossas condições de ensino; Elaborar textos históricos para se poder propiciar aos estudantes uma visão da forma pela qual a ciência se desenvolve através do tempo; Elaborar recursos audiovisuais”

auto-instrutivos, material de laboratório, textos históricos, recursos audiovisuais e outros. Os textos auto-instrutivos foram preparados dentro das técnicas de instrução programada linear, seguindo a concepção do Projeto Piloto. Enquanto neste as informações vinham dentro de um quadro, no FAI a seqüência era formada linha a linha, isto é, quando apresentada a informação/questão era fornecido um espaço para a resposta. Na linha seguinte à da “resposta do aluno” vinha a resposta impressa. No Anexo 9, tem-se uma página exemplo do projeto.

Saad (1977:66-68) faz uma série de considerações acerca das dificuldades envolvidas na realização de experiências nas escolas, incluindo desde a formação do professor até problemas de ordem material, mas deixa de valorizar o uso do laboratório didático desde o 1º grau, indicando quais habilidades devem ser desenvolvidas. Chama atenção ao trabalho do Prof. Noberto C. Ferreira, membro do Grupo, que desenvolveu kits com “sucata” de fácil construção pelo aluno. No contexto do FAI, o laboratório didático não se apresenta como no Projeto Piloto. Neste último, o experimento fazia parte inerente da seqüência didática e era apresentado passo a passo ao aluno, dentro do mais rígido processo de instrução programada. No FAI, os autores optaram por oferecer, ao fim de cada capítulo, alguns experimentos simples e de material acessível. Estes experimentos, no entanto, não se configuram como fundamentais para o aprendizado, caso não sejam realizados. (Anexo 9)

O “Manual do Professor” do FAI é bastante claro sobre como o laboratório didático deve ser entendido pelo professor. Na página 7 do Manual, sob o título “Como utilizar os recursos do laboratório”, o professor é instruído sobre o papel do laboratório didático. O texto continua, reafirmando que a “auto-ritmação” do ensino individualizado elimina a necessidade de possuir várias unidades do mesmo equipamento e que dois alunos, formam o grupo ideal para um trabalho experimental eficiente. É enfático ao colocar que: *“As experiências devem ser planejadas dentro dos recursos disponíveis. A sua eventual pequena quantidade não irá prejudicar substancialmente os objetivos do ensino de Física. O texto programado não é consequência de uma experiência de Física que deve ser feita. Pelo contrário, a experiência é um*

*recurso para mostrar determinados princípios básicos já explorados pelo aluno, como acontece também com os recursos audiovisuais e conferências.”* (Manual do professor – FAI, 1973 :7) Mais adiante, encerra as considerações sobre o laboratório afirmando que *“O único cuidado importante é de que cada experimento seja solicitado pelo aluno após este ter estudado o assunto”*.

Na concepção do FAI, o laboratório didático não se apresenta como elemento motivador ou de provocação para discussões que levem à sistematização do conhecimento físico. Sua presença se dá fora da linha seqüencial do conteúdo, isto é, ao fim do capítulo ou tópico de conteúdo. E seu papel está bem caracterizado: é **de comprovação** de leis ou conceitos. Sua obrigatoriedade é descartada em função de que todo o conteúdo deve ser explorado através do texto programado. Em outras palavras, o laboratório é um eventual complemento ao processo de ensino.

A opção por um laboratório que não precisa necessariamente ser parte integrante do processo de ensino-aprendizagem e que, quando utilizado, tem caráter comprobatório, é justificada pelos autores pelas inúmeras dificuldades relativas ao uso do laboratório didático nas escolas. A falta de infra-estrutura e material didático, aliada à pouca versatilidade e formação adequada dos professores, se junta ao rol das justificativas para a exclusão do laboratório didático como atividade imprescindível ao projeto.

#### **4.2- Projeto de Ensino de Física – PEF**

O PEF tem sua origem no “Projeto Inicial”, apresentado por Hamburger no 1º SNEF, como já foi citado. O Projeto Inicial, por sua vez, nasceu no ano de 1969 durante um curso em nível de pós-graduação destinado especificamente a licenciados e professores secundários de Física. Um grupo de “alunos-professores”<sup>24</sup> na disciplina “Tópicos de Física Geral”, ministrada por

---

<sup>24</sup> Como resgate histórico, é importante citar alguns membros desse grupo, visto que serão os autores de projetos nacionais: Plínio Meneghini dos Santos, Paulo Alves de Lima, Hydeia Nakano, Antonio Violin (membros da equipe de Mecânica do PEF), Judite F. Almeida (futura coordenadora da equipe de Eletricidade do PEF) e Fuad D. Saad (futuro coordenador do FAI) e outros que não participaram dos projetos.



Hamburger passa discutir e planejar a produção de textos e material instrucional de Física para o ensino secundário. Das discussões e planejamentos, se estrutura o Projeto Inicial que “(...) *propõe-se introduzir alguns conceitos fundamentais de Mecânica, através de experiências simples como o pêndulo simples, colisões, planos inclinados. Os conceitos são imediatamente aplicados em assuntos de interesse atual: movimento de satélites e de foguetes, origem da energia solar, etc.*” (Hamburger, 1970: 86) Também defendia que: “*Os conceitos são, na medida do possível, descobertos pelo aluno ao realizar experiências e fazer exercícios. Não são ‘definidos’ a priori.*” (Hamburger, 1970: 86) ①

Já é possível antever, nas afirmações acima, uma ênfase no uso do laboratório didático, através de experimentos realizados pelos alunos. Ainda é ressaltado que “*o aluno possa aprender com o mínimo auxílio do professor*” (Hamburger, 1970: 86). Mesmo se tratando de um material auto-instrutivo, ressalta-se que este mesmo material deve estimular o professor a investir em novas ações educacionais. Outra intenção é de que o material de ensino seja simples e de baixo preço. “*De preferência não deva ser necessário comprar material especial: as experiências devem poder ser feitas com material existente em casa ou que pode ser facilmente adquirido, mesmo em pequenas cidades.*” (Hamburger, 1970: 87)

Este esboço de projeto e intenções somente obteve verba em meados de 1970 e foi executado no período de agosto/70 a janeiro/71. Paralelamente à execução do Projeto Inicial, uma nova equipe<sup>25</sup>, também coordenada por Hamburger, começa a trabalhar em uma proposta maior que convencionaram chamar de “Currículo Nacional”, nome posteriormente alterado para **Projeto de Ensino de Física, PEF**, como ficou mais conhecido.

---

<sup>25</sup> Da Equipe do Projeto Inicial, permaneceram Plínio Meneghini, Paulo Alves, Geraldo Violin, Hideya Nakano e Judite Almeida. Diomar Bittencourt e Jesuina de Almeida Pacca (mais tarde coordenadora de Eletromagnetismo) ingressaram no grupo formando a Equipe inicial do PEF. Outros professores ingressariam nos anos seguintes. Jose de Pinho Alves Filho ingressa na Equipe em 71 e passa a fazer parte do grupo de Eletricidade, posteriormente, ingressaram também Eliseu G. de Pieri e Joaquim N.B. de Moraes.

Os quatro pontos norteadores do Projeto Inicial foram base das decisões do PEF. Como nosso objetivo é procurar pontos indicativos da presença do laboratório didático nos projetos, citaremos apenas aqueles que concernem ao assunto. Um deles é explícito quando esclarece que: *“O material entregue ao aluno deveria ser completo, incluindo texto e **material experimental simples e barato. Como corolário, os experimentos de Física propostos deveriam ser realizados por todos os alunos e não serem passíveis de omissão sem prejuízo da seqüência**”* (Bittencourt, 1977:18). Chamamos atenção para o caráter **obrigatório** da realização do experimento por todos os alunos. Além disso, o experimento demonstrava estar estreitamente ligado ao texto, sendo que a não realização do mesmo comprometia a seqüência.

Discussões sobre os pontos norteadores deram origem a conclusões<sup>26</sup> que assumem a função de diretrizes para elaboração do projeto. Com estas diretrizes o PEF se estrutura como uma nova proposta metodológica nacional. Os autores optam por trabalhar apenas os conteúdos de Mecânica (para dois semestres), Eletricidade e Eletromagnetismo (um semestre cada). Esta decisão é tomada em função da Lei 5692/70, que reduziu o número de aulas de Física no 2º Grau (atual ensino médio). A carga horária reduzida e a presença apenas nos dois primeiros anos do 2º Grau determinou a opção por conteúdos específicos, visto que a metodologia proposta apresentaria dificuldades para varrer todo o conteúdo do programa tradicional.

A Equipe do PEF subdividiu-se em dois grupos: o primeiro, mais numeroso, era responsável pelo conteúdo de Mecânica e o segundo pelo de Eletricidade. Mais tarde, foi formado o grupo de Eletromagnetismo pelo desmembramento da equipe inicial de Eletricidade. Esta divisão possibilitou a elaboração simultânea das diferentes unidades, cada unidade concebida como

---

<sup>26</sup> “a) O aluno deveria trabalhar com os textos, independentemente da ajuda do professor. Para não se limitar apenas à leitura, o texto deveria ser entremeado de questões, solicitando não só a leitura mas respostas às questões e realização de cálculos e experimentos; b) **os experimentos deveriam ser realizados pelos alunos e não apenas demonstrados, descritos ou sugeridos pelo professor** (grifo nosso); c) o texto deveria ser escrito em uma linguagem simples, direta, coloquial, dirigida para o aluno adolescente e não para o professor; d) o conteúdo do projeto não deveria apresentar necessariamente a mesma seqüência e os mesmos tópicos de um currículo tradicional, além de dar ênfase à discussão dos conceitos e princípios da Física e não apenas ao fornecimento de fatos e informações.” (Bittencourt, 1977:19)

um volume. Esta divisão facilitou a elaboração e a “administração interna” do projeto por parte dos coordenadores, gerais e de conteúdo, mas também produziu algumas diferenças.

Entre as diferenças, podemos apontar a “linguagem” de cada volume. O linguajar escrito se apresenta em um crescente, isto é, de frases mais simples e de um vocabulário menos formal, utilizados na Mecânica, passando pela Eletricidade com uma linguagem mediana até uma linguagem mais sofisticada e formal no Eletromagnetismo. Outro aspecto que diferencia os volumes ocorre entre a Mecânica e a Eletricidade. A influência do PSSC é sensível nos textos de Mecânica comparado com os de Eletricidade e Eletromagnetismo. A Eletricidade tem sua raiz em um trabalho desenvolvido por Judite F. Almeida, denominado “Curso sobre Condução Elétrica nos Sólidos para o Ensino Médio”<sup>27</sup>. Almeida (1971:202) referencia que “*A idéia de preparar este curso proveio de uma série de palestras proferidas pelo falecido professor P. Bergval,*<sup>28</sup> em São Paulo, em 1964.” A proposta do curso<sup>29</sup> era eminentemente “***experimental*** sendo o material utilizado de fácil manejo e relativamente de baixo custo” (Almeida, 1971:192).

O acervo experimental do PEF reúne cerca de 52 experimentos (sete de Mecânica, 25 de Eletricidade e 20 de Eletromagnetismo). O material experimental é oferecido por meio de três kits, um para cada conteúdo. O material era relativamente simples e de fácil aquisição. Na época de sua elaboração, o material de Eletricidade apresentava um problema adicional, a necessidade de um multímetro, cujo preço, por vezes, fugia dos orçamentos

---

<sup>27</sup> Trabalho publicado na Revista Brasileira de Física, n° 1, v.1 de 1971 em co-autoria com Ernst Hamburger. No mesmo número, Hamburger e o grupo de Mecânica publicam “Um cronômetro barato”, equipamento que fazia parte do “kit” experimental utilizado nos ensaios da versão preliminar do PEF-Mecânica.

<sup>28</sup> Lembramos que o Prof. Bergval foi um dos diretores do Projeto Piloto e suas palestras foram proferidas enquanto coordenava o referido projeto no IBECC.

<sup>29</sup> O conteúdo ficou restrito ao conceito de resistência elétrica e de sua dependência com comprimento e diâmetro do condutor, temperatura (NTC), iluminação (LDR) e polaridade (diodo). Este material instrucional nunca foi impresso ou editado de forma comercial. Sua produção foi de uma ou duas versões em mimeógrafo a tinta para os ensaios em escolas paulistas em 1969 e 1970. Quando da elaboração do PEF-Eletricidade este material, após algumas modificações e adaptações, foi incorporado ao texto. Na versão comercial, foi dividido em três capítulos: Resistência Elétrica, Resistência e Resistividade e, por fim, Condução nos Sólidos. Na versão comercial, foi dividido em três capítulos: Resistência Elétrica, Resistência e Resistividade e, por fim, Condução nos Sólidos.

escolares, pois era importado. Hoje em dia, com os multímetros digitais baratos, tal problema seria de fácil solução. Estava previsto que um kit experimental serviria grupos com quatro alunos, de maneira que uma sala padrão deveria ter cerca de 10 conjuntos, o que satisfazia plenamente um dos objetivos traçados, o de que os alunos deveriam realizar os experimentos, não o professor.

Para as demais diretrizes serem alcançadas, a Equipe do PEF optou por produzir um texto cuja metodologia não era muito ortodoxa. O resultado foi um texto dirigido ao trabalho ativo do aluno, com uma parte individual e outra parte em grupo, esta para atividades de discussão ou para a realização de experimentos. O livro se estrutura em blocos de textos discursivos, entremeados de questões respondidas no próprio livro texto, em espaço próprio. Após um conjunto de questões as respostas eram fornecidas ao aluno. Era sugerido que o aluno respondesse às questões individualmente e depois discutisse com os colegas, procurando as justificativas de sua resposta, para só então buscar a resposta do livro. (Anexo 10)

Os capítulos se dividem em seções e, conforme a programação planejada, oferecem um tratamento teórico ou experimental de forma ininterrupta. Os experimentos são partes integrantes da seqüência didática do texto, isto é, não existe em separado um guia experimental ou de trabalhos práticos. As orientações e instruções para realização do experimento, as variáveis a serem observadas, a forma e os dados a serem coletados são informados no corpo do próprio texto. O registro dos dados e os gráficos eventualmente solicitados são feitos no próprio texto em espaço reservado. A análise e as conclusões são analisadas através de questões que estabelecem uma espécie de diálogo com o aluno.

A incorporação do laboratório de forma concomitante com a explanação da parte teórica é uma inovação metodológica do PEF, realizada a partir de uma adaptação muito bem feita da Instrução Programada. Os experimentos propostos exigiam a participação ativa do aluno para que ele pudesse dar seqüência ao texto. Assim, o laboratório se tornou obrigatório para a continuidade do texto. Nenhum experimento poderia ser dispensado, tal a junção teoria-experimento.

A intensidade com que o laboratório está presente, especialmente em Eletricidade e Magnetismo, pode sugerir que a sua inclusão está justificada pelo fato de ter sido concebido por meio da Tecnologia da Educação. Ao contrário, esta apenas forneceu instrumentos para organizar a seqüência didática e não foi determinante na opção entre uma abordagem experimental e uma abordagem não experimental. A presença do laboratório no PEF se fundamenta em duas idéias: **que o laboratório é motivador do aprendizado e que o laboratório auxilia o aprendizado de Física.** A motivação se auto-justifica, ao mesmo tempo em que se coloca como “opcional” no processo ensino-aprendizagem. A segunda fundamentação continua impregnada da idéia de que o laboratório é facilitador da aprendizagem sendo, portanto entendido como uma abordagem metodológica. E, neste raciocínio, pode-se afirmar que existe outra ou outras abordagens, tão boas quanto ela, fazendo dela apenas uma escolha. Além disso, os projetos estrangeiros sempre apresentaram o laboratório como ponto forte e inovador, o que também justificava sua inclusão no PEF. Leituras atuais poderão justificar o laboratório de outra forma, mas à época de sua elaboração, tais leituras não eram as determinantes. Os autores (entre eles eu) tinham a convicção que o laboratório era um elemento fundamental para auxiliar a aprendizagem e que permitia alcançar os objetivos comportamentais de uma forma mais eficiente.

A convicção mencionada era de origem intuitiva e movida pela influência dos projetos estrangeiros e não em uma razão teórica que a justificasse.

#### ***4.4 - Projeto Brasileiro de Ensino de Física - PBEF***

Neste resgate histórico não poderíamos deixar de lado o Projeto Brasileiro de Ensino de Física – PBEF. Segundo Caniato, *“As origens mais remotas desta proposta estão localizadas no trabalho que realizamos na formação de Professores de Matemática e Física, da antiga Faculdade de Filosofia e Letras da Universidade (hoje Pontifícia) Católica de Campinas, a partir de 1957 até 1969. Desde 1957, já estavam funcionando equipamentos para ensino de Física e um telescópio, montados pelo autor e que serviram de*

*práticas nas disciplinas de Física Geral e Experimental, Cosmografia e Mecânica Celeste, também a cargo do autor como Professor Assistente.*” (Caniato, 1985: 147). No entanto somente em 1970 este autor inicia um trabalho sistemático de elaboração de textos e atividades com uma metodologia própria, que será comentada adiante. Neste mesmo ano, inicia seus primeiros ensaios no CECINE (Centro de Treinamento de Professores de Ciências do Nordeste) em Recife.

Até 1973, realiza vários ensaios em escolas secundárias da região de Campinas/SP, visando a melhoria do material. Ainda em 1973, apresenta sua tese de doutoramento, cujo título era “Um Projeto Brasileiro para o Ensino de Física”, onde defende a metodologia de sua autoria aplicada ao ensino de Física para o secundário apresentada em dois volumes denominados “O Céu” e “Mecânica”.

Estes dois volumes se transformaram, posteriormente, nos dois primeiros livros do PBEF. A divulgação do PBEF não seguiu o caminho, digamos, normal de todos os livros, pois *“Durante muitos anos, o autor só admitiu a venda de livros a professores que houvessem tomado o curso. A partir de 1978, os livros puderam ser adquiridos pelo público, em algumas livrarias”* (Caniato, 1985:150). O projeto deveria se constituir de cinco livros/volumes: (1) O Céu; (2) Interação no Universo (Mecânica); (3) A Luz; (4) O trabalho dos elétrons e (5) Átomos e estrutura da matéria.<sup>30</sup>

Um aspecto interessante é que *“Cada uma das unidades tem um objetivo ou enfoque específico, além do objetivo geral que é de proporcionar uma EDUCAÇÃO CIENTÍFICA”* (Caniato, 1973:203, maiúscula do original). Nesta perspectiva, nota-se uma abordagem própria, como as unidades Céu e Mecânica contemplando mais densamente aspectos históricos. A Eletricidade, por sua vez, oferece um enfoque mais prático e utilitário. Uma peculiaridade que faz o PBEF

---

<sup>30</sup> Por razões diversas (que fogem ao escopo deste trabalho) apenas os três primeiros volumes propostos foram editados. Os dois primeiros volumes refletem integralmente a proposta metodológica de Caniato. O terceiro volume, Eletricidade, foi elaborado e editado alguns anos depois. Sua estrutura e linha metodológica diferem dos anteriores, notando-se claramente a mudança de orientação nesse texto.

diferir dos demais projetos, é que as unidades não se apresentam de forma seqüencial, isto é, não configuram um ordenamento de pré-requisitos, o mesmo acontecendo com os capítulos de cada unidade. Isto permite ao professor iniciar seu trabalho com qualquer das unidades e do capítulo que bem desejar.

O texto é dividido em três níveis, sendo que o primeiro “...*apresenta uma leitura para situar o aluno no ‘cenário’ dos conceitos*” (Caniato, 1973: 205). O segundo, sob o título “Se você quiser saber um pouco mais” retoma os pontos mais importantes do primeiro nível de forma mais detalhada. Por último, o terceiro, intitulado “*Um pouco mais ainda*” proporciona aspectos particulares do conteúdo com grau de exigência matemática maior. A diferença no tratamento do conteúdo, com diferentes níveis de dificuldade procura atender aos diferentes tipos de alunos com diferentes graus de interesse, sem perder a visão global da ciência. Cada seção do texto se fazia acompanhar de uma atividade “prática”. (Anexo 11)

Atividades propostas ao fim de cada seção fazem o papel do “laboratório didático” associado ao conteúdo da respectiva seção. O material utilizado não é organizado nem acondicionado em kits, como em outros projetos (PSSC, Harvard, PEF...). Os autores optaram por um material alternativo, de fácil obtenção pelo aluno em qualquer lugar do país. Dessa forma, é transferida aos alunos a responsabilidade de aquisição ou obtenção dos mesmos. No volume “O Céu”, dedicado à Astronomia, muitas das atividades utilizam um balão de vidro com fundo esférico utilizado em Química como modelo de esfera celeste. Tabelas, dados astronômicos, medidas de distâncias, etc., fazem parte do material deste volume. O segundo, “Mecânica”, explora basicamente fotos estroboscópicas. Em “Eletricidade”, pilhas, lâmpadas, imãs e fios de diferentes calibres permitem a construção de pequenos circuitos em série e paralelo e um pequeno motor a corrente contínua.

Também no PBEF, não fica clara a função do laboratório didático. Existe uma referência ao papel do professor como orientador das atividades dos grupos e outra especificando que as atividades devem ser realizadas sem exceção e na ordem em que aparecem no texto.

Algumas atividades são apresentadas ao fim de uma de uma seção, fato já mencionado pelos autores, assumindo uma característica de “exercício”; enquanto que outras são tipicamente motivadoras. Mesmo estando colocadas ao fim da seção, as atividades têm uma inserção natural, isto é, sem se diferenciar em demasia do texto principal. O questionamento sobre o experimento é feito no seu próprio desenrolar do texto ou como um questionário no fim do mesmo. Nenhum relatório é solicitado ao aluno, apenas os dados e conclusões devem ser registrados em caderno, para futuras discussões.

Não houve grandes preocupações dos autores em explicitar qual a função dos experimentos propostos. Pelo que se pode perceber, assumem bem mais o papel de um exercício ou uma aplicação do conteúdo. O que faz, neste último caso, o laboratório retornar a seu papel comprovatório. Também foi mencionada a *função motivadora e incentivadora do trabalho em grupo*. Afora isto, não há uma demonstração maior, de forma explícita, capaz de definir o papel do laboratório didático no contexto do projeto.



## 5. GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA – GREF

Mesmo não fazendo parte dos projetos históricos, faz-se necessário registrar o trabalho deste grupo, não apenas por ser recente ou por ser uma proposta brasileira, mas principalmente porque o GREF se estrutura como um material concebido por “professores para professores”. “*O trabalho aqui apresentado na forma de textos para professores de Física é o resultado do esforço conjunto de professores da escola pública e de docentes universitários.*” (GREF, 1990:14). Se caracteriza pela intenção de interferir no ensino de Física, sem alterar os programas oficiais cristalizados pela burocracia oficial.

Suas idéias diretoras começam a nascer em meados da década de 80, o que corresponde a mais de dez anos do auge dos projetos nacionais e quinze desde o primeiro simpósio de ensino. Durante este intervalo de quase quinze anos, a pesquisa em ensino de Física no Brasil se estabelecia com suas linhas de vanguarda nos vários pólos universitários e a formação de mestres e doutores na área se firmava. Entretanto, enquanto a academia respondia às pesquisas sobre ensino de Física de forma eficiente, o ensino secundário ficou um tanto quanto à margem do processo, sem uma proposta mais concreta ou com oferta de material instrucional alternativo. Muitos dos livros tradicionais voltaram ao mercado com roupagem nova, graças a projetos de editoração gráfica que os tornaram atraentes. Outros surgiram, enfatizando material para o vestibular, onde o conteúdo de Física se limita a umas poucas páginas carregadas de conceitos e/ou definições seguidas de páginas e mais páginas de questões de vestibular.

Esta ausência de propostas e material para uma educação científica no ensino médio, forneceu o mote para o grupo paulista do IFUSP, liderado por Luiz C. de Menezes, estabelecer as bases de uma proposta alternativa para o ensino de Física. Organiza-se então o GREF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física, coordenado pelos professores João Zanetic, Luiz Carlos de Menezes e Yassuko Hosoume. O Grupo contou com a participação ativa de cerca 15 de professores da Rede Pública do Estado de São Paulo e de quatro

colaboradores acadêmicos (pesquisadores do IFUSP). Ao longo das diversas fases de elaboração dos textos, houve a participação de outros professores convidados.

Sua estrutura não segue o padrão ortodoxo dos projetos, sejam eles estrangeiros ou nacionais, que eram “fechados”, programados e organizados do ponto de vista metodológico, com material instrucional pronto e acabado, tanto para o aluno como para o professor. O resultado da produção didático-pedagógica do Grupo são três volumes<sup>31</sup> dedicados somente ao professor. Os textos são o resultado de um trabalho de parceria entre professores universitários e professores da rede pública. Sua estrutura de elaboração foge assim, em muito, daquela formal e acadêmica que balizou os “projetos tradicionais”.

A proposta educacional que permeia o GREF é dupla: tornar significativo o aprendizado científico aos alunos cujo futuro profissional não dependerá diretamente da Física e ao mesmo tempo permitir o acesso a uma compreensão conceitual adequada para aqueles que almejam uma carreira universitária. Os autores entendiam que *“O caráter prático-transformador e o caráter teórico-universalista da Física não são traços antagônicos mas, isto sim, dinamicamente complementares. Compreender este enfoque permitiu evitar tanto o tratamento ‘tecnicista’ como o tratamento ‘formalista’ e, procurando partir sempre que possível de elementos vivenciais e mesmo cotidianos, formulam-se os princípios gerais da Física com a consistência garantida pela percepção de sua utilidade e de sua universalidade.”* (GREF - Mecânica, 1990: 15)

O GREF propõe buscar no cotidiano vivencial dos alunos as informações iniciais que fazem parte de seu entorno sociocultural (uma lista de “dispositivos caseiros, por exemplo) e, partindo destas informações, estabelecer elementos comuns para então buscar o formalismo científico. Esse processo ocorre no diálogo professor-aluno, daí ser o papel do professor extremamente crítico e de

---

<sup>31</sup> Compõem a coleção os textos de (I) Mecânica, (II) Eletromagnetismo e (III) Física Térmica e Ótica, com suas primeiras edições de 1990, 1991 e 1993, respectivamente.

vital importância neste contexto didático.

O GREF não se caracteriza como um projeto de ensino na acepção que foi utilizada para os projetos já citados. Ele pode ser entendido como um projeto de educação científica, onde o cotidiano “tecnológico”, dos utensílios mais simples aos equipamentos mais sofisticados, é o propulsor do processo de ensino. Sua proposta reavalia o grau de importância dos conteúdos, propondo reduções de unidades que tradicionalmente são trabalhadas até a exaustão, mas não significam mais do que meros exercícios de matemática (Cinemática e Eletrostática, por exemplo). Por outro lado, prestigia conteúdos mais abrangentes cujas relações estão mais bem concretizadas no dia a dia do estudante, como no caso da Dinâmica, Eletricidade e Máquinas Térmicas.

Pode se dizer que, do ponto de vista metodológico, o GREF é pobre se comparado com a riqueza de procedimentos, estratégias, material preparado, kits etc., dos projetos antes mencionados. No GREF não existe uma “receita pronta”, onde os ingredientes são estabelecidos e dimensionados pelos especialistas. Ao contrário, ele fornece os ingredientes básicos e deixa a cargo do Professor a dosagem e a “mistura” a ser feita, com opção de adições e exclusões. Sua grande “aposta” educacional está no professor que, ao adotar a proposta, deve saber convencer os alunos não só da mudança de ordem ou ênfase de determinados conteúdos, mas da possibilidade de formalizar o saber científico através de outros procedimentos.

Não há recomendações especiais ao laboratório didático e nem é necessário. Os aparelhos, equipamentos e ferramentas do dia a dia tornam-se os dispositivos experimentais, para que o professor os explore de forma adequada, promovendo a obtenção de dados qualitativos e, na medida do possível, dados quantitativos que complementem sua seqüência didática. O modelo do laboratório didático tradicional, com equipamentos e instrumentos de medidas, pode ser dispensável quando da adoção do GREF. Entretanto, nada impede o professor de fazer uso do laboratório didático, concomitante ou posterior ao tratamento “teórico”. Dependerá não só das condições de infraestrutura que a escola ofereça mas, principalmente, da organização didática que o professor venha a utilizar.

## 6. LABORATÓRIOS DIDÁTICOS: TIPOS E METODOLOGIAS.

Do muito que o movimento inovador no ensino de Ciências legou através dos projetos, como acabamos de ver, uma das principais contribuições sem dúvida nenhuma, foi dar um lugar de destaque ao laboratório didático no processo de ensino. O laboratório didático no Brasil, na época que precedeu os projetos, como vimos, estava em estado de dormência. Através dos projetos, adquire fôlego e volta a ficar em evidência, com novas propostas metodológicas, equipamentos, montagens etc. e tornando-se alvo de interesse dos professores. A revalorização do laboratório didático pode ser traduzida pela idéia de que é um bom veículo para ensinar Física. Na essência, a idéia é antiga, apenas se fortaleceu nas roupagens metodológicas propostas pelas diferentes investigações das quais foi tema.

A elaboração dos projetos brasileiros reuniu um número expressivo de professores, entre os autores e os professores que auxiliavam nos ensaios das versões preliminares em suas salas de aula. Neste grupo se encontravam aqueles para quem os trabalhos com laboratório eram o mais expressivo e incentivador, tornando-se objeto de investigação, como veremos.

Justamente no período em que os projetos nacionais estavam sendo produzidos, o mestrado de Ensino de Ciências (Modalidade Física) do IFUSP é criado. Muito dos participantes dos projetos tornaram-se seus alunos, fazendo do laboratório didático tema de seus trabalhos e dissertações de mestrado. É importante registrar que estes investigadores procedem da mesma “escola pedagógica” que orientava o movimento renovador no ensino de ciências. Uma das premissas deste movimento estabelecia que o laboratório era elemento importante e fundamental no processo de ensino da Física.

Vamos agora apresentar uma relação de concepções de laboratório que durante a década de 70 foram resultado de diferentes proposições metodológicas. Dentre elas, figuram aquelas que também foram objeto de investigação de dissertações ou teses. Nossa intenção ao focalizar o trabalho desses autores brasileiros, é destacar, além do valor intrínseco de seus estudos,

o fato de que eles investigaram o ambiente e as condições das escolas brasileiras.

Nesta relação, encontram-se tipos de laboratório para todos os graus de ensino. A proximidade dos investigadores com o ambiente universitário e o fato de nele existir um espaço curricular bem definido fez com que muitas das investigações, por facilidade de material, garantia de aulas de laboratório, organização de turmas para a pesquisa etc., fossem realizadas e direcionadas para os cursos universitários. Admitindo que as mesmas condições materiais fossem favoráveis no ensino médio, os resultados não seriam muito diferentes. O importante na nossa análise, a priori, independente do grau de ensino, consiste em localizar em cada tipo de laboratório qual a justificativa que o faz estar presente em cada proposição.

### 6.1 - *Laboratório de Demonstrações*

Dentre os tipos de laboratório mais conhecidos e clássicos, o Laboratório de Demonstração é o primeiro. Sua origem deve se perder no tempo, mas é possível inferir, pela denominação, que faz parte de há muito no processo escolar. A quantidade restrita de material e/ou o grau de dificuldade de operação com equipamentos, foram determinantes para que o professor assumisse a função de experimentador. Ao aluno, coube a atribuição de mero espectador, acompanhando passivamente a realização da prática experimental.

De modo geral, a “demonstração” é realizada antes de iniciar um determinado conteúdo, com a finalidade maior de motivar os alunos para o tema a ser tratado. Em determinadas situações, serve para ilustrar um dado fenômeno físico, procurando apresentar o conteúdo de maneira mais atraente e agradável. No entanto, não se excluem outras funções, como facilitar a compreensão e auxiliar o aluno a desenvolver habilidades de “observação” e “reflexão”.

Este tipo de laboratório está intimamente ligado à tradição *magister dixit*. Ao professor cabe exercer o papel magistral e formal de senhor absoluto do conhecimento e domínio na manipulação dos equipamentos e dispositivos. Ao

aluno, afastado de qualquer participação mais ativa, é reservado o papel de ouvinte e observador passivo. Por outro lado, fica explícito, para esta concepção, o papel de acessório que tem o laboratório no processo de ensino. Sua realização é **facultativa**; daí sua ausência não resultar comprometimento maior no ensino. Se sua utilização é de livre arbítrio do professor, então não se configura como necessária na seqüência didática.

Além disso, os aspectos “observar” e “refletir” estão muito próximos de uma visão empirista, pois o ambiente experimental está pronto para que uma certa “coisa” seja observada. E se, partindo da observação, o aluno for solicitado a refletir, não há dúvida de que passa a aceitar que os fatos falam por si e deles serão obtidas as leis físicas.

## ***6.2 - Laboratório Tradicional ou Convencional***

É o tipo de laboratório mais conhecido e divulgado, a tal ponto que quando se fala em laboratório didático, é o primeiro que nos vem à mente. Este laboratório transfere a atividade para os estudantes que, geralmente, trabalham em grupo pequenos. Mesmo com uma participação ativa, a liberdade de ação do aluno é bastante limitada, assim como seu poder de decisão. Isto porque ele fica tolhido pelo tempo de permanência no laboratório e pelas restrições estabelecidas no roteiro, ou seja, pela impossibilidade de modificar a montagem experimental. Geralmente, a prática experimental é acompanhada por um texto-guia ou roteiro altamente estruturado e organizado (tipo “cook-book”), que serve de roteiro para o aluno.

Uma importante característica é o valor atribuído ao relatório experimental. Tudo é dirigido para a tomada dos dados, elaboração de gráficos, análise dos resultados, comentários sobre “erros experimentais”. O relatório, às vezes, é completado na própria aula, outras vezes em casa e torna-se um instrumento de “**verificação de aprendizagem**”, ou seja, se está de acordo com o desejado pelo professor, o aluno “aprendeu”. Soares (1977:51) é oportuna ao afirmar que “*As conclusões são, muitas vezes, tiradas em casa, longe dos aparelhos e do fenômeno. A conclusão torna-se difícil, assim como a análise*

*detalhada dos dados obtidos, porque o fenômeno fica reduzido a um conjunto de números". Continua a crítica ao colocar que "Para um físico treinado, o qual viveu o fenômeno durante meses, estes números são excelentes representações do próprio fenômeno e ... para o estudante meros esquemas, com pouca ou nenhuma representatividade do fenômeno real."*

Em suma, o laboratório tradicional tem como principais características uma organização e estrutura rígida; supervisão do professor; reduzida liberdade de ação do aluno sobre o experimento e ênfase no relatório. Este tipo de laboratório é o mais comum, em todos os níveis de ensino. No ensino médio, quando existe, não apresenta uma rigidez tão grande em relação ao relatório.

Sua concepção nasceu da necessidade de flexibilização do laboratório de demonstração. Tornava-se indispensável capacitar de maneira mais rápida os estudantes, cujo número crescia nos cursos superiores que envolvem a Física, no manuseio de instrumentos de medida e de equipamentos. Claro está que às razões que até então justificavam as experiências de demonstração foram incorporadas as justificativas deste novo laboratório. No entanto, é perceptível que o treinamento de habilidades torna-se predominante frente ao aprendizado. O relatório seria a forma de introduzir o estudante no "método científico", através da organização rígida dos procedimentos de escolha de variáveis, obtenção de dados e forma de tabulamento, gráficos, análise de dados e resultados e conclusão final. Lembrando Bruner, é a valorização do pensamento analítico em detrimento do pensamento intuitivo.

Mesmo com críticas, existe um consenso entre os professores em geral, que assumem a validade do laboratório tradicional frente a objetivos como (a) possibilitar que o aluno interaja com o equipamento; (b) verificar (comprovar) leis e princípios físicos; (c) habilitar os estudantes no manuseio de instrumentos de medidas; (d) oferecer suporte às aulas e/ou cursos teóricos. Dois dos objetivos estão relacionados com manipulação ou com algum tipo de habilidade motora, e podem, portanto, ser atingidos de outra forma que não a do laboratório. Um objetivo está ligado à comprovação, e não oferece novidade de conteúdo, limitando-se a verificar a validade da lei ou princípio físico, em

situação preparada para isto. Como suporte à aula teórica só terá alguma função se for capaz de remeter o aluno a determinada situação física.

Se os objetivos citados são, de fato, consenso junto à grande maioria dos professores de Física, independente do grau de ensino que lecionam, a função primeira do laboratório convencional não é **ensinar Física**. Com sua estrutura rígida de trabalho, contemplando somente alguns aspectos dos conteúdos, aqueles mais apropriados e adequados para montagens experimentais, demonstram que seus objetivos ficam mais próximos do ensino do método experimental do que propriamente de Física.

### **6.3 – Laboratório-Biblioteca**

O Laboratório-Biblioteca foi proposto por Oppenheimer e Correl (1964), e consiste de experimentos de rápida execução, permanentemente montados e à disposição dos alunos, tal como os livros de uma biblioteca. O material oferecido tem como característica o fácil manuseio, de modo a permitir aos alunos a realização de dois ou mais experimentos no período reservado para a aula de laboratório, sempre sob supervisão do professor. Os estudantes poderiam voltar em horário extra, para a realização de novos experimentos, acompanhados de um monitor. No aspecto organizacional, o laboratório-biblioteca não foge muito do laboratório tradicional, apenas a quantidade de medidas realizadas, dados tabulados e gráficos solicitados é menor que neste último. O roteiro é estruturado e pouco flexível, com redução na quantidade de registros solicitados. Sua grande vantagem é proporcionar a realização de uma quantidade maior de experimentos ao longo de todo o curso.

Do ponto de vista pedagógico, deve, conforme concepção dos autores, cumprir a função de **exercitar e/ou demonstrar** o conteúdo trabalhado no curso, o que permite dar uma configuração qualitativa ou quantitativa aos experimentos. Mesmo que o aluno faça somente alguns experimentos e seja incentivado pelo professor a realizar os demais à sua disposição na “biblioteca”, não elimina a distância entre o momento em que o tratamento teórico está ocorrendo em sala de aula e aquele em que os experimentos são oferecidos.



A opção da realização de outros experimentos é de total responsabilidade do estudante, implicando na “**opcionalidade**” do laboratório no processo de ensino. Dito de forma mais forte, o laboratório não se apresenta como um elemento necessário ao aprendizado, mas sim como instrumento complementar, motivador ou ilustrativo, como dito anteriormente. Neste contexto, se apresenta como apêndice e não como elemento integrante do processo de ensino-aprendizagem.

#### **6.4 - Laboratório “Fading”**

Entre as propostas de autores nacionais, encontramos o denominado Laboratório “fading”, projetado e desenvolvido por Pimentel e Saad (1979). Partindo do laboratório tradicional, cujo roteiro é extremamente organizado, seqüencial e rígido, esta proposta é evolutiva, no sentido de ir abstraindo lentamente a quantidade de informações do guia, dando margem a propostas de experimentos formuladas pelo aluno, como ocorre no laboratório de projetos (que será visto adiante).

Entre o comportamento inicial do aluno, de submeter-se ao roteiro, até o comportamento de liberdade de proposição, estão pressupostas algumas etapas intermediárias, entre elas, a da imitação ou reprodução de procedimentos adotados anteriormente. Com a diminuição de informações no roteiro, o aluno, frente ao problema experimental, é desafiado a planejar o procedimento experimental que, sob a orientação do professor, é discutido e decidido. Ao final, o aluno pode propor o experimento, compatível com as possibilidades do acervo existente e, então, planejar todos os passos.

O treino de habilidades experimentais, a imitação e reprodução de experimentos demonstram que o objetivo maior é o ensino e o aprendizado do método experimental. Fica reforçado este objetivo, no momento que o aluno é desafiado a planejar um experimento. Sem que seja necessário estabelecer uma conexão direta entre o experimento e um determinado conteúdo, conhecido ou

não, o esperado é que o aluno saiba transferir os procedimentos experimentais para uma situação experimental nova.

### **6.5 - Laboratório Prateleira de Demonstrações**

Outra proposta, surgida também no IFUSP na década de 70, foi o laboratório denominado de Prateleira de Demonstrações. Alves Filho et al (1976:519) afirmam que a Prateleira de Demonstrações *“foi criada com dois objetivos: para ser um laboratório de apoio aos professores de teoria que querem realizar demonstrações experimentais para a classe e permitir aos alunos que queiram realizar experimentos extras ou pequenos projetos experimentais”*. Enquanto que Sekkel e Muramatsu (1976:520), responsáveis pela Prateleira de Demonstrações de Mecânica, definem *“experimentos de demonstração são experiências, geralmente qualitativas, que visam ilustrar a aula mostrando como operam as leis físicas.”* Continuando, eles afirmam que *“O objetivo primordial de uma demonstração depende de sua natureza. Por exemplo, constatação da validade de uma lei e como ela opera, ilustração de um problema teórico, simulação de experiências historicamente importantes no desenvolvimento da Física, aplicações curiosas e interessantes de algum conceito, etc... Elas mostram a base experimental da Física; nelas a natureza fala por si.”*

A semelhança com o Laboratório de Demonstrações é imediata, o que também dispensa maiores comentários.

### **6.6 - Laboratório Circulante**

O Laboratório Circulante, também proposto por Saad e Pimentel (1979a, 1979b) tem como inspiração o Laboratório-Biblioteca. Este último se caracterizava por oferecer experimentos simples, de fácil realização. Permitia que o aluno retornasse para refazê-los ou ainda realizar outros tantos de seu interesse. Convém lembrar que o tempo formal da aula de laboratório era acompanhada pelo professor; nos demais casos, monitores auxiliavam os alunos.

O laboratório circulante compõe a idéia do laboratório biblioteca, de experimentos simples, com a idéia de “kits experimentais” transportáveis. Os kits ficam à disposição dos alunos em uma sala, compondo uma espécie de “biblioteca”. Por solicitação do estudante, os kits podem ser retirados e levados para a casa, onde então ele realizaria o experimento com toda a liberdade de tempo e de repetições que achasse necessárias. Após seu uso, o estudante devolve o kit acompanhado de um relatório.

Os experimentos propostos proporcionam o estudo de fenômenos simples, princípios ou leis básicas. Sua versatilidade e facilidade de manipulação permitem ao estudante o desenvolver de habilidades experimentais, iniciativa, análise e crítica, em um ambiente alheio ao formal escolar, com plena liberdade de ação.

Este laboratório se insere no contexto do processo ensino-aprendizagem como função complementar ao laboratório tradicional ou ao conteúdo desenvolvido em sala de aula. Sendo complementar, assume, como em toda e qualquer aula tradicional, o mesmo papel dos exercícios e problemas do livro texto. Assim como os demais tipos, este também se torna uma espécie de apêndice ao processo de ensino. Sem dúvida, é de grande valia no auxílio da aprendizagem e desenvolvimento de habilidades mas, ressalta-se, isto ocorrerá com o estudante que busca o kit para realizar o experimento em casa e explorá-lo à exaustão. Mas e aquele que não o fizer?

### ***6.7 - Laboratório de Projetos***

Uma outra concepção do laboratório consiste no enfoque denominado Laboratório de projetos. (Soares, 1977) Este tipo de laboratório está mais vinculado ao treinamento de uma futura profissão, no caso, a de Físico, do que ao ensino de modo geral. Ao mesmo tempo que entusiasmo pela ampla liberdade de ação por parte do estudante, traz consigo a necessidade de infraestrutura e de recursos financeiros.

O laboratório de projetos, geralmente, é oferecido aos estudantes nos últimos estágios dos cursos de formação, pois é necessário que o aluno tenha passado por um treinamento anterior em laboratórios do tipo “tradicional” ou “divergente”. É necessário que domine técnicas de medidas, planejamento e procedimentos experimentais e também tenha domínio de conteúdo, pois não é objetivo deste espaço o aprendizado de conceitos ou princípios físicos, nem de técnicas específicas. Em suma, este laboratório tem como objetivo um ensaio experimental novo que, em última instância, oportunizaria um relatório experimental próximo a um artigo a ser publicado.

### **6.8 - Laboratório Divergente**

O laboratório divergente é uma proposta que vem ao encontro ao laboratório tradicional mas não apresenta a rigidez organizacional deste. A ênfase não é a verificação ou a simples comprovação de leis ou conceitos explorados à exaustão como no laboratório tradicional. Sua dinâmica de trabalho possibilita ao estudante trabalhar com sistemas físicos reais, oportunizando a resolução de problemas cujas respostas não são pré-concebidas, adicionado ao fato de poder decidir quanto ao esquema e ao procedimento experimental a ser adotado. (Ivany e Parlett, 1968)

O enfoque do laboratório divergente (Shoule, 1970) prevê dois momentos ou fases distintas: na primeira fase, denominada de “*Exercício*”, o estudante cumpre uma série de etapas comuns a todos os alunos da classe. Esta etapa prevê a descrição detalhada de experiências a serem realizadas, os procedimentos a serem adotados, as medidas a serem tomadas e o funcionamento dos instrumentos de medida. O objetivo desta fase é a familiarização com os equipamentos experimentais e técnicas de medida. Ela visa muito mais um treino e ambientação do aluno no laboratório, preparando-o para a segunda fase.

A segunda fase é denominada de “*Experimentação*” e caberá ao aluno decidir qual atividade realizará, quais os objetivos da mesma, que hipóteses serão testadas e como realizará as medidas. Após o planejamento, o aluno estabelecerá uma discussão com o professor, com o intuito de realizar eventuais

correções e, principalmente, de viabilizar a atividade com o material disponível e dentro do prazo previsto.

O estudante tem a liberdade de realizar o experimento que lhe convier, planejando o experimento e suas medidas, escolhendo os instrumentos de medidas e buscando as conclusões que mais lhe interessam. Essa liberdade, além de dar condições do estudante vivenciar mais intensamente o “método experimental”, o faz desenvolver a auto-condução na experimentação.

A variação no procedimento deste laboratório não elimina de todo o aspecto academicista, isto é, a visão de complementaridade entre o ensino e o treinamento experimental. Objetiva a formação para a atividade científica em laboratório, mais acentuadamente que o laboratório tradicional por adicionar o ingrediente da liberdade de escolha e planejamento.

#### **6.9 - O laboratório “Programado”**

Na década de 70, algumas universidades brasileiras, adotaram, em algumas disciplinas de Física, o “Método Keller” (1969)<sup>32</sup>. O laboratório didático correspondente a estas disciplinas de Física, também foi alvo da metodologia Keller. Alguns relatos descrevem a adoção do Método Keller em disciplinas de Física, como o de Motta (1974) na Universidade Federal de Pernambuco, Dionísio (1976) na Universidade Federal do Rio Grande do Sul ou Villani et al. (1975) no IFUSP. O laboratório associado a este método foi denominado de Laboratório Programado e se estruturava como uma seqüência de objetivos que o estudante deveria alcançar.

---

<sup>32</sup> Também conhecido como “Sistema de Instrução personalizada” ou ainda como “Curso Programado Individualizado”. Foi desenvolvido na Universidade Brasília em 1962 pelos psicólogos brasileiros C. M. Bori e R. Azzi, em conjunto com os psicólogos americanos F. S. Keller e J. G. Shermann. Entretanto, somente em 1964 o método foi utilizado em um primeiro curso para depois se difundir no Brasil e exterior. Em síntese, o sistema de ensino proposto se compunha de um curso dividido em uma série de unidades, em que o aluno recebia um guia de estudo para desenvolver cada uma delas. Não havia aulas formais e o estudante deveria estudar seguindo o guia até que julgasse dominar o conteúdo, quando então solicitava um teste. Alcançando a nota mínima estipulada, passava à unidade seguinte, recebendo o material correspondente. No caso de não obter a nota mínima, retornava ao estudo da unidade e posteriormente solicitava um segundo teste. A passagem à unidade seguinte estava vinculada à aprovação na anterior. Em caso de dificuldades, o aluno procurava o professor ou monitores para sanar dúvidas.

Não cabe discutirmos aqui os passos que compunham os experimentos propostos neste laboratório, mas sim o que o diferenciava dos outros. Em primeiro lugar, destaca-se o fato do aluno realizar o experimento sozinho e não mais em grupo, como nas demais propostas. A razão da individualidade está no próprio método, que preconizava o respeito à velocidade de aprendizagem do aluno, determinando uma diversificação quanto à distribuição das unidades que desenvolviam. Este trabalho individual na execução dos experimentos gerava um certo conflito ou sensação de perda, de pouco aproveitamento, pois de acordo com Soares (1977:81) “...por uma limitação do método empregado não havia discussão e análise dos dados. Esta discussão era feita durante a entrevista sobre o relatório, porém somente entre cada aluno e um monitor.” Percebe-se que a “socialização”, da dúvida, do acerto ou do procedimento, era restrita.

Dos relatos mencionados acima sobre o uso do Método Keller, registra-se que, na Universidade de Pernambuco, o laboratório foi considerado como um curso a parte. Na Universidade Federal do Rio Grande do Sul foi considerado como uma atividade prática com o objetivo de ilustrar a teoria. No IFUSP “...procurou-se definir outros objetivos para o ensino de laboratório, qual seja, de procurar desenvolver as habilidades que constituem o comportamento de resolver problema experimentalmente.” (Soares, 1977:80)

O laboratório em cada um destes cursos assume um papel diferente: ser independente do curso teórico, ilustrar a teoria e resolver problemas experimentais. Uma conclusão imediata é de que o laboratório se anexa aos cursos individualizados por força de currículo, de obrigatoriedade legal e não por motivos didático-pedagógicos. A afirmação de Soares dispensa comentários pois para ela “... não foi colocada ênfase nas atividades de laboratório para auxiliar o entendimento de conceitos, propondo experiências com esse objetivo.” (Soares, 1977:82)

## 6.10 - Laboratório Tipo “Ações Múltiplas” (Saad)<sup>33</sup>

Outra proposta de laboratório didático é a do tipo Ações Múltiplas, oferecida e justificada por Saad (1983). Seu trabalho dedica-se com mais intensidade ao laboratório de 3º grau, colocando-o de início como um problema atual. Procura confrontar as propostas de laboratórios com os modelos de ensino, associando-os com a tradicional correlação experimento-método científico. Critica os laboratórios didáticos atuais fundamentado no fato de que *“... nossos estudos nos levaram a considerar o atual Laboratório Didático, como um local onde o aluno pode realizar o que chamamos de EXERCÍCIOS EXPERIMENTAIS, manipulando o que já denominamos de uma INSTRUMENTAÇÃO DE ENSINO.”* (Saad, 1983: 11 - grifo do autor). Saad constrói sua proposta norteado pela convicção de que *“Este é nosso conceito de Laboratório Didático: não se trata de um local onde o aluno simplesmente completa uma exigência curricular, mas sim corresponde a um conjunto de atividades que se integram visando capacitar nosso estudante para o desempenho de suas funções de forma segura, independente ou cooperativamente.”* (Saad, 1983:137)

Sua proposta é ampla e implica na coexistência de várias atividades, entre elas (1) Experimentos programados; (2) Seminários experimentais; (3) Experimentos extra-classe; (4) Leitura de artigos científicos; (5) Laboratórios de demonstração; (6) Projeto experimental e (7) Oficina eletromecânica. Sem dúvida, Saad amplia o espectro do Laboratório Didático para os cursos universitários, conjugando várias abordagens ou enfoques em uma só proposta.

São pretensiosas, a nosso ver, as esperanças depositadas no ensino experimental por parte de Saad. Por mais rica que sua proposta se mostre, procurando atender todos os pontos do ensino, ela continua de certa forma alijada do próprio contexto do processo ensino-aprendizagem.

---

<sup>33</sup> Como Saad (1983) não oferece um título para sua proposta de laboratório, tomamos a liberdade de denominá-la de Ações Múltiplas somente para efeitos de tipificação nesse trabalho. Não deverá ser entendida como denominação original de Saad.

As diferentes ações prescritas não ocorrem no espaço da sala de aula, onde ocorre o processo de ensino do saber científico. Por mais que tais proposições auxiliem na “formação profissional”, elas continuam **ao lado** do processo de ensino, o que as torna auxiliares e não necessárias ao processo. Neste contexto, o domínio do conjunto de ações, atitudes e procedimentos ligados ao método experimental devem ser entendidos como auxiliares ao aprendizado de Física.



## 7. REGISTRANDO A ÉPOCA

Este capítulo buscou situar o leitor, através de um resgate histórico, a respeito das principais épocas e momentos que influenciaram o ensino da Física em um determinado período. O resgate histórico, além de permitir situar-nos no tempo e espaço, tem uma certa dose de saudosismo e carinho, pois também queríamos render nossas homenagens e respeitos a centenas de pessoas que, de um modo ou de outro, estiveram envolvidas no planejamento, elaboração e ensaios dos diversos projetos de ensino, sejam estrangeiros ou brasileiros. Muitos professores e futuros professores talvez nem conheçam ou saibam da existência de tais projetos, daí se justificar o contar um pouco da histórica de cada um, registrando, dessa forma, os grandes movimentos inovadores do ensino de Física.

O objetivo foi situar o laboratório didático nestes movimentos inovadores, e as razões que o justificavam nas diversas propostas de ensino. Esta procura permitiu chegar, senão a conclusões, ao menos a indicativos sobre o seu papel e sobre como sua função era entendida nos diferentes contextos analisados.

Admitimos ser o “livro texto” um indicador razoável para inferir como se processa o ensino nas escolas. Particularmente nas décadas de 40 e 50, durante os quais os alunos “deveriam ter consigo o livro didático adotado pelo professor”, encontramos alguns indicativos importantes. Na bibliografia escolar examinada, vimos que o laboratório didático não é mencionado explicitamente, isto é, não são oferecidos ou sugeridos exercícios ou tarefas experimentais. O que se verifica, com certo exagero, são descrições de equipamentos e experimentos, acompanhados dos respectivos resultados e conclusões de modo a possibilitar ao professor dar seqüência ao encadeamento teórico.

Outro indicativo é que a ocorrência do uso do laboratório didático estava centrada no professor, cujos experimentos se caracterizavam predominantemente por demonstrações ou por comprovações do conteúdo já estudado. Tal prática remetia a um conhecimento científico pronto, completo e

acabado. Prática plenamente de acordo com uma visão conservadora e reprodutivista. O laboratório didático tinha a finalidade de corroborar a construção teórica, imprimindo a esta uma aura de verdade inquestionável e terminada.

A partir dos projetos, as atenções que antes eram todas dirigidas ao professor são remetidas ao aluno, entre elas a responsabilidade pela realização e execução dos experimentos. O laboratório didático é ajustado aos interesses das várias propostas, tanto em relação aos equipamentos como aos experimentos. Alguns aspectos que eram enfatizados anteriormente, tal como precisão nas medidas, teoria de erros e relatórios formais, são deixadas de lado para que seja valorizada a fenomenologia dos eventos físicos.

Sem dúvida, esta interpretação do laboratório didático representou um avanço quando comparada com as concepções das décadas anteriores. A versatilidade e, muitas vezes, a simplicidade do equipamento utilizado, franqueava ao estudante uma liberdade que possibilitava a criação de novas situações experimentais e estimulava o estudo da Física.

No entanto, se vamos procurar justificativas para a inclusão tão enfática do laboratório didático nas propostas metodológicas dos diferentes projetos, elas não se fazem explícitas. No fundo, estava implícito e tácito que para aprender Física era necessário fazer uso do laboratório e realizar experimentos. Talvez por uma compreensão mal feita da afirmação de Bruner (1968:13), que diz *“Ao estudar Física, o aluno é um físico, e é mais fácil aprender física comportando-se como um físico, do que fazendo qualquer outra coisa.”*

A transferência pura e simples da atividade do cientista profissional para o aluno, no contexto do processo ensino-aprendizagem, pode ser refutada. O cientista é um adulto formado, partícipe de uma comunidade com paradigma bem definido (Kuhn, 1995) e, a partir daí, constrói o conhecimento científico dentro de regras estabelecidas. No momento não cabe discutir ou levantar questões referentes à epistemologia do conhecimento físico; basta para a argumentação caracterizar o tipo de atividade do profissional e das regras que

foram estabelecidas e são compartilhadas pelos seus pares. Regras que se estabeleceram no curso do tempo, se modificando e adaptando, com um único propósito: dar validade ao conhecimento científico. Dessa forma, ao cientista é atribuída a atividade da “experimentação”<sup>34</sup> que, quando realizada em seu ambiente de trabalho, propicia observações, dados e resultados e, quando apresentados dentro das regras compartilhadas, se transformam em conhecimento científico.

Mas o aluno, jovem estudante do ensino fundamental ou médio, também teria condições de realizar ou executar uma “experimentação”, como o cientista profissional, para aprender Física? Deve-se considerar aqui todo o envolvimento científico em que o cientista adulto está imerso.

Pelo que vimos, a pluralidade das propostas de ensino se restringiu à metodologias para o laboratório didático. Os resultados sempre foram localizados e temporários, exceto o **laboratório tradicional**. As diferentes roupagens com as quais foi vestido o laboratório não conseguiram retirar a função de comprovatório e o papel auxiliar no processo de ensino. Argumentar que o laboratório, independente da metodologia ou forma, ajuda a aprender é indiscutível. Ajudar é prerrogativa e não necessidade.

Nossa análise foi restrita a textos, projetos e tipificação de laboratórios, caracterizando períodos, deixando de lado, propositalmente, toda a investigação realizada no Brasil em ensino de Física. Faltou a “voz dos pesquisadores”. A ela foi reservado o próximo capítulo.

---

<sup>34</sup> Será discutida em detalhes no capítulo 3.

## 8. BIBLIOGRAFIA (Cap. 1)

### PROJETOS DE ENSINO DE FÍSICA

- GETEF. Física auto-instrutivo, FAI - Manual do professor. SP : Saraiva, 1973.
- GETEF. Física auto-instrutivo, FAI 1. 8<sup>a</sup> ed. SP : Saraiva, 1979.
- GETEF. Física auto-instrutivo, FAI 2. 5<sup>a</sup> ed. SP : Saraiva, 1974.
- GETEF. Física auto-instrutivo, FAI 3. 6<sup>a</sup> ed. SP : Saraiva, 1977.
- GETEF. Física auto-instrutivo, FAI 4. 1<sup>a</sup> ed. SP : Saraiva, 1974.
- GETEF. Física auto-instrutivo, FAI 5. 1<sup>a</sup> ed. SP : Saraiva, 1973.
- GRAF, *Física 1*. São Paulo, Edusp, 1990.
- GRAF, *Física 2*. 3<sup>a</sup> ed. São Paulo Edusp, 1996.
- GRAF, *Física 3*. 2<sup>a</sup> ed. São Paulo, Edusp, 1995.
- PBEF – Mecânica. Vol. 2. Caniato, R., Campinas, SP, Ativa, 1990.
- PBEF – O céu. Caniato, R., São Paulo, Ática, 1990.
- PEF, *Eletricidade*, FENAME, Rio, 1975.
- PEF, *Eletromagnetismo*, FENAME, Rio, 1976.
- PEF, *Guia do Professor*, FENAME, Rio, 1980.
- PEF, *Mecânica 1*, FENAME, Rio, 1974.
- PEF, *Mecânica 2*, FENAME, Rio, 1974.
- PROJECTO DE FÍSICA (*Projeto HARVARD*) – *Unidade I - Guia do Professor*.  
Trad. Maria Odete Valente (Coord). Fundação Calouste Gulbenkan. Lisboa,  
Portugal, 1978.
- PROJECTO DE FÍSICA (*Projeto HARVARD*) – *Unidade II - Guia do professor*.  
Trad. Maria Odete Valente (Coord). Fundação Calouste Gulbenkan. Lisboa,  
Portugal. 1978.
- PROJECTO DE FÍSICA (*Projeto HARVARD*) – *Unidade II - Trad. Maria Odete*  
Valente (Coord). Fundação Calouste Gulbenkan. Lisboa, Portugal. 1978.
- PROJECTO DE FÍSICA (*Projeto HARVARD*) – *Unidade III - Trad. Maria*  
Odete Valente (Coord). Fundação Calouste Gulbenkan. Lisboa, Portugal.  
1978.
- PROJETO PILOTO – UNESCO, *Física da Luz. Livro 0* - Versão Preliminar,  
UNESCO-IBECC, São Paulo, 1964.
- PROJETO PILOTO – UNESCO, *Física da Luz. Livro 1* - Versão Preliminar,  
UNESCO-IBECC, São Paulo, 1964.

- PROJETO PILOTO – UNESCO, Física da Luz. Livro 2 - Versão Preliminar, UNESCO-IBECC, São Paulo, 1964.
- PROJETO PILOTO – UNESCO, Física da Luz. Livro 3A - Versão Preliminar, UNESCO-IBECC, São Paulo, 1964.
- PROJETO PILOTO – UNESCO, Física da Luz. Livro 3B - Versão Preliminar, UNESCO-IBECC, São Paulo, 1964.
- PROJETO PILOTO – UNESCO, Física da Luz. Livro 4 - Versão Preliminar, UNESCO-IBECC, São Paulo, 1964.
- PSSC, Física – Parte I, EDART, São Paulo, 6ª ed. 1970.
- PSSC, Física – Parte II, EDART, São Paulo, 1970.
- PSSC, Física – Parte III, EDART, São Paulo, edição preliminar 1966.
- PSSC, Física – Parte IV EDART, São Paulo, 2ª ed. 1971.
- PSSC, Guia do Professor I, vol. I EDART, São Paulo, 1967.
- PSSC, Guia do Professor II, vol. I EDART, São Paulo, 1967.
- PSSC, Guia do Professor III, vol. I EDART, São Paulo, 1968.
- PSSC, Guia do Professor IV, vol. I EDART, São Paulo, 1970.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J.F. & HAMBURGER, E., Curso sobre Condução Elétrica em Sólidos para o Ensino Médio. Revista Brasileira de Física. v. I, no. 1, Abril, 1971, (191-204)
- ALMEIDA, J.F., Condução nos Sólidos. SBPC – Resumos da XXII Reunião Anual. Salvador, Bahia, 1971. p. 246.
- BARRA, V.M. & LORENZ, K. M. Produção de materiais didáticos de ciências no Brasil, período: 1950 a 1980. Ciência e Cultura. São Paulo. 38 (12). Dez. 1986.
- BERGVALL, P. & JOEL, N. Pilot Project on the teaching of physics. UNESCO-IBECC, São Paulo, 1964.
- BITTENCOURT, D. R. S. Uma análise do Projeto de Ensino de Física – Mecânica. Dissertação de mestrado. IFUSP-EDUPS, São Paulo, 1977.
- BRUNER, J. S. O processo da educação. São Paulo. Cia Ed. Nacional. 1968.
- CANIATO, R., GOLDENBERG, J. TEIXEIRA, A S. RIBEIRO, V.L. – Projeto Brasileiro para o ensino de Física. Atas do II SNEF. Belo Horizonte, MG. Janeiro, 1973, p. (202-207).

- CANIATO, R. Ideário e Prática de uma proposta Brasileira para o ensino de Física. Atas do IV SNEF, Niterói/RJ, 1985, p.147.
- CARVALHO, A M. P. O ensino da Física na Grande São Paulo - Estudo sobre um processo de transformação. Tese de Doutorado. FEUSP. São Paulo. 1972.
- DIB, C. Z. Tecnologia da educação e sua aplicação à aprendizagem de Física. São Paulo, Pioneira, 1974.
- DIONISIO, P. H. O método Keller e sua aplicação no ensino de Física geral na universidade. Dissertação de Mestrado, UFRGS, 1976.
- FERREIRA, N.C. Proposta de laboratório para a escola brasileira. Dissertação de mestrado, IFUSP-FEUSP, 1978.
- FERREYRA, R.E. El proyecto piloto unesco para enseñanza de la física en america latina. CLAF, Rio de Janeiro, 1979.
- HAMBURGER, E. et al. Um cronômetro Barato. Revista Brasileira de Física. v. I, no. 1, Abril, 1971, (187-189).
- HAMBURGER, E.W. Análise dos simpósios nacionais de ensino de Física (mesa redonda). Atas do V SNEF, Belo Horizonte/MG,1982, p. 194-199.
- HOLTON, G. A imaginação Científica. Rio de janeiro. Zahar Editores S.A., 1979.
- KELLER, F.S. A programmed system of instruction. Ed. Technology Monographs, Westerns Miching University, 11, 1, 1969.
- KETTEL, W.W. & MURAMATSU, M. Por que utilizar demonstrações nas aulas de Física?. Atas do III SNEF, São Paulo, 1976. p. 520.
- KUHN, T. S. A Estrutura das revoluções científicas. S. Paulo : Perspectiva, 1995.
- LORENZ, K. M. Os livros didáticos e o ensino de ciências na escola secundária brasileira no século XIX. Ciência e Cultura, São Paulo. 38 (3). Março. 1986.
- MOTTA, F.S. Resultados obtidos com o sistema de ensino personalizado em Física Geral na UFPe Resumos da Reunião Latino Americana do Grupo de estudos sobre sistema de instrução personalizada. UNESCO/CLAF, São Paulo, junho, 1974.
- NÉRICI, I. Metodologia do ensino. Uma introdução. Ed. Atlas, SP. 2ª ed., 1986.

- OPPENHHEIMER, F. & CORREL, M. A library of experiments. Am. J. of Phys 32, 220, 1964.
- PIAGET, J. Para onde vai a educação. Rio de Janeiro. Jose Olympio. 1976.
- PIMENTEL, C. A Laboratório como fonte de novas experiências educacionais. XXX Reunião Anual da SBPC. Resumos em Ciência e Cultura, 30, 113, 1978.
- PIMENTEL, C.A & SAAD, F.D. Um laboratório de Física Básica para os alunos de Engenharia. Atas do IV SNEF 1979.
- PINHO ALVES, J. et al. A prateleira de demonstração de eletricidade. Atas do III SNEF, São Paulo, 1976. p. 519.
- PINHO ALVES, J. et al. Atividades experimentais: um instrumento de ensino. Mimeo. UFSC. 1988.
- PINHO ALVES, J. P. et al. Curso de Eletricidade para Ensino Médio. Atas do II SNEF. Belo Horizonte, MG. Janeiro, 1973. p. (213-219).
- SAAD, F. D. Análise do Projeto FAI – Uma proposta de um curso de Física Auto-Instrutivo para o 2º Grau. Dissertação de mestrado. IFUSP-EDUSP, São Paulo, 1977.
- SAAD, F.D. & PIMENTEL, C.A Atividade experimental ao nível de 1º e 2º graus: o laboratório circulante. Preprint. IFUSP. 1979.
- SAAD, F.D. & PIMENTEL, C.A. Laboratório circulante de Física: uma nova dimensão para o ensino experimental. Atas do IV SNEF, Rio de Janeiro, 1979.
- SAAD, F.D. O laboratório didático de física no ensino no ensino experimental: um estudo visando a viabilidade de novas abordagens. Tese de Doutorado. FEUSP, 1983.
- SBF, Boletim no. 4 - Atas do I Simpósio Nacional de Ensino de Física. São Paulo, SP. Salvador, Bahia, dezembro, 1971.
- SILVA, V. & HOSOUME. Livro didático no Brasil (1910-1950). Atas XII SNEF. Belo Horizonte, MG. Janeiro, 1997. p. (357-359).
- SOARES, V.L.L. Laboratório didático de Física no ciclo básico da universidade. Dissertação de mestrado, IFUSP-FEUSP, 1977.
- VIENNOT, I. Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. Hermann, Paris, 1979.

VILLANI, A. et al. *Uma experiência de ensino: resolução de problemas em física.* Suplemento Ciência e Cultura, 27, 43, 1975.

ZYLBERSZTAJN, A *Formas de representação, estrutura e aprendizagem através da descoberta. – Uma introdução ao pensamento de J. S. Bruner aplicada ao ensino de Física.* Natal, Monografia (mimeo) 1977.



## CAPÍTULO 2

### *AS INVESTIGAÇÕES BRASILEIRAS SOBRE O LABORATÓRIO DIDÁTICO*

#### 1. INTRODUÇÃO

O movimento inovador do ensino de Ciências, representado pelos grandes projetos de ensino de Física, transformou o laboratório didático em um dos principais instrumentos para melhoria do ensino de Física. A expectativa criada em torno de sua eficácia, como facilitador da aprendizagem, após certo tempo, se transformou em uma espécie de frustração junto aos professores, pois o laboratório não estava respondendo às qualidades que lhe eram associadas.

Coube aos mais entusiastas e interessados o encargo de manter o interesse e buscar elaborar justificativas, formas e/ou metodologias para o uso do laboratório didático. Estas intenções se refletem em investigações e proposições e na elaboração de inúmeros trabalhos que são apresentados nos diferentes eventos científicos ou publicados nos periódicos nacionais. É importante lembrar que o ideal tecnicista, extremamente presente na época dos projetos vai aos poucos dando lugar a concepções mais modernas de ensino, particularmente à concepção construtivista que, com o passar do tempo, torna-se hegemônica no âmbito da pesquisa em ensino.

Com o objetivo de acompanhar tanto a transição do tecnicismo para o construtivismo e quanto a forma como esta se refletiu no laboratório didático, foi feita uma leitura das investigações e pesquisas brasileiras sobre o laboratório didático. Se a ênfase do capítulo anterior recaiu sobre o resgate histórico dos projetos e de algumas concepções metodológicas sobre o laboratório didático, este capítulo será dedicado ao resgate histórico da produção científica brasileira, apresentada nos eventos específicos da área de ensino de Física e nos periódicos nacionais.

As fontes consultadas foram atas dos Simpósios Nacionais de Ensino de Física (SNEFs) e dos Encontros de Pesquisadores de Ensino de Física (EPEFs). Para cada evento é feita uma apresentação geral, onde é registrado algum fato especial que marca sua edição, permitindo oferecer uma radiografia das principais atividades coletivas e daquelas destinadas à apresentação de trabalhos na forma de exposição oral ou painéis.

Da totalidade de trabalhos de cada evento, foi feito um subconjunto daqueles cujo tema era o laboratório didático, para uma análise mais detalhada. Esta análise foi realizada utilizando um conjunto de categorias construídas especificamente para tal fim. Idêntico procedimento foi aplicado às publicações nacionais como a Revista Brasileira de Ensino de Física e o Caderno Catarinense de Ensino de Física.

A análise destes trabalhos publicados contemplam o predomínio de idéias em determinados períodos entre os investigadores brasileiros. Na forma de metáfora, procuramos ouvir a “voz dos pesquisadores” brasileiros ao longo do tempo.

## 2. CONSTRUINDO CATEGORIAS DE ANÁLISE

A maioria das discussões entre professores de Física que envolvem questões de ensino, geralmente não deixa de se referenciar ao laboratório didático. Isso acontece em parte, pelo vínculo estabelecido durante o curso de formação no qual o discurso experimental está muito presente e forte. Esse discurso é transferido ao estudante que o aceita, como fosse uma tradição a ser mantida. Por sua vez, o discurso se transfere junto com o professor para o ambiente escolar onde *“A grande maioria quase unanimemente defende a importância do laboratório no ensino”* (Schmidt & Kawamura, 1993:366). Ao mesmo tempo passa a ser uma espécie de “princípio” tácito e sinônimo de bom ensino de Física. Assim, diz-se que o ensino de Física no Ensino Médio está mal porque há pouco ou nenhum laboratório (Barros, 1987:19), transformando o laboratório em desculpa para os mais variados motivos, renovando o discurso da necessidade do laboratório didático, como se fora um círculo vicioso.

Por força da tradição e por acreditar no potencial do laboratório didático, também nos abrigamos no “princípio do bom ensino”, defendendo a necessidade e importância do laboratório didático.

O espaço da disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física, nos propiciou uma aproximação maior com o laboratório didático e sua divulgação, ao mesmo tempo em que incentivou a leitura das publicações relativas a ele. Passamos então a classificá-los através de algumas categorias por nós arbitradas. A leitura dos trabalhos fez perceber a existência de certos traços comuns, permitindo agrupá-los e classificá-los em categorias. Este trabalho foi bastante intuitivo, nada formal, era somente para consumo próprio.

Em Schmidt & Kawamura (1993:366) encontramos alguns elementos que eram bastante próximos àqueles utilizados por nós em nossa classificação. Além do próprio incentivo, os autores demonstraram que não nos afastamos em demasia da realidade. quando afirmam que *“O papel do laboratório no ensino de Física tem sido bastante discutido ao longo das últimas décadas. Muitos trabalhos têm procurado analisar a questão, tanto do ponto de vista histórico,*

*conceitual ou dentro da problemática do ensino aprendizagem. Outros, apresentam propostas específicas, abordagens concretas ou descrevem experiências. Enfim, muito se tem dito e feito sobre o problema, que aliás não é um problema simples.*” (grifo nosso).

Como nosso objetivo neste capítulo é analisar as pesquisas brasileiras, apresentadas ou publicadas nos diferentes eventos e publicações alusivas ao laboratório didático, voltamos ao nosso exercício de classificação. Sua construção foi intuitiva, mas mostrou alguma pertinência frente aos elementos sugeridos por Schmidt & Kawamura. Fazendo uma releitura dos trabalhos, com mais critério, localizamos cinco grandes grupos ou categorias e para cada categoria caracterizamos atributos comuns. O resultado foi um conjunto de cinco categorias, assim concebidas:

### **2.1 - Categoria das Proposições**

Do conjunto de trabalhos analisados, encontramos os que enfatizam os atributos relativos a proposições didáticas, do tipo:

- Descrições de propostas metodológicas para aulas de laboratório;
- Descrições de “ensaios pedagógicos” no laboratório e sugestões de procedimentos para adoção;
- Proposição de novas abordagens e/ou enfoques para determinados cursos ou disciplinas de laboratório;
- Propostas de implantação de aulas experimentais em determinados cursos;
- Descrições de processos de avaliação das aulas de laboratório ou similares;
- Reflexões sobre o papel do laboratório didático.

Todos os trabalhos que indicam discussões e fazem algum tipo de tratamento teórico de procedimentos didático-pedagógicos para o laboratório foram categorizados como “**Proposições**” (P). A seguir apresentamos, como exemplo, alguns trabalhos que exemplificam esta categoria, onde são

sublinhadas as palavras chave que determinam o cerne do trabalho e o justificam dentro da mesma.

Um trabalho típico que trata de procedimentos didáticos como, por exemplo, estratégias a serem adotadas no laboratório, se apresenta de forma geral com a seguinte idéia: *“Nova forma de aprender Física experimental foi executada tendo por princípio fundamental a participação ativa do estudante em seu processo de aprendizagem. Nesta forma de ensino o papel do professor é o de orientador que dirige a atividade do estudante, controlando-a, e que os estimula e os auxilia no seu desenvolvimento”* (Hennies,1974:95)

*“Procura-se uma nova abordagem para os laboratórios de Física Geral com eliminação dos relatórios tradicionais...”*(Gomes e Alvares,1976:451). Neste trabalho, a ênfase é eliminar o caráter cartorial do relatório “padrão”, propondo uma nova forma de registrar e discutir os dados experimentais.

*“Neste trabalho, propõe-se um método de análise do currículo dos cursos de laboratório de Física, baseado na estrutura metodológica e conceitual que apresenta os experimentos que são selecionados para compor esses grupos.”*(Buchweitz et al,1985:225). Trabalho que explicita um referencial teórico (“V”(ve) epistemológico e o autor (D.B. Gowin) para fundamentar a investigação proposta: análise do currículo de experimentos em um laboratório, de acordo com os objetivos previstos no contexto do curso.

*“Nosso trabalho propõe o uso de experimentos, brinquedos e jogos da forma mais ampla possível. Numa perspectiva didática, entretanto, não podemos nos restringir ao brincar desinteressado. Este deve estar inserido na consequência pedagógica do conhecer”* (Ramos e Ferreira,1993,374) O trabalho se apresenta como uma alternativa metodológica, justificada “segundo o modelo piagetiano”, defendendo ainda a importância do próprio estudante construir seu equipamento com base na citação de Kapitza: *“Para que um estudante compreenda um experimento, ele próprio deverá executá-lo, mas ele entenderá melhor se, além de realizar o experimento, ele construir os instrumentos para a sua experimentação”*. (apud Ramos e Ferreira,1993:376)

“O objetivo principal desse projeto consiste em desenvolver (...) um laboratório-piloto para o ensino de Física, com ênfase em um laboratório de construção do conhecimento e não meramente demonstrativo”. (Favoretto, 1980:117). É discutida a proposta sem esclarecer o referencial adotado para “...construção do conhecimento” e nem o autor.

*“O desenvolvimento teórico e a observação experimental são instâncias que se complementam na evolução da Física. Na ciência moderna muitas vezes, a Teoria tem precedido o Experimental, mas apesar disto a Física é uma ciência essencialmente experimental, pois no laboratório se encontra toda a checagem ou aprova-se qualquer prévio modelo teórico”* (Farias, 1992:245). Trabalho que propõe e relata uma experiência educacional prescrevendo a construção de equipamentos concomitante a realização de experimentos.

Estes seriam alguns exemplos dos diversos trabalhos categorizados como “**Proposição**” (P)

## **2.2 - Categoria “Prescrições Experimentais” (PE)**

Outros trabalhos e artigos foram categorizados como “**Prescrições Experimentais**” (PE). Nesta categoria se agrupam aqueles que têm por objetivo básico a proposta prescritiva de um experimento ou um conjunto de experimentos. Alguns deles se fazem acompanhar da abordagem a ser adotada junto aos alunos.

*“Uma das maiores dificuldades dos professores de segundo grau deste estado e mesmo do país é a falta generalizada de laboratórios para a realização de experimentos em Física. Uma das experiências mais simples de se realizar (independente de existir um laboratório...) é a do pêndulo simples, que pode ser construído....”* (Lima, 1984:26). Percebe-se a intenção do autor em prescrever tanto a construção e montagem do experimento como também a operacionalização do mesmo.

*“Através do lançamento de projéteis podemos estudar as leis básicas da composição de movimentos ortogonais. Por meio de um simples experimento constituído de uma mangueira fixa...”* (Taveira, 1992:38) O autor mostra que por meio de um experimento simples e com a abordagem sugerida, as dificuldades que envolvem o aprendizado da composição de movimentos podem ser abrandadas. De certa forma, o mesmo acontece com a seguinte proposta: *“Apresenta-se um efeito surpreendente e interessante que mostra a conservação da quantidade de movimento e da energia de “casamento” de impedância.”*(Harter, 1976:416)

*“Oscilações forçadas e ressonância são fundamentais na física seja na mecânica, na acústica, na ótica e na física quântica. Por causa disso um tratamento quantitativo e qualitativo desses fenômenos é necessário nas escolas de segundo grau. Para uma boa compreensão por parte do aluno é sempre desejável que se demonstre os fenômenos em classe.”*(Weltner et al., 1997:475) Além de valorizar um determinado fenômeno, os autores sugerem equipamento e uma “abordagem demonstrativa”.

### **2.3 - Categoria Técnicas de Construção (TC)**

Uma terceira categoria agrupou os trabalhos que se propõem a oferecer sugestões para construção de equipamentos ou instrumentos para o laboratório. São trabalhos de cunho mais técnico, prescritivos e, de modo geral, não se dedicam a discutir além do uso intrínseco do próprio equipamento. Um exemplo por demais conhecido, é a seção “Laboratório Caseiro” do CCEF. Nas atas dos eventos consultados, também encontramos grande número de trabalhos com o mesmo tipo de proposta. Estes trabalhos, categorizamos como “Técnicas de Construção” (TC), sendo que alguns exemplos são apontados a seguir.

*“Uma mesa girante é útil para muitas demonstrações em classe. O melhor é dispor de uma base com rolamentos de baixo atrito. Mas é possível *construir uma mesa girante usando rolamento de uma roda de bicicleta ou usando como base a de uma cadeira girante.* O tampo da mesa pode ser laminado ....”* (Weltner et al., 1997:480)

*“Um sistema óptico simples, baseado no uso de um laser de He-Ne de 2 mW, uma objetiva de microscópio e uma lente fotográfica pode ser facilmente implementado para realizar a transformação de Fourier óptica e a filtragem de imagens, segundo o esquema...”* (Lunazzi,1982:1) O trabalho é seguido da descrição do material, planta industrial e todo o esquema de montagem.

#### **2.4 - Categoria “Mídia” (M)**

Os primeiros trabalhos fazendo uso do computador são encontrados a partir de 1987, na ocasião do VII SNEF em São Paulo, de forma bastante tímida com apenas duas referências. Atualmente sessões especiais são reservadas para discussões de investigações que envolvem o uso da mídia. Com o surgimento da Internet, a quantidade de “sites” à disposição do público, a variedade de aplicativos, de simulações de experimentos e de material à disposição dos investigadores tem se mostrado considerável.

*“Com a finalidade de adquirir experiência no uso de microcomputadores no ensino de 2<sup>o</sup> Grau, para posteriormente transferi-la aos alunos do curso de licenciatura em Física .... está desenvolvendo um projeto para a construção de um software educacional na área de Física moderna.”* (Veit et al, 1987:68)

*“El present trabajo contempla un conjunto de tres softwares sobre tres experiencias de física Moderna que son realizadas en un computador mediante proceso de simulacion. Estos software pueden ser utilizados en equipos IBM PS/2 PC-XT, o AT, que tenga la targeta gráfica CGA, VGA, EGA ó SVGA.”*(Cordova et al, 1992:147)

#### **2.5 - Categoria “Outros” (O)**

Em uma última categoria, foram reunidos os trabalhos referentes a propostas de organização e implantação de laboratório, levantamentos sobre o laboratórios de ensino, avaliações relativas à expectativa dos alunos das aulas



de laboratório, laboratórios em espaços livres<sup>1</sup> (feiras de ciências, exposições) etc.

*“A necessidade de motivar os alunos para o aprendizado da Física fez-me incluir no planejamento da disciplina de Física das 1<sup>a</sup>/2<sup>a</sup>/3<sup>a</sup> série do 2<sup>o</sup> Grau da EEPSG “João Ramalho”, em 1988 algumas excursões de final de semana a exposições, laboratórios e outros locais que estivessem relacionados com a Física e a Tecnologia.” (Pereira, 1991:299).*

*“Será que os alunos encontram no laboratório um ambiente propício para a realização de descobertas científicas? Eles tem de fato o interesse de pensar e de se desenvolver nas práticas?... Foi pensando em problemas de aspecto motivacional, que resolvemos empregar esforços para decifrar a questão: o que é que motiva o estudante em um laboratório de ensino de Física?” (Costa & Villani, 1996:50).*

Estabelecidas as cinco categorias, foi realizada outra leitura, com a introdução de dois novos parâmetros ou subcategorias: uma relativa ao **referencial teórico** e outra ao **autor do referencial teórico**. Por referencial teórico procuramos localizar nos diversos trabalhos a fundamentação teórica da qual o autor, ou autores, faz uso para justificar e/ou defender suas proposições. Buscávamos a concepção de ensino (tradicional, tecnicista, construtivista...) sob o qual o trabalho se abriga. Como exemplo de trabalho “**Proposição**” com “**Referencial Teórico Explícito**” (RS), lembramos o trabalho “*Análise do currículo de experimentos de Laboratório de Física*”, que trata da análise de um currículo de um curso de laboratório, indicando o referencial teórico - o V epistemológico.

Outro exemplo é a informação de que “*Os resultados obtidos foram analisados com os docentes, ora em situação de discentes, a luz da teoria*”

---

<sup>1</sup> Atualmente existem várias iniciativas onde o laboratório e suas práticas são realizadas em espaços não escolares. Como a direção do presente está restrita somente ao espaço escolar formal, estas iniciativas não foram analisadas com mais profundidade.

*educacional dialógica*.”(Bastos e Figueiredo, 1993:361-grifo nosso). Os autores deixam claro ao leitor o referencial teórico adotado na elaboração da investigação.

Tomando-se estes dois trabalhos como referência, no primeiro trabalho o nome do “autor” do referencial teórico é citado, no caso do “*V epistemológico*”, trata-se de D.B. Gowin. Já o segundo não explicita o nome do autor da “teoria educacional dialógica”. Isto nos levou a incluir uma outra subcategoria: Autor Referenciado (AR) para o primeiro e Autor não referenciado(AN) para o segundo trabalho.

A não citação do referencial teórico ficou, por consequência, categorizada por **Referencial teórico ausente, (RN)** e a não citação do autor por **Autor não referenciado**.

Com mais estes dois parâmetros, um trabalho passa a ser categorizado com três atributos:

- o primeiro classifica o trabalho dentro de uma das cinco categorias;
- o segundo informa se foi referenciado ou não;
- o terceiro informa se o autor foi citado ou não.

O quadro a seguir resume as categorias arbitradas para a leitura dos trabalhos.

- **Proposição (P)** – trabalhos relativos a pesquisa; relatórios de investigação que envolva o laboratório didático, propostas de abordagens.
- **Prescrição Experimental (PE)** – relativo ao uso de uma experiência ou experiências. Aspectos metodológicos prescritos para experimentos e aulas laboratório.
- **Técnica de construção (TC)** – relativo a proposta de construção de equipamentos, sejam alternativos ou não.
- **Mídia (M)** - relativo ao uso de software e virtuais.
- **Outros (O)** – relativo a processos de avaliação do laboratório como um todo ou de experimentos, etc.

Cada uma das categorias acima será alvo de análise através duas outras subcategorias:

- **Referencial teórico explícito (RS)** - o trabalho apresenta um referencial teórico para situar o laboratório no processo de ensino-aprendizagem.
- **Referencial teórico ausente (RN)** - não faz citação ou explicitação de um referencial teórico.

Quanto ao autor do referencial teórico, impõe-se a subcategoria:

- **Autor referenciado (AR)** - está explicitado o autor do referencial teórico.
- **Autor não referenciado (AN)** - não cita o autor do referencial teórico.

### 3. OS EVENTOS NACIONAIS

Os eventos nacionais de maior tradição para o ensino de Física são os Simpósios Nacionais de Ensino e os Encontros de Pesquisadores. Deixamos de lado encontros regionais ou eventuais, por não registrarem a evolução das idéias e de referenciais teóricos adotados e das alterações das políticas educacionais.

Antes de discutirmos os trabalhos propriamente ditos, faremos um comentário geral sobre cada evento, procurando contextualizá-lo no que se refere ao pensamento e às idéias predominantes na época de sua realização .

#### 3.1 – *O primeiro SNEF (1970-SP/SP)*

O 1º Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF) foi o grande marco para o ensino de Física no Brasil. Seu papel histórico é inquestionável, tanto do ponto de vista acadêmico, isto é, promotor e incentivador da formação de grupos interessados em propostas inovadoras para o ensino, como também político por marcar posição para implementação dessas inovações.

Por ser o primeiro evento dirigido essencialmente à discussão sobre o ensino de Física, não houve apresentação de trabalhos individuais ou comunicações de ensaios ou propostas metodológicas e/ou pedagógicas. A organização dos trabalhos ocorreu predominantemente através de mesas redondas seguidas de debates com a platéia.

O laboratório didático foi tratado dentro de um espectro mais amplo, não sendo alvo de discussões específicas. O pensamento predominante era o de que o laboratório era importante, mas não se sabia muito bem porque. É interessante lembrar que neste período, dentre os projetos estrangeiros, o PSSC configurava a proposta hegemônica de inovação. Desta hegemonia decorria o entendimento de que o laboratório deveria ser também uma fonte de aprendizado e aquisição de comportamentos próximos aos objetivos do projeto PSSC: formação de (pequenos) cientistas.

### 3.2 - O II SNEF (1973-BH/MG)

A organização deste Simpósio diversificou as atividades, promovendo conferências, mesas redondas, cursos e a inclusão de apresentação de trabalhos, estes últimos na forma de comunicação oral. Também foi aberto espaço para a oferta de cursos, que com o passar do tempo tornaram-se tradição nos SNEFs. Nesta primeira vez, foram cinco cursos oferecidos: dois somente de conteúdo (Experiências com raio Laser e Experiências com o contador Geiger). Um de Física Moderna, com o objetivo de dar um visão global dos principais campos da Física Moderna. Outro versou sobre História da Física, centrado na vida de Copérnico pela passagem de 5° Centenário de seu Nascimento<sup>2</sup>, O único curso mais ligado aos aspectos didáticos foi sobre Tecnologia da Educação onde era discutida a concepção tecnicista de ensino, ministrado por Cláudio Dib.

As comunicações, em número de 49, foram divididas em duas áreas:

- Ensino médio e básico ( 22 comunicações)
- Ensino de graduação (27 comunicações)

Esta divisão em dois grandes blocos traduz, de certa forma traduz o pouco amadurecimento da área, refletindo a escassez de discussões teóricas mais profundas o que, por sua vez, criou espaços específicos de discussão. De certo modo, é compreensível, pois a comunidade é extremamente jovem e a distância entre o 1° SNEF e este é de apenas três anos, tempo extremamente curto para sedimentar discussões de caráter crítico pedagógico. Por outro lado, a comunidade ainda estava imersa no “paradigma” tecnicista. Como registro os grupos que elaboravam os projetos nacionais (FAI, PEF E PBEF) já apresentavam seus primeiros resultados. O FAI lança o volume I de sua coleção, através da Ed. Saraiva, durante o Simpósio.

Dentre os trabalhos apresentados, somente 9 (18%) se referem ao laboratório didático. Utilizando nossas categorias encontramos dois trabalhos

---

<sup>2</sup> Curso ministrado pelo conhecido Prof. Francisco de Assis Magalhães Gomes, decano da UFMG, hoje falecido.

“Proposições”, ambos do tipo RN (referencial teórico ausente) e NA (autor não referenciado). Os demais estão categorizados em “Técnica de Construção”, com ausência de referências e autor.

### 3.3 - O III SNEF (1976 – SP/SP)

No I SNEF, Osmar Manoel Ferreira (1970:11) em sua fala na sessão Ensino de Física no curso Médio, coloca as seguintes questões: “*Para que ensinar Física? A quem ensinar Física? O que ensinar de Física? Como?*”, assumidas como um grande desafio pelos participantes. Já no II SNEF estas perguntas estavam presentes, permeando vez por outra as discussões. Neste III SNEF retornaram com “força total”.

No Prefácio das Atas (1973:V), Hamburger, coordenador do evento, sintetiza o espírito com o qual foi feita a organização: “*Assim foi realizada uma das intenções dos organizadores: que além de tratar de problemas específicos, o simpósio abordasse também questões gerais, como ‘Para que, e para quem, ensinar Física?’ e ‘Como este ensino pode contribuir para que a educação leve à libertação do Homem?’*”. Esta última questão, sem dúvida nenhuma, contém um componente político social bastante forte, o que se justificava pela conjuntura político social em que o país vivia. Por outro lado, inovou mais uma vez o SNEF, promovendo o convite a sociólogos, educadores e economistas a participarem de mesas redondas, presenças justificadas pelo entendimento de que a educação em Física envolve aspectos mais amplos que o conteúdo. Como novidade, foi introduzida a forma de “painéis” para apresentação de trabalhos, permitindo ao autor um tempo maior para discutir com o público.

Dois cursos fizeram parte do programa: “*Aspectos atuais da Física de Partículas Elementares*”, ministrado por Roberto Salmeron e “*Evolução do Pensamento Científico, de Aristóteles a Galileu*”, por Pierre Lucie.

As conferências contribuíram com temas da área de Educação e Metodologia de Ensino; as mesas-redondas trouxeram temas ligados à formação

do Professor, Ensino Básico (atual fundamental) e Médio, Graduação e Pós Graduação. Com a criação do Mestrado em Ensino de Ciências – modalidade Física em 1974, o tema Pós-Graduação era extremamente pertinente.

Das atividades paralelas que ocorreram durante todo o Simpósio duas chamam atenção: “EXPO/FISICA –1976 - o que já fizemos, o que estamos fazendo, o que podemos fazer em equipamentos de laboratório” e a “Prateleira de Demonstrações”. Ainda que ambas prestigiassem o laboratório, cada uma se propunham a objetivos diferentes: a primeira tinha por preocupação a produção de novos materiais; a outra visava a disseminação e uso de experimentos em sala de aula como elemento de apoio e motivação.

Quanto aos trabalhos de comunicação, na forma de painéis, somaram 79 subdivididos em 8 grupos, denotando, além do aumento do número de apresentações, um crescimento e aprofundamento nas discussões. É interessante listar os subgrupos, pois se tornaram referência para outros SNEFs que, com algumas exceções, mantiveram esta divisão, quando não a ampliaram.

- Formação do Professor
- **Laboratório**
- Ensino Médio
- Metodologia
- Ciclo básico universitário
- Abordagens
- Audiovisuais, profissões afins
- Avaliação, pré-requisitos, Piaget

A criação de uma sessão especial para tratar do Laboratório indicava que, além do número de trabalhos ser significativo, era dada a ele uma importância igual à dos demais temas, revelando o crédito que a comunidade de professores dava ao seu papel no processo de ensino. Dos 14 trabalhos sobre laboratório, cerca de 18% do número total, cinco deles são relativos a: (a) levantamentos sobre laboratórios de ensino das universidades, (b) proposição de um projeto de laboratório, (c) o laboratório como problema e (d) sistema de avaliação no

laboratório. Outros cinco se referem a proposições de experimentos e seu uso e quatro à construção de equipamentos. A análise do levantamento de dados sobre laboratórios e experimentos de Física das instituições de nível superior foi tema de dois trabalhos com mesmo título<sup>3</sup> mas de autorias diferentes. Ambos foram financiados pela Sociedade Brasileira de Física (SBF) em convênio com CNPq, demonstrando uma preocupação, por parte da comunidade de físicos, sobre a importância do laboratório na formação dos estudantes universitários. O trabalho de autoria de Saad e Nascimento, tratou mais amiúde das condições físicas<sup>4</sup> dos laboratórios e arrolou alguns indicativos que mostraram que os experimentos em geral são para: (a) habilitar o estudante na manipulação de instrumentos; (b) desenvolver a parte teórica não vistas no curso regular; (c) verificar experimentalmente as leis físicas e (d) meramente demonstrar. Salientam que muitos equipamentos são subutilizados pois, devido a sua versatilidade, permitiriam a montagem de mais experimentos que os propostos.

Terrazan e colegas se utilizaram um questionário<sup>5</sup>, enviado a 38 instituições de ensino superior, que mantinham um curso básico de Física, correspondente aos dois primeiros anos das diferentes carreiras universitárias que tinham no currículo disciplinas de Física. Realizado um denso trabalho estatístico para cada quesito do questionário, cujo resultado foi apresentado na forma de tabelas, os autores chegam a algumas conclusões preliminares, entre elas que (a) os alunos passam pouco tempo no laboratório; (b) que boa parte desse tempo é despendido para ilustrar experimentalmente o livro texto; (c) existe uma dificuldade enorme na obtenção de verbas, falta de oficinas e técnicos para manutenção, excesso de alunos; (d) a avaliação se reporta prioritariamente à leitura dos relatórios e, às vezes, a provas “teóricas” sobre o trabalho experimental. Concluem afirmando que, para sanar o problema

---

<sup>3</sup> Sob o título “ *Levantamento de dados sobre o laboratório de ensino do ciclo básico universitário de Física* ”, Saad & Nascimento (p 423) e Terrazan, Zanetic, Barros, Soares e Kuleska (p.473) apresentaram no III SNEF suas análises e conclusões.

<sup>4</sup> Os aspectos pesquisados e analisados foram: (a) quais as experiências realizadas; (b) material utilizado e procedência; (c) possibilidade de confecção de material e (d) sugestão de uma lista de equipamentos mínimos para o funcionamento do laboratório. Os dados para análise foram extraídos dos “Manuais de Experiências” obtidos junto às próprias instituições.

<sup>5</sup> O questionário buscava coletar informações sobre (a) a dados gerais sobre os cursos básicos (carga horária, número de semestres de laboratório, textos adotados..); (b) facilidades materiais do ensino de laboratório, espaço físico, oficinas, técnicos, verbas, etc. ; (c) organização do ensino experimental, duração das aulas, guias, orientações etc.



“laboratório” deve prevalecer a idéia de que o laboratório é parte integrante do processo ensino-aprendizagem e, por outro lado, deve ser viabilizado um plano para a preparação de técnicos especializados que possam, além da manutenção, reproduzir e produzir equipamentos.

Demos maior atenção a estes dois trabalhos, para demonstrar o grau de seriedade que a comunidade universitária, através da SBF, manifestou em relação ao laboratório, seja nos aspectos de infra-estrutura e equipamentos, seja nos procedimentos didático-pedagógicos. Este último item reflete o uso do laboratório, predominantemente, como elemento ilustrativo ou complementar do livro-texto.

Com proposição prescritiva encontramos um trabalho, cujo objetivo é o desenvolvimento de um laboratório de ótica (Schiel,1976:417), detalhando a orientação didática, lista de material e experimentos. A orientação didática se refere apenas ao modo como os experimentos podem ser tratados com maior ou menor profundidade, de acordo com os objetivos do curso.

Como abordagem inovadora, Gomes & Alvares (1976) propõem a eliminação dos relatórios tradicionais substituindo-os pela introdução de provas relativas aos trabalhos feitos no laboratório e à execução de projetos.

Bouéres e Cesar (1976) apresentaram como as atividades de laboratório foram organizadas no Curso Personalizado Individualizado de Física (CPI) no IFUSP no ano de 1975. Como novidade apresentam a proposição de dois tipos de objetivos: o aprendizado de “*técnicas de medidas elétricas e o da realização da experiência de Física*”. No restante, o trabalho versa sobre o material utilizado, forma de avaliação dos relatórios e uma avaliação do curso em geral.

Um trabalho interessante, pois confirma algumas conclusões dos trabalhos de Saad & Nascimento e o de Terrazan et al., é o de Azevedo (1976:467),que propõe um curso onde “*o laboratório, em Física Básica, deve estar intimamente ligado com o que o aluno estudou no livro texto e ter conexão com os problemas que lhe foram propostos para resolver*”. Sua

proposta é associar o conteúdo ministrado na sala de aula aos experimentos, junto aos problemas do “*respectivo capítulo*”. Sua proposta se esclarece ao explicitar os objetivos da “sistemática adotada”: (a) *integrar o laboratório com o livro-texto*; (b) *levar o aluno a realizar o maior número de experimentos*; (c) *desenvolver o espírito de criatividade*.

A leitura dos trabalhos não deixa dúvidas de que existe uma divergência. Enquanto alguns autores criticavam o fato de que o laboratório fazia o papel complementar ou comprovatório do conteúdo do livro-texto, outros defendem a prerrogativa do livro-texto ser complementado pelo laboratório. Pelo que se pode observar, a aceitação do laboratório no processo de ensino é tácita, mas de forma antagônica.

Utilizando nossas categorias, podemos situar 7 trabalhos como Proposições, sem nenhum tipo de referência e 4 na categoria Técnica de Construção, também sem referência alguma o mesmo com 3 da categoria Outros.

### **3.4 – O IV SNEF (1979-RJ/RJ)**

As Atas desse Simpósio não foram publicadas.

### **3.5 - O V SNEF (1982- BH/MG)**

Este SNEF refletiu as preocupações políticas originadas pela crise energética mundial. Duas conferências marcaram a relevância do tema e as mesas redondas mantiveram os temas tradicionais, referentes ao ensino de ciências, Física no 2° e 3° Graus e Pesquisa em Ensino. Os debates demonstraram outras preocupações: Financiamento do Ensino de Ciências e Atividades Extra-Curriculares.

O “espírito político” que permeou o SNEF anterior continuou presente neste, mas de maneira mais atenuada, buscando soluções que levassem os professores do ensino médio a ampliar seu espaço político. Uma das discussões

geradas através das mesas redondas, foi a proposição de criar Núcleos de Professores do ensino médio.

Outro aspecto que merece destaque é a mesa redonda relativa a “Pesquisa em ensino de Física”, que apontou os problemas e perspectivas da área. Gomes (1982), um dos debatedores, apresenta a visão que um professor de 2º grau tem em relação à situação do ensino de Física nas escolas de 1º e 2º graus. Situa os grandes problemas da escola como a demanda crescente de alunos e, por extensão, a demanda do próprio professorado. Alerta ainda para adequação entre a eficiência de formação do aluno e a qualidade de ensino ofertada pelo sistema. Segue em sua análise fazendo estimativas do número de professores, tomando Minas Gerais como exemplo, e propõe uma alternativa de suprir o número mínimo necessário de professores, fazendo uso da pesquisa em ensino. O segundo debatedor, Elia (1982) na forma de depoimento, descreve quais as razões de seu ingresso na área de ensino de Física no curso de doutoramento na Inglaterra. Encerra comentando a importância da valorização de investigações bem referenciadas na área de ensino e alerta para a *“...a natureza das dificuldades e dos riscos que uma pesquisa educacional aplicada, (..)se conduzida no exterior pode apresentar e, em segundo plano, para demonstrar que uma pesquisa de pés mais calçados em realidades do que em teorias elaboradas em outros contextos tem seu reconhecimento em Centros avançados de pesquisa.”* Por último, Villani (1982) faz uma análise das dificuldades ou problemas da pesquisa em ao ensino de Física e suas perspectivas. Sua análise, extremamente densa, compõe um documento de 22 páginas das Atas. Três são os principais pontos que norteiam sua apresentação: *“Em primeiro lugar tentaremos levantar o significado social da pesquisa e avaliar a sua importância objetiva; em segundo lugar analisaremos quais são os problemas que ela enfrenta, para poder ser coerente com a sua natureza e a sua importância social; em terceiro lugar tentaremos esboçar algumas perspectivas de desenvolvimento.”*

Não é nosso objetivo discutir questão de tal importância neste trabalho, mas achamos conveniente pontuar o trabalho de Villani, pois passada mais de uma década do I SNEF, a área de ensino de Física começou a se mostrar

extremamente crítica com sua produção.

O número total de trabalhos apresentados em painéis diminuiu, comparado ao II SNEF/São Paulo, para 55. No entanto, ampliou-se o número de trabalhos relacionados ao laboratório didático. Foram 16 trabalhos (29%) distribuídos entre proposições de construção de equipamentos, montagens de experimentos e organização de cursos experimentais. O objetivo desses trabalhos era prescrição para construção de equipamentos, alguns se fazendo acompanhar do projeto técnico (Vicentini e Mammana, 1982: v.1-27), contendo cerca de 25 páginas onde 14 delas eram de plantas e as demais listagem de material e forma de montagem. Nenhum dos trabalhos propôs alguma crítica ou ensaio teórico para discussão. Como Proposição classificamos 4; a categoria Técnica de Construção registrou 10 trabalhos e 2 foram classificados como Outros.

### 3.6 – O VI SNEF (1985 – Niterói/RJ)

Passados 15 anos desde o primeiro SNEF, os organizadores enfatizaram a pesquisa em ensino de Física e suas relações com a comunidade. Três grandes linhas direcionaram os trabalhos: (a) Pesquisa em ensino de Física; (b) Integração entre ação e a formação do professor de Física e (c) Programas e Currículos para o ensino de Física. Oito representantes de diferentes regiões do país, fizeram uma exposição sobre todo o tipo de atividade referente ao ensino de Física seja de pesquisa, de ensino e ou de extensão. A idéia era subsídios para os participantes das discussões de 22 grupos de trabalho (GTs). O número de conferências foi reduzido a duas.

Os cursos ou minicursos oferecidos eram direcionados para cada uma das três grandes linhas do SNEF, citadas acima. A primeira linha ofereceu dois cursos, a segunda linha onze e terceira apenas dois. O número de mesas redonda foi 9, três para cada linha. Em uma das mesas redondas, o laboratório didático foi tema do apresentador, que justificava o ensino “**não experimental**” nas escolas porque “...não tem tradição ou raízes em nosso meio cultural.” (Elia, 1985:91-grifo do próprio autor). Sua linha de crítica segue comparações entre

teórico e experimental com base em elementos culturais da sociedade e apresenta três funções pedagógicas do laboratório. Mais adiante, voltaremos a discutir com detalhe a argumentação do proponente.

Os trabalhos apresentados, em número de 82, não tiveram a divisão da forma tradicional, mas sim dentro das linhas mestras do simpósio. Do total, 29 foram através de comunicações orais e 53 através de painéis. O laboratório foi motivo de 25 trabalhos (30%), aumentando o percentual em relação aos SNEFs anteriores. Desses 25 trabalhos, cerca de 10 utilizaram-se do laboratório para pesquisa em ensino de Física, tais como a investigação de concepções espontâneas, e não como discussão didático-pedagógica. Nestas comunicações, os experimentos são estruturados e organizados como instrumentos de sondagem e não de ensino-aprendizagem. Este uso do laboratório, como instrumento de pesquisa inicia-se com o movimento das concepções espontâneas e do intenso uso das “entrevistas clínicas”, tal como foram utilizadas por Piaget. De fato, constata-se na bibliografia das comunicações, extensas citações das obras de Piaget e seus colaboradores. Uma boa indicação do aumento de trabalhos de pesquisa seria, de certa forma, o aumento de pesquisadores, doutores ou mestres e do número de alunos de mestrado em ensino. Um argumento a favor dessa afirmação foi a reivindicação feita na Assembléia Geral de encerramento do SNEF, que recomenda a implantação – e mais breve possível – de um programa de Doutorado em Ensino de Física no Brasil. Somente nove anos depois, em 1994 na UFSC, é instituído, não o doutorado em Ensino de Física, mas em Educação, com linha de pesquisa em **Ensino de Ciências Naturais**, o que de certa forma vem ao encontro das aspirações da comunidade daquela época.

A categorização dos 25 trabalhos de laboratório indicou que 13 deles se agrupam como Proposições; desses, apenas 4 explicitam o referencial teórico e citam o autor, enquanto que os demais citam o referencial de análise mas omitem o autor. Dentre estes 13 trabalhos, dez utilizam experimentos para detectar as concepções espontâneas dos alunos relativas a um dado conceito. O laboratório transforma-se em instrumento de pesquisa do investigador e não em elemento do processo ensino-aprendizagem.

Encontramos ainda 7 trabalhos prescritivos visando a construção de equipamentos, o que os enquadra na categoria de Técnica de Construção, sem referencial explícito ou citação de autor. Na categoria Outros, foram categorizados 5 trabalhos, dois deles com referencial teórico e autor indicados e os restantes sem nenhuma referência.

### 3.7 - O VII SNEF (1987 – SP/SP)

Eleito como tema central “*A Física e a formação do Professor*”, as atividades propostas procuraram contemplar os interesses de todos os participantes. Como exemplo, podemos citar que um determinado tema de mesa redonda era tratado simultaneamente, em locais diferentes, sendo que em cada local a ênfase do tema era dedicada a um determinado grau de ensino.

Com relação ao número de trabalhos tipo painel, foram apresentados 130, um crescimento em relação ao anterior de mais de 200%, divididos em 9 grandes temas:

- Ensino de 1º grau.
- Ensino de 2º grau.
- Ensino de 3º grau.
- **Laboratório no ensino de Física (duas sessões)**
- Computador no ensino de Física
- Conceituação espontânea em Física
- Aspectos institucionais do ensino de Física
- Formação de conceitos em Física
- Formação de professores

A escolha dos temas contempla os trabalhos divididos nos três graus de ensino, enfatizando os enfoques das mesas redondas. A criação de uma sessão relativa ao Computador no ensino de Física mostrou a introdução do microcomputador em experiências pedagógicas, onde as simulações experimentais tem destaque, outras de caráter motivacional ou ainda como

instrumento complementar. O aumento de investigações sobre as concepções espontâneas também se destaca, predominando investigações na área de Mecânica. Outra linha de investigação, a maioria com resultados parciais de dissertações de mestrado, analisam e discutem, na sessão Formação de Conceitos, proposições teóricas.

O laboratório didático foi contemplado em duas sessões para apresentação de 28 trabalhos (cerca de 22% do total). Também foi promovido um debate sobre “*Funções do laboratório no ensino de Física*”, com a participação de três debatedores. A seguir reproduzimos o resumo da fala de cada um, extraído do “Resumos do VII SNEF” (1987:19).

*“Dentre a maioria dos trabalhos apresentados em congressos ou simpósios pode-se extrair que o laboratório é encarado como algo que serve para facilitar o ensino de certas relações físicas, uma atividade de motivação, ou ainda, como aquela atividade “mais concreta” na aprendizagem de conceitos. Estes objetivos de laboratório parecem indicar que ele é apenas uma atividade pedagógica que facilita a compreensão de certas leis físicas ou conceitos.*

*Será que uma atividade experimental é apenas complementar ou comporta um saber diferente daquele de um conhecimento teórico? O que é uma atividade experimental? Será que uma atividade experimental é realmente mais “simples” do que uma atividade, por exemplo, de leitura de texto? É possível compará-las? Uma discussão sobre questões desta natureza é fundamental para melhor compreensão das funções do laboratório no ensino de Física de 1º, 2º e 3º graus”* (grifos nossos). **Yassuko Hosoume – IFUSP**

*“O número de tarefas a serem desempenhadas num Laboratório didático é tão grande que nem sempre o trabalho experimental contribui para uma aprendizagem significativa de Física”.*

*Apesar disto, o laboratório tem ocupado por longos anos uma posição de destaque indiscutível, como componente altamente desejável e quando ausente, como responsável por grande parte do insucesso educacional da Física nos*

diversos níveis.

*Hoje, seu papel é bem mais questionado e até o próprio ensino centrado em “atividades do aluno” se encontra em pauta. Pretendemos discutir: I) aspectos relacionados com ensino aprendizagem e metodologias de laboratório; II) alguns pontos que mereceriam maior atenção por parte dos pesquisadores, para uma avaliação cuidadosa do papel do laboratório e III) alguns resultados de alternativas viáveis ao trabalho de laboratório em pequenos grupos.”* **Suzana de Souza Barros – IFUFRJ**

*“A principal função do laboratório didático é propiciar um ambiente de observação, interpretação, modelamento (grifo nosso) e análise de fenômenos, em que se possam aplicar conhecimentos teóricos adquiridos (ou por adquirir), em situações reais, bem diferentes daquelas idealizadas nos modelos estudados nas aulas teóricas. Paralelamente, é também local de treinamento de técnicas experimentais (de preferência modernas), complemento indispensável à formação do físico. Eventualmente, pode ser utilizado para complementar a teoria de erros e demonstrar leis físicas “para os alunos céticos”.* **Manfredo Tabacniks – IFUSP**

Das três linhas de pensamento manifestadas pode-se interpretar que uma delas questiona a validade do uso de atividade experimental comparada a outro tipo de atividade, outra alinhava procedimentos didático-metodológicos relativos à operacionalização das atividades em laboratório e a terceira encara o laboratório como “aplicação do método científico”. Hosoume aponta questões na tentativa de diagnosticar o laboratório e a que maneira como suas atividades são entendidas. Infelizmente apontou propostas de solução. Coube o mérito, de ter percebido um ponto crítico do problema. Grifamos a frase “apenas uma atividade pedagógica que facilita...” pois é uma excelente colocação de como é interpretado o papel do laboratório no ensino de Física. O adjetivo facilitador insinua o aspecto facultativo, ao mesmo tempo em que o coloca como elemento complementar. Barros, aponta a ausência do laboratório no ensino como um “bode expiatório” dos vários insucessos no ensino da Física, nos mais diversos níveis. Justifica a necessidade de uma atenção e avaliação mais cuidadosa do papel do laboratório. Tabacniks acrescenta às conhecidas funções do laboratório



a função modelamento. Infelizmente não detalha o que entende por modelamento, mas se interpretado à luz dos referenciais atuais, determina um papel de grande importância na construção de modelos de fenômenos físicos através do processo de modelização.

Este simpósio mostrou um crescimento na produção de trabalhos, passando de 82 do simpósio anterior para 130, um incremento positivo da ordem de 58%. Foram agrupados 28 trabalhos nas duas sessões Laboratório no Ensino de Física. Cinco deles são categorizados como Proposição com ausência de quaisquer referências. Na categoria Técnica de Construção encontramos 4 trabalhos, também sem nenhuma referência. A categoria Outros registra 7 e a categoria Mídia apresenta seus dois primeiros trabalhos

### **3.8 - O VIII SNEF (1989 – RJ/RJ)**

Atas desse Simpósio não foram publicadas.

### **3.9 – O IX SNEF (1991 – São Carlos/SP)**

A cidade de São Carlos/SP sedia este SNEF, cujo tema é “*A Física na formação do profissional e do cidadão*”, dividido em três grandes linhas ou subtemas: (a) Formação do Profissional, (b) Formação do cidadão e (c) Professor: formação e prática.

Cinco conferências deram subsídios aos subtemas propostos como referências para discussões nos onze grupos de trabalho. Também foram em número de onze os cursos, dentre eles 4 cursos dedicados ao laboratório. Dos quatro cursos, um consistia numa proposta para o laboratório universitário; outro era mais centrado no conteúdo de Física Moderna através de um curso experimental; um terceiro, Física Experimental para o 1º grau, explorava a concepção de Experimentoteca e, por último, um dos cursos estabelecia a proposta de uma oficina de materiais alternativos para o ensino de Física.

Os trabalhos, painéis e comunicações orais foram divididos em 8 temas:

- Formação de professores (14 trabalhos);
- **Trabalhos experimentais** (18 trabalhos);
- Experiências didáticas (17 trabalhos);
- Pesquisa ensino – aprendizagem (25 trabalhos);
- História da Ciência (8 trabalhos);
- Avaliação e desempenho escolar (3 trabalhos);
- Pesquisa em ensino (11 trabalhos);
- Computação no ensino de Física (7 trabalhos) .

Além dos 21 trabalhos classificados dentro da área “Trabalhos experimentais”, encontramos mais 6 distribuídos em outras áreas, perfazendo um total de 27 trabalhos relacionados ao laboratório (29%). A maioria desse trabalhos é direcionado para a construção de equipamentos de baixo custo ou de alternativas das experiências padrão em laboratório, como movimento de projéteis, determinação da aceleração da gravidade etc. Categorizando-os, tem-se 15 trabalhos na categoria Técnicas de Construção, ausentes de referências, o mesmo ocorrendo com os 2 trabalhos categorizados como Outros e três da categoria Mídia. Os sete restantes podem ser incluídos na categoria Proposições: quatro sem explicitação de autor ou referencial teórico, dois referenciados sem autor e um completo.

Chama atenção o número de trabalhos reunidos nas sessões “Pesquisa ensino-aprendizagem” e “Pesquisa em ensino” que juntos somam 36 (quase 40%), indicando o amadurecimento acadêmico da área. Referenciais teóricos explícitos já se fazem uma constante na bibliografia que acompanha o resumo desses trabalhos, deixando claro uma abordagem teórica mais consistente e diferente daquela dos primeiros simpósios.

### **3.10 – O X SNEF (1993-Londrina/PR)**

Londrina, Paraná, é sede do X SNEF, com o tema “*É tempo de Avaliação*”, que também direciona as quatro conferências que mesclam

conteúdo de Física e o ambiente de sala de aula com as relações entre Ciência e Tecnologia, numa concepção avaliativa.

Dez mesas redondas tiveram como alvo a avaliação dos vários temas propostos. Desde a avaliação dos SNEFs, passando pela avaliação sobre a universidade, ensino de 1° e 2° graus, a divulgação científica, a formação profissional e reflexos das decisões administrativas no ensino de Física. É curioso que, nestas mesas redondas, respeitando a temática de cada uma, não houve nenhuma manifestação mais forte mencionando o laboratório didático. Uma breve citação de Queiroz (1993:27), em sua fala sobre a capacitação de docentes nos três níveis de ensino, alerta que *“Os resultados da década na área de pesquisa em ensino de Ciências recomendam: um ensino ativo, experimental, que no entanto não enfatize exageradamente o laboratório, nem escolha um “método científico” como método ideal e usado sempre pelos cientistas.”* Uma possível conclusão é que o discurso experimental coletivo e público de que o laboratório é importante e tem “significado” no processo ensino-aprendizagem, não comoveu ou não encontrou eco junto aos debatedores das respectivas mesas redondas. Tal crítica se impõe, à medida que o tema do SNEF era “Tempo de Avaliação” e nenhum espaço foi oferecido para discutir o papel do laboratório didático, sempre tão divulgado, comentado e, muitas vezes, culpado pelo “fracasso ou pouca eficiência” no ensino de Física (ver Barros no VII SNEF).

Vinte minicursos e 5 oficinas estavam à disposição dos participantes. O total de trabalhos neste SNEF foi de 151, divididos em comunicações orais (64) e painéis (87). Foram reservadas duas sessões para apresentação de 18 (~13%) trabalhos de “Laboratório no ensino da Física”. Os dois outros foram apresentados na forma de comunicação oral, com objetivos prescritivos de proposições experimentais.

A linha dos trabalhos relativos ao laboratório não apresentou nenhuma novidade: sugestão de novos experimentos com material alternativo, construção de equipamentos, novas estratégias para o uso do laboratório (forma lúdica). Um trabalho, classificado como “Laboratório” pela organização, na realidade tratou a disciplina de Instrumentação em um curso de Especialização em Ensino

de Física, como elemento catalisador da reelaboração do conhecimento, dentro da perspectiva da “teoria educacional dialógica” (Bastos e Figueiredo, 1993:361).

No quadro das categorias, sete trabalhos sobre o laboratório didático são classificados em Proposições, onde somente dois apresentam referencial e citação de autor e os outros cinco não mencionam seus fundamentos teóricos. A categoria Prescrição Experimental registra cinco trabalhos, onde um apresenta seu referencial teórico e autor; a categoria Técnica de Construção contabiliza 4 trabalhos, sem nenhuma referencia o mesmo com os 2 trabalhos na categoria Outros. A categoria Mídia mostra um crescimento enorme com onze trabalhos, basicamente uso de aplicativos.

### 3.11 - O XI SNEF (1995 – Niterói/RJ)

“*Tempo de Mudança*” foi o tema base, desdobrado em quatro subtemas ou eixos temáticos. Cinco mesas redondas contemplaram o tema central e os quatro subtemas: (a) Enfoques curriculares; (b) Ensino-aprendizagem; (c) Formação do professor e do pesquisador em ensino de Física e (d) Divulgação.

Estavam previstos 52 minicursos, com a realização de somente 43. Os trabalhos foram apresentados na forma de painéis ou comunicação oral, cada grupo dividido em sete sessões com um total de 125 trabalhos.

Do total dos trabalhos, 22 (~17%) se enquadram em nossas categorias apresentando a seguinte distribuição: (a) 4 categorizados como Proposições; (b) 8 como Prescrições Experimentais; (c) 5 na categoria Técnica de Construção; (d) 5 na categoria Mídia e os restantes 5 na categoria Outros. Os trabalhos experimentais não ofereceram nenhuma análise que chamasse a atenção quanto ao tratamento do laboratório. Aqueles referenciados como Proposições e cujo referencial e autor se fazem claros na leitura, tem como objetivo inseri-lo no contexto de pesquisas relativa a concepções espontâneas. Nos demais, o caráter prescritivo ou de orientação para construção se apresentam da forma tradicional.

### 3.12 - O XII SNEF (1997-BH/MG)

O tema eleito para o XII SNEF é “*Novos Horizontes: Educação Permanente, Novas Tecnologias e Inovações Curriculares*”. Na abertura deste SNEF, houve uma homenagem à Profa. Beatriz Alvarenga<sup>6</sup> quando foi agraciada com a Medalha de Honra ao Mérito no Ensino de Física.

A divisão da programação seguiu o formato dos simpósios anteriores: conferências e mesas redondas, onde a ênfase foi a formação de professores, nos cursos de graduação e de formação continuada. O número de mini cursos chegou a 50 e o de oficinas a 11. As comunicações orais e painéis fugiram à regra, não sendo divididos por temas, com registro em destaque no índice das atas. Listamos 29 comunicações orais e 67 painéis, somando 96 trabalhos; destes, o laboratório foi objeto de 26 (~25%).

Utilizando nossas categorias, encontramos 6 trabalhos estruturados como Proposições, com 3 apresentando referencial teórico e autor, um somente o referencial e 2 nada referenciam. Na categoria Prescrições Experimentais somente um dos 12 apresentados descreve referencial de análise e seu autor, os

---

<sup>6</sup> A leitura de seu discurso de agradecimento é um depoimento vivo da história do ensino de Física no Brasil. Sobre sua participação nos principais eventos da área, entre eles como aluna do primeiro curso de aperfeiçoamento de professores de Física no ITA em 1953, relata que “*Embora o objetivo primordial do curso fosse incentivar os professores a introduzir atividades experimentais em suas aulas, pudemos nos beneficiar enormemente, também em outros aspectos, em que nossa formação, não específica, apresentava deficiências*” (Alvarenga, 1997:18). Comenta ainda sobre os “*manuais didáticos*” com a típica formatação onde predominavam “*algumas noções de cousas*”, *definições das grandezas mais conhecidas (mesmo aquelas que não deveriam ser) e uma copiosa descrição de aparelhos. Não propunham exercícios, problemas ou atividades experimentais e a avaliação ...era feita para testar a memorização dos tópicos estudados.*” Comenta sobre a situação do professorado de Física (para o ensino médio) sem a formação adequada. Relembra sua participação no curso do ITA e os seus “*professores famosos*”. Fala de seu envolvimento e participação no movimento de divulgação do PSSC em Minas Gerais e no I SNEF, em particular. Fala da sua preocupação ao perceber que nos primeiros SNEFs a participação dos professores de 2º Grau e estudantes de licenciatura era reduzida, mas menciona que, com o passar do tempo, este número cresceu, demonstrando a importância do evento e o esforço da comunidade em participar. De certa forma, avalia os SNEFs e o ensino de Física quando afirma que “*Estabelecendo-se um paralelo entre a programação dos primeiros simpósios e dos atuais fica patente o progresso em alguns setores. Até o IV e V Simpósios, talvez, a maior parte do tempo foi ocupada com o reconhecimento do terreno e com o levantamento dos principais problemas que o afetavam (evidenciados pelo grande número de mesas redondas)*”.

demais omitem. Três são os trabalhos classificados em Técnica de Construção, mas com omissão total tanto de referencial como de autor, o mesmo ocorrendo com 2 trabalhos na categoria Outros. A categoria Mídia registra 3 trabalhos, dois deles com referência completa e o terceiro com total ausência de referências.

### 3.13 – O XIII SNEF (1999 – Brasília/DF)

*“Ensino de Física: em busca de sua identidade”*, foi o tema central escolhido para este Simpósio, cuja justificativa é feita de maneira poética pela Comissão Organizadora, em um dos parágrafos da Apresentação no Caderno de Resumos e Programação:

*“Uma imagem nos ocorre neste momento, a de uma mina d’água, da onde brotam vários riachos que mais adiante podem se tornar grandes rios. Essa nascente é nossa identidade, o que nos une nas diferenças e o que justifica nossas ações. Essa nascente deve ser reencontrada, explicitada e valorizada, pois sem ela não existirão nem riachos nem rios.”<sup>7</sup>*

Infelizmente, não foram publicadas as Atas até o momento em que elaborávamos este trabalho, impossibilitando maiores detalhes sobre as atividades. O Documento em nossas mãos só oferece a programação e os resumos dos trabalhos apresentados em painéis e dos mini cursos. Faremos apenas os registros formais, referentes às atividades coletivas.

Foram oferecidas quatro conferências, duas com convidados estrangeiros e duas com professores brasileiros, centradas no tema principal. O número de mesas redondas foi de nove, onde os temas discutidos, mesmo de caráter amplo, se abrigavam no tema central. Trinta e oito minicursos ofereciam propostas metodológicas, introdução de Física Moderna, uso do laboratório em sala de aula, e até construção de equipamentos, entre outros.

---

<sup>7</sup> XIII Caderno de Resumos e Programação p. “1”. Até o momento de nosso trabalho as Atas desse Simpósio não tinham sido publicadas.

Seguindo a tendência de aumento progressivo, o número de trabalhos apresentados é de 184. Eles voltam a ser divididos em temas preestabelecidos de acordo com a relação abaixo:

- Informática no Ensino de Física (duas sessões);
- História e Filosofia no Ensino de Física;
- Currículos e o Ensino Superior de Física (duas sessões);
- Formação continuada de Professores de Física e Ciências;
- Materiais e Métodos para o ensino de Física (cinco sessões);
- Aprendizagem informal e Divulgação Científica;
- Ensino de Física: Pressupostos Teóricos (três sessões);
- Ensino de Astronomia.

O grupo Formação Continuada de Professores de Física e Ciências é novo nos Simpósios e se origina nas diferentes experiências realizadas dentro do Programa Pró-Ciências financiado pela CAPES em vários estados brasileiros desde 1995.

Outro grupo novo é o de “Ensino de Astronomia” com 7 trabalhos, demonstrando o crescimento e importância que a área vem conquistando. Nos simpósios anteriores os trabalhos da área que estavam diluídos em outros temas ou grupos. Nos últimos anos, o Espaço Museu da Vida (RJ), a Estação Ciência (S.P.) e Olimpíada Brasileira de Astronomia, entre outras iniciativas, têm difundido atividades extra-classe e incentiva investigações de como elas influenciam o aprendizado de Ciências.

Os trabalhos que fazem uso da Mídia, timidamente surgiram em 1987 (VII SNEF), demonstraram um crescimento significativo da área, com duas sessões para a discussão de 22 trabalhos. A ênfase geral recaí sobre o uso de aplicativos, de experimentos simulados e da Internet no ensino.

O Laboratório em ensino de Física, que sempre teve uma ou duas sessões exclusivas, passou, juntamente com trabalhos referentes a métodos e

abordagens de ensino de Física a fazer parte de um único grupo denominado Materiais e Métodos. Este grupo reuniu cerca de 60 trabalhos (1/3 do total geral de 184), onde 32 (~17%) são relacionados ao laboratório, categorizados da seguinte forma: 8 deles como Proposição, onde somente 2 indicam referencial teórico e citação de autor; na categoria Prescrições Experimentais somaram-se 11 trabalhos mas infelizmente não apontam referencial nem autor; o mesmo ocorre com os 11 trabalhos categorizados como Técnica de Construção e com os 2 classificados como Outros. A categoria Mídia foi contemplada com duas sessões exclusivas para a apresentação de 22 trabalhos. Dois deles totalmente referenciados e justificados; oito não informam o autor mas oferecem a base teórica e 12 sem nenhuma indicação.

### 3. 14 - *Análise dos SNEFs*

A análise das Atas dos Simpósios Nacionais de Ensino de Física, nos oferece um quadro, mostra uma evolução da área nestes trinta anos. Nasce nos anos 70, com traços de empirismo ao tratar as questões da Educação em geral e particularmente do ensino de Física, em função do número reduzido de pessoas com formação também na área de Educação. Com o crescimento do número de interessados e o aumento dos cursos de Mestrado, a área começa apresentar uma massa crítica, determinante para que concepções teóricas mais formais tomem espaço e estabeleçam rumos para as discussões e pesquisas da área. Hoje em dia, o número de pesquisadores continua apontando um crescimento, as linhas de investigação são bem conhecidas e sua maturidade se equipara a outras áreas já estabelecidas.

Nossa intenção inicial foi verificar qual o pensamento que permeava os investigadores brasileiros em relação ao laboratório didático utilizando os trabalhos e demais atividades dos Simpósios de Ensino. À primeira vista, **através dos simpósios**, não se verificam grandes mudanças em relação ao papel do laboratório didático retratado pelos trabalhos analisados.

Para justificar nossas colocações, vamos apresentar duas tabelas. A primeira (Tabela 1) resume a produção e as atividades desenvolvidas nos vários



SNEFs e a segunda (Tabela 2) os trabalhos relativos ao Laboratório didático devidamente categorizados. Ambas são apresentadas após esta seção.

A partir da Tabela 2 é possível construir algumas análises gerais que espelham indicativos interessantes. A média dos trabalhos experimentais foi de 20% da totalidade dos trabalhos submetidos à apresentação, com alguns picos em torno da média, mas nada significativo.

Dos trabalhos classificados como experimentais, a maioria (~30%) se concentra na categoria **Técnicas de Construção**, aqueles que sugerem e propõem, de forma prescritiva, a construção de equipamentos, montagens, material alternativo ou similares. Na realidade, retrata uma situação crônica do estado de penúria financeira das escolas e de instituições de nível superior, que não dispõem de recursos para a aquisição de equipamentos experimentais. São trabalhos caracterizados pela atividade técnica, habilidade manual e de criatividade, estimulada pela necessidade de substituição de material tradicional por alternativos. Nesta categoria de trabalhos, qualquer análise teórica está fora de cogitação.

Em segundo lugar, se encontram os trabalhos categorizados como **Proposições** (~25%). Da totalidade de 63 trabalhos, apenas 17 (25%) explicitam seu referencial teórico e, destes, 12 citam o autor. De regra, são trabalhos que se utilizam do laboratório didático para a sondagem de concepções alternativas e, como já foi citado, transforma o laboratório em instrumento de pesquisa. Por exemplo, Figueiredo Neto, Missono e Ferreira (1985:210), se fundamentam nos estudos de Piaget e declaram: *“No presente trabalho, veremos como a utilização de um densímetro rudimentar possibilitou, não somente uma análise das atitudes frente a um problema dentro de um esquema piagetiano, como também deu contribuições para estudar esses mesmos alunos sob uma ótica ligada a conceitos intuitivos”*. (grifo nosso)

Outros trabalhos fazem do laboratório um instrumento de ensino e fundamentam seu uso em uma concepção de ensino explícita. O trabalho de Ramos e Ferreira é um exemplo que discute uma alternativa metodológica,

utilizando-se do “desafio lúdico”. Todas as atividades previstas são planejadas tendo em vista o fato de que, *“Ao interagir com o conhecimento o sujeito realiza operações, que, como ações interiorizadas (segundo o modelo piagetiano), não se reduzem a uma forma. Para Piaget, a própria sensação física pressupõe um quadro interno de interpretação. Isto é, apesar de partir da sensação, o conhecimento do sujeito se liberta desta pelo processo de reelaboração. Isto significa que uma operação lógico-matemática intervém na própria sensação, enquanto informação apreendida pelo sujeito”* (Ramos & Ferreira, 1993:374) Sem dúvida nenhuma que os autores fixam de maneira clara as bases teóricas da proposta defendida e a argumentação utilizada.

Aceitando estes dois trabalhos como “exemplares” de trabalhos da categoria **Preposições** com todas as referências, nota-se um predomínio da concepção de “instrumento”, como que redefinindo a função do laboratório, seja ele de pesquisa ou de ensino. Como ensino, seu papel fica inserido em uma dada metodologia ou abordagem. Como pesquisa, concretiza condições ao investigador de estabelecer um diálogo com o sujeito da pesquisa com presença do “objeto” de análise.

A categoria “**Mídia**” fica em terceiro lugar com 42 (~18 %) trabalhos, predominando diferentes maneiras do uso de aplicativos, medidas experimentais por meio do computador e simulações. Somente quatro trabalhos oferecem atividades utilizando computador fundamentadas em referenciais teóricos cognitivistas.

Em quarto lugar, a categoria “**Prescrição Experimental**” computa um total de 40 (~16 %) trabalhos, oferecendo possibilidades e alternativas no uso de determinados experimentos em situação de sala de aula. Um caso típico é o trabalho de Gonçalves Ledo, Azevedo e Santiago (1991:287) que, após os comentários iniciais sobre o uso de equipamentos e instrumentos alternativos, mostram *“...como tratar o batimento, primeiro com uma breve revisão teórica e depois apresentando-se uma possível abordagem experimental”*. Os mesmos autores também apresentam um *“Simples experimentos para o estudo de ressonância”* (1991:312) onde *“sugerimos um dispositivo experimental que tem*

*a vantagem de ser constituído basicamente de molas, fios, pesos e que é capaz de mostrar a ressonância, num contexto bastante didático.*” Este trabalho não enfatiza o material, mas sim o procedimento didático onde determinado conteúdo pode ser explorado pela via experimental.

Por último, na categoria Outros, temos 28 (~12%) trabalhos classificados, com distinção àqueles com carência de referenciação, tanto teórico como de autor. Os que exibem referenciais o utilizam para justificar o uso de software ou aplicativos, de acordo com a concepção proposta, em situações de ensino.

A presente análise sobre a produção científica, reunindo investigações de pesquisadores (doutores e mestres) em ensino de Física, professores universitários, pós-graduandos nos diferentes níveis, professores do ensino médio e alunos, representando um lado da pesquisa brasileira em ensino de Física durante 30 anos, acumula 1044 trabalhos onde 250 (~24%) tem o laboratório didático como objeto de uma investigação. Certamente, já se torna possível expressar algumas conclusões, que assinalamos a seguir:

- O laboratório didático sempre manteve um espaço prestigiado para discussão e apresentação de trabalhos;
- Sempre foi constate e manifesta a apreensão da comunidade quanto à função didática do laboratório no ensino de Física;
- Quando o laboratório didático no ensino médio não está totalmente ausente, sua presença é restrita a experiências e iniciativas pessoais de professores;
- O papel delegado ao laboratório didático com mais freqüência é o de comprovação da teoria, isto quando utilizado;
- A influência dos projetos de ensino foi bastante forte quanto à “modernização” do acervo experimental;
- O movimento dos materiais alternativos, além de suprir necessidades de material experimental, continha a concepção de que fazendo o equipamento, era possível aprender;

- A concepção didática mais vulgarizada do laboratório didático é o de facilitador da aprendizagem;
- As práticas experimentais mais populares têm características comprobatórias, o que as coloca em plena sincronia com o ensino tradicional dogmatizado, que por sua vez se apoia em uma concepção empirista de ciência;
- Relativamente recentes, as atividades com a mídia (simulações, Internet, etc.) se mostram atraentes e motivadores mas há que se fazer ressalvas. O excesso de sofisticação de algumas atividades podem produzir equívocos de interpretação por parte do aluno. É fundamental que aluno consiga fazer uma relação direta e próxima com a realidade que conhece, caso contrário não saberá transpor a idealização da “tela”. Simulações atraentes mas mal feitas, nunca irão substituir uma simples prática experimental. Voltaremos a discutir o assunto no capítulo 5.

A reflexão sobre o laboratório ainda é extremamente pobre, no sentido mais *strictu sensu*. O esteio de suporte de sua participação no processo ensino-aprendizagem ainda é ditado por uma tradição experimental, intimamente ligada ao *modus operandi* do pesquisador. Os procedimentos científicos (método experimental) são transferidos de forma quase direta ao espaço escolar, através de uma transposição ingênua, acrítica e pobre.

Esta tabela registra todas as atividades que constam oficialmente do programa dos SNEFs – SIMPÓSIOS NACIONAIS DE ENSINO DE FÍSICA.

Foram utilizadas as seguintes abreviações .

- **Conf.** – refere-se ao número de conferências apresentadas.
- **Palestras/debates** – registramos de forma acumulada as duas atividades, visto que muitas das palestras eram seguidas de debates.
- **Mesas redondas** – atividade que previa um coordenador e, em média, três convidados para apresentar o tema sob óticas diferentes.
- **Grupos de trabalho (GTs)** – Em alguns simpósios os GTs já eram direcionados por tema ou questões. Em outros, o número era definido após um mesa redonda e era variável.
- **Minicursos** – cursos de pequena duração (máximo de 8 horas e mínimo de 4 horas) oferecido aos participantes ao longo do evento.
- **Painéis e comunicações orais** – Com o aumento de trabalhos, em 1976 foi introduzida a técnica de painéis para apresentação dos trabalhos. A quantidade de comunicações orais foi reduzida
- **P. Atas** – O documento base para análise foram as Atas de cada SNEF, e a coluna informa o número de páginas de cada documento analisado

**TABELA 1****REGISTRO DAS ATIVIDADES E TRABALHOS  
NOS SNEFs**

	Conf.	Palestras Debates	Mesa Redonda	Grupo de trabalho	Mini cursos	Painéis Com. Oral	Pag. Atas
I (1970)	1		7				335
II (1973)	3		3		5	50	252
III (1976)	5		5		3	79	1069
IV (1979)							
V (1982)	4	3	5			55	398
VI (1985)	2		9	22	15	82	470
VII (1987)		3	9	27	20	130	95
VIII (1989)							
IX (1991)	5	7	20	11	11	92	607
X (1993)	4		10	9	20	151	745
XI (1995)		7	5		43	125	571
XII (1997)	7		14		50	96	788
XIII (1999)	4	7	9		38	184	107
<b>TOTAIS</b>	<b>35</b>	<b>27</b>	<b>96</b>	<b>69</b>	<b>205</b>	<b>1044</b>	<b>4464</b>



### 3.15 – *Os Encontros de Pesquisadores em Ensino de Física – EPEFs*

Com a consolidação dos vários grupos de pesquisa em ensino de Física espalhados no país, surge a necessidade da comunidade de pesquisadores organizar encontros mais acadêmicos, dedicados à discussão sobre linhas de investigação, sobre política científica e sobre órgãos financiadores. Seriam reuniões mais exclusivas que encaminhassem debates mais teóricos e de maior profundidade.

As características dos SNEFs com sua ampla gama de temas, atividades e público bastante heterogêneo, com o passar do tempo, deixa de ser um fórum adequado para discussões de maior aprofundamento teórico. O número de especialistas cresce, demandando um espaço próprio para reuniões mais restritas e específicas à área. O novo espaço ocorre através da realização de um novo evento, restrito a pesquisadores e especialistas, e denominado de Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física – EPEF. A participação fica condicionada à apresentação de trabalhos de pesquisa em andamento ou já realizadas. Este evento, ao deslocar os pesquisadores, também chama para si grande parte da pesquisa que era apresentada nos SNEFs. Com isto queremos justificar a análise dos estudos e pesquisas apresentadas nos EPEFs, utilizando das mesmas categorias com que analisamos os trabalhos dos SNEFs.

Uma reconstituição histórica dos EPEFs, foi feita por Souza Barros (1990:13)<sup>8</sup> no III EPEF, é referência para localizar o EPEF e sua importância junto à comunidade da área.

Um questionário realizado em 1984 através do Boletim da SBF – Sociedade Brasileira de Física, procurou localizar os diversos grupos que realizavam investigações em ensino de Física no Brasil, além dos grupos já conhecidos da USP, IFUFRGS e da UFF. A resposta dos questionários permitiu o mapeamento

---

<sup>8</sup> Palestra de abertura proferida por Souza Barros na sessão de abertura do III EPEF, sob o título “Retrospectiva dos Encontros Anteriores e da Pesquisa em Ensino de Física no Brasil”.



dos diversos grupos e das respectivas áreas de investigação, com o predomínio de cinco grandes áreas, assim constituídas: (1) formação de professores; (2) treinamento em serviço; (3) instrumentação, laboratório; (4) interação ensino fundamental/ensino médio com a universidade e (5) pesquisa participativa. A maioria era, principalmente, financiada pelo programas CAPES/PADCT/SPEC, FINEP, CNPq e outros. Os resultados desse questionário foram discutidos em um encontro em julho de 1985<sup>9</sup>, surgindo então, a proposta de organizar, formalmente um Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física, inspirado nos encontros tópicos das outras áreas da Física, promovidos pela SBF. Ficou decidido que no ano seguinte haveria este encontro, dias antes da reunião anual da SBPC em Curitiba/ PR.

No encontro de Curitiba/PR em 1986 30 participantes convidados apresentaram 12 trabalhos. *“É bom salientar que nessa ocasião os participantes custearam todas suas despesas, sendo mais uma reunião de pessoas identificadas que desejavam se conhecer melhor e fixar metas próprias do que um encontro tópico.”* (Souza Barros,1990:15). Este encontro de Curitiba ficou conhecido como o I EPEF – Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física. Foram eleitas quatro grandes áreas ou linhas de pesquisa que norteariam as investigações em ensino de Física: (1) Física Intuitiva em um referencial piagetiano; (2) Concepções alternativas; (3) Reestruturação curricular – ensino diagnóstico e (4) Abordagens Metodológicas. Ficou também acordado que os EPEFs seriam bianuais e que deveriam coincidir com as reuniões Anuais da SBPC. Mais tarde, tal associação de data foi modificada.

O II EPEF se realiza em São Paulo (USP) em julho de 1988, com auxílio financeiro da SBF. Critérios para a participação são estabelecidos e criam constrangimentos e críticas por parte de alguns participantes. O objetivo era um encontro strictu sensu, conforme designação da Comissão Organizadora, que

---

<sup>9</sup> Encontro realizado entre os pesquisadores durante a 37ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência – SBPC, em São Paulo.

procurou convidar pesquisadores já estabelecidos na área. Ficou então determinado que a participação nos EPEFs seria restrita a pesquisadores (condicionada à apresentação de um trabalho) ou ao aluno de pós-graduação na área (apresentando resultados de pesquisa realizada ou andamento) Estes critérios que permanecem até hoje.

Neste II EPEF, dois temas principais dividiram atenções: (1) A formação do professor e (2) Conceitos alternativos;

Atas referentes aos dois primeiros EPEF não foram editadas por dificuldades de ordem financeira, tornando o depoimento de Souza Barros (1990) a única fonte escrita acerca dos dois primeiros encontros. Somente com a edição das Atas do III EPEF em diante, é possível uma análise mais detalhada de cada encontro.

### **3.16 – O III EPEF (1990-Porto Alegre/RS)**

O III EPEF foi realizado na UFRGS<sup>10</sup> e contou também com pesquisadores argentinos e uruguaios. Excetuando os trabalhos de pesquisa apresentados em painéis simultâneos, as demais atividades eram coletivas, dentre elas a palestra de abertura já citada de Souza Barros e a de Villani (1990) sobre “*Mudança conceitual no ensino de Física: objetivo ou utopia?*”

O encontro se caracterizou por momentos distintos: palestras, o relato dos coordenadores de grupos de pesquisa em ensino de Física e apresentação de painéis. Dez grupos distribuídos nas diversas instituições brasileiras e dois grupos argentinos (Universidad de Tucumán e da Universidad da Patagônia) apresentaram as linhas de pesquisas e atividades pertinentes ao ensino. Os trabalhos de pesquisa apresentados em painéis foram em número de 31 com apenas 3 (~10%) dentro da temática do laboratório didático.

---

<sup>10</sup> UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, nos dias 6 e 7 de julho, organizado e coordenado por Marco Antonio Moreira.

Fazendo uso de nossas categorias de análise dos trabalhos, podemos classificá-los da seguinte forma: dois se categorizam como “Mídia”, onde um deles sugere um referencial teórico, omitindo o autor e o outro não oferece nenhuma informação. Ambos os trabalhos utilizam o computador como “ferramenta”. O terceiro se enquadra na categoria Proposição e utiliza-se do laboratório e dos relatórios gerados pelos alunos para “*realizar um estudo sistemático para caracterizar as concepções de realidade adotadas por eles.*” (Queiroz & Teixeira,1990:181)

### **3.17 – O IV EPEF (1994 – Florianópolis/SC)**

O encontro de Florianópolis é ampliado para três dias, reunindo mais de uma centena de investigadores brasileiros e estrangeiros (Argentina e Uruguai).

O planejamento inicial definiu quatro temas básicos para os trabalhos e discussões: (1) Fundamentos da Pesquisa em ensino de Física; (2) Conhecimento e sua introdução na sala de aula; (3) Metodologias e (4) Relação entre pesquisa em ensino e sala de aula. O número de trabalhos referentes ao tema Metodologia foi extremamente reduzido; em contrapartida, um novo conjunto de trabalhos, classificados posteriormente como Metapesquisa foi expressivo. O tema Metapesquisa agregou os trabalhos “ (*...que questionavam nossos referenciais teóricos ou a falta deles.*”<sup>11</sup> . É interessante ressaltar que em encontros anteriores, sejam SNEFs ou EPEFs, já eram apresentados alguns trabalhos que insinuavam críticas a respeito. O número representativo de trabalhos nessa direção, demonstra que o tema já permeava a área, mas ainda estava em processo de amadurecimento.

Em quatro sessões plenárias, uma para cada tema, foram oferecidos os subsídios para as atividades dos grupos de trabalho. Em cada sessão plenária, dois

---

<sup>11</sup> Livro de Resumos do IV EPEF (1994), página III, informando a Estruturação temática do Encontro, desde sua proposição e as alterações necessárias em função do número de trabalhos enviados., organizado por Angotti, (1994).

investigadores faziam uma exposição do tema correspondente para que fossem identificadas questões para aprofundamento e debate, nos respectivos GTs. As conclusões de cada grupo seriam apresentadas na plenária de encerramento.

As comunicações, em número de 94, foram subdivididas de acordo com os temas principais e apresentadas na forma de painéis, registrando 18 (19%) trabalhos relativos ao Laboratório. Destes, categorizamos 4 como “Preposições”, onde 3 são referenciados mas sem autor e um sem nenhuma referência. Dos demais, 4 categorizados como “Proposições Experimentais”, onde um não informa referencial mas indica autor e o outro omite todos os dados. Na categoria “Técnica de Construção” registra-se um trabalho com referencial mas sem autor. A categoria “Mídia” registra um trabalho com todas as referências e outros 3 sem nenhuma delas. A categoria “Outros” 4 trabalhos sem nenhuma referência de autor e é totalmente referenciado.

### **3.18 – O V EPEF (1996 – Águas de Lindóia/SP)**

O VI EPEF se organizou de forma diferente devido à comemoração ao 30<sup>o</sup> Aniversário da Sociedade Brasileira de Física (SBF). Vários encontros temáticos das demais áreas da Física ocorreram simultaneamente, cada qual com suas atividades específicas, mas compartilhavam de atividades coletivas organizadas pela SBF.

Três temas foram os focos do V EPEF: (1) Sistemas conceituais e História da Ciência; (2) Formação de Professores e Políticas institucionais e (3) Metodologias e Currículo, reunindo cerca de 140 participantes. Cada tema foi motivo para uma mesa redonda e um grupo de trabalho. Um coordenador dirigia as apresentações orais em bloco de 6 comunicações por período. O número de comunicações nos vários GTs foram de 51. Os painéis também tiveram sua distribuição de acordo com os temas e somaram 65 trabalhos.

Somente no conjunto de painéis encontramos o laboratório como tema de investigação de 12 trabalhos, categorizados da seguinte maneira: 4 deles como Proposição e 2 em Prescrição Experimental com referencial e autor discriminados; duas sobre “ Mídia” sem nenhuma referência. Quatro trabalhos na categoria “Outros” onde um está na subcategoria com referencial e autor; dois citam autor e não referencial e um sem nenhuma referência.

### **3.19 - O VI EPEF (1998-Florianópolis/SC)**

Foi realizado em Florianópolis com a participação de 150 pesquisadores entre brasileiros e estrangeiros, não adotando tema ou temas diretores, sendo que somente os painéis foram divididos em 6 categorias<sup>12</sup>. As atividades coletivas foram duas conferências proferidas por pesquisadoras estrangeiras<sup>13</sup> e duas sessões especiais, para apresentação de trabalhos mais densos e polêmicos.

O número de painéis somou 128 onde 21 (~16,5%) tiveram o laboratório didático como tema, que em relação ao EPEF anterior não representa um aumento significativo. Categorizados em nosso referencial, encontramos 3 na categoria “Proposições”, todos completos em suas informações relativas a referencial teórico. Na categoria “Prescrição Experimental”, 3 trabalhos sinalizam o referencial teórico e autor e dois sem informação. “Técnica de Construção” registrou um trabalho com referencial teórico e na categoria “Mídia” encontramos 8 trabalhos, 4 assinalando o referencial e autor e outros dois sem referencial mas indicando autor.

---

<sup>12</sup> (1) Filosofia e História da Ciência: implicações e decorrências para o ensino de Física. (2) Formação Inicial e Continuada de Professores para a área de Física e de Ciências; (3) Representações e Cognição: Relação entre linguagem e formação de conceitos; (4) Inovações Curriculares e o Ensino de Física: Fundamentos e Avaliação; (5) Inovações Didático-Pedagógicas para o ensino de Física e (6) A Ciência e a Física em espaços não formais de Ensino.

<sup>13</sup> Maria Pilar Jiménez-Aleixandre, da Universidade de Santiago de Compostela/Espanha fez a conferência “Onde vai a pesquisa em didática das ciências: estudos dos discursos na aula” e

A Tabela 3 fornece uma visão geral das diversas atividades desenvolvidas nos vários EPEFs e mostra a evolução crescente do número de trabalhos apresentados. Em oito anos, do terceiro ao quarto encontro, o percentual de trabalhos aumentou cerca de 400%. A Tabela 4 registra os trabalhos relativos ao laboratório didático e a respectiva distribuição nas categorias de análise.

**TABELA 3**

**REGISTRO DAS ATIVIDADES E TRABALHOS  
NOS EPEFs**

Esta tabela registra todas as atividades que constam oficialmente do programa dos EPEFs – ENCONTRO DE PESQUISADORES EM ENSINO DE FÍSICA

Foram utilizadas as seguintes abreviações:

- **Conf.** – refere-se às conferências apresentadas.
- **Palestras/debates** – registramos de forma acumulada as duas atividades, visto que muitas das palestras eram seguidas de debates.
- **Mesas redondas** – atividade que previa um coordenador e, em média, três convidados para apresentar o tema sob óticas diferentes.
- **Grupos de trabalho (GTs)** – Grupos de trabalho
- **Painéis e Comunicação Oral** – Apresentação de trabalhos na forma de painel ou comunicação oral.
- **P. Atas** – O documento base para análise foram as Atas de cada EPEF, e a coluna informa o número de páginas de cada documento.

**TABELA 3**

	Confer.	Palestras Debates	Mesa Redonda	Grupo de trabalho	Painéis Com. Oral	P. Atas
III (1990)		2		12	31	212
IV (1994)		4		4	94	154
V (1996)			3	4	112	683
VI (1998)	2	2			128	399
<b>TOTAIS</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>20</b>	<b>365</b>	<b>1448</b>

Tabela 4 – EPEFs

Registro dos trabalhos relativos ao laboratório e sua distribuição por categorias

	TOTAL GERAL	TOTAL EXPERIM.	PROPOSIÇÃO			PRESCRIÇÕES			TÉCNICA DE CONSTRUÇÃO			MÍDIA			OUTROS				
			RS	RN	AN	RS	RN	AN	RS	RN	AN	RS	RN	AN	RS	RN	AN		
III EPEF	31	6	AR	AN	AN						1	1	1			1		1	
IV EPEF	94	18			3														
V EPEF	112	12			4		2												
VI EPEF	128	21			3		3		2	1			4			2		2	
<b>TOTAIS</b>	<b>365</b>	<b>57 (~16%)</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

RS; Referencial teórico explícito      RN: Referencial teórico ausente

AR: Autor referenciado                  AN: Autor não referenciado



### 3.20 - Análise dos trabalhos dos EPEFs.

Antes de uma análise específica dos trabalhos sobre o laboratório didático apresentados nos EPEFs, faremos algumas considerações gerais sobre os dois eventos (SNEF e EPEF).

As Tabelas 1 e 3 refletem a evolução dos trabalhos apresentados nestes dois grandes eventos nacionais, ao longo de quase 30 anos. São cerca de 1300 trabalhos no total e 236 (~18%) sobre o laboratório didático. As tabelas 2 e 4, Categorias de análise, contabilizam apenas cinco trabalhos (2%) dos categorizados (ou 0,3% da totalidade dos trabalhos) que tratam da base teórica do uso do laboratório didático no ensino de Física. E apenas dois avançam em uma investigação que aponta uma análise epistemológica.

Os demais, categorizados dentro das Proposições, preconizam propostas metodológicas já fundamentadas, mas continuam sendo propostas metodológicas, sem questionar o papel do laboratório na relação didática. Outros se limitam a utilizar o laboratório como instrumento de pesquisa, particularmente no mapeamento de concepções alternativas ou mudança conceituais. Nesta mesma linha, ainda em caráter de investigação, servem-se dele para gerar “conflitos cognitivos.”

Nas demais categorias, mesmo que o trabalho se apresente com referencial teórico e autor explícitos, todos são unânimes em não contestar o papel do laboratório. De certa forma, é aceitável, porque estão situados em categorias que não consideram esta questão objeto de investigação. Pela quantidade de trabalhos nestas categorias, comparada com a de Proposições, percebe-se que a aceitação do laboratório no contexto do processo ensino-aprendizagem é tal que tudo ocorre como se fosse inerente e tácito ao próprio processo de ensino.

Revisitando os **1300** trabalhos apresentados desde o do I SNEF, com a atenção focalizada nos trabalhos relacionados ao laboratório didático, podemos afirmar categoricamente que o laboratório didático nunca foi alvo mais intenso

e profundo de investigação acerca de seu papel, sob o ponto de vista epistemológico. Se em algum momento chegou a ser questionado, o foi de forma esporádica, além de encontrar pouco eco entre a comunidade. Se fosse o contrário, isto se refletiria em um crescer de pesquisas mais críticas divulgadas nos eventos subseqüentes.

As colocações acima não devem ser interpretadas como rejeição ou abjeção da comunidade de investigadores em ensino de Física com respeito ao Laboratório. Ao contrário, o laboratório sempre foi prestigiado de uma forma ou outra; no entanto, *"O que observamos, em contrapartida, é que grande parte da produção veiculada pela literatura especializada, prioriza um recorte de investigação de natureza essencialmente metodológica, porém sem um conhecimento mais específico daquilo que se realiza no laboratório do ponto de vista da aprendizagem dos estudantes."* (Barolli & Villani,1998:38-grifo nosso) Portanto, não estamos sozinhos na crítica que se refere a uma quase que total ausência de discussão mais profunda quanto à fundamentação epistemológica do papel do laboratório didático.

Um dos dois trabalhos que refletem uma preocupação de análise mais epistemológica é o Detsch (1998). De forma simples, afirma que o *"objetivo do estudo foi compreender as concepções epistemológicas que permeiam a prática docente de professores que trabalham com laboratório de Física, analisando as diferentes dimensões dessas concepções, e situando-as no âmbito da realidade educacional e social"*. (Detsch, 1998:281) Mesmo que seu objetivo não caracterize uma preocupação específica ao laboratório, e sim ao entendimento dado a ele pelos docentes, vale pela análise relativa aos aspectos da construção do conhecimento (explícita a concepção de ensino construtivista e piagetiana) e como o papel do laboratório é entendido pelos docentes. Esclarece um ponto importante do vínculo vulgar entre laboratório e motivação, quando afirma que *"A motivação a que me refiro está ligada a uma necessidade, a um desafio que leva a uma superação"* (Detsch, 1998:282). Além disso, constrói uma argumentação procurando mostrar que o *"(...) trabalho no laboratório didático de física apresenta implicações educativas de caráter cognitivo"*.(Detsch,1998:282)

Quanto às concepções que permeiam a prática dos docentes investigados que utilizam o laboratório, Detsch (1998) fazendo uso de entrevistas não estruturadas verificou que os professores denotam uma “flutuação” entre posições, manifestando-se de forma ora empirista, ora interacionista. Entretanto, ambas concepções (para os entrevistados) refletem o mesmo sentimento de que a “... *atividade experimental é elemento fundamental, embora não suficiente, para que um aluno venha a ser não um receptáculo de teorias prontas, mas um agente efetivo na construção de seu próprio conhecimento.*” (Destch,1998:283), idéia que em essência também defendemos.

O segundo trabalho em questão, é um ensaio nosso (Pinho Alves,1998:152), onde analisamos o laboratório didático, independente da forma como se oferece à luz da Transposição Didática (Chevallard, 1985). Nosso questionamento é dirigido à questão de que: “ *Se o conhecimento a ensinar sofreu uma transformação sistematizada e compartilhada por uma certa comunidade, o laboratório didático apenas foi objeto de alguma transformação ou agregado ao processo de ensino sem maiores cuidados*”. Na nossa linha de análise, procuramos apontar para um possível diagnóstico das causas pelas quais o laboratório didático não é amparado por razões que justifiquem sua inclusão no processo de ensino, como também aponta para uma possível forma de construir tal justificativa. O resultado final dessa investigação está refletido no presente trabalho.

Estes seriam os dois trabalhos relativos ao laboratório didático que explicitam de maneira mais clara uma análise de ordem epistemológica sobre o papel do laboratório no processo ensino-aprendizagem. É importante alertar que são trabalhos recentes, indicando que o eixo de análise do laboratório está se libertando das prescrições metodológicas.

Outro trabalho que também chama a atenção é o de Mattasoglio & Villani (1998), que tiveram seu trabalho categorizado como Proposição Teórica e se dedicam a analisar os cursos de laboratório do 3º grau, motivados pelo fato de que a “(nossa)... *vivência nestes cursos, mostrou que este conteúdo é de difícil entendimento e sem utilidade aparente para o aluno, que o vê como um*

*“fardo” que satisfaz interesses do professor.” (Mattasoglio & Villani,1998:158). Os autores listam uma série de características no contexto do laboratório:” (a) não problematização dos experimentos; (b) pouca oportunidade de experimentação e investigação oferecidas aos alunos que se limitam a seguir roteiros elaborados; (c) a terminalidade que cada experimento tem em si, com seu resultado final aparecendo como definitivo e absoluto; (d) a falta de exploração do laboratório didático como ambiente de troca de informações e intercâmbio entre os grupos; (e) apresentação de grande quantidade de novidades para o aluno, no curto intervalo de tempo de uma aula... ”. Procurando suprir estas dificuldades, propõem o Laboratório de Rodízio, estruturado na passagem de cada grupo pelo experimento, agregando novas informações às feitas coletadas pelo grupo anterior, assim como o refinamento de dados e introdução de melhorias. A conclusão da proposta indicou sucesso, de acordo com os parâmetros teóricos estabelecidos, como (a) contrato didático; (b) diagnóstico; (c) problematização e (d) transferência pedagógica que, analisados individualmente foram garantidos pela respectiva proposta. Apenas o diagnóstico *“que consiste em levantar as justificativas, que sustentam as concepções alternativas dos alunos e, mais em geral, seus traços que influenciam a tendência ou resistência às mudanças - não parece ter sido privilegiado explicitamente pelo professor ao longo do curso.”**

Acreditamos que tenha sido possível delinear uma idéia de como se situava o laboratório didático como objeto das investigações apresentadas nos principais eventos de ensino de Física em nosso país. Aceitando a premissa de que os simpósios e Encontros refletem o pensamento de nossa comunidade, e que esta, ao discutir o laboratório se ancora em autores da área, brasileiros ou estrangeiros, podemos inferir que a visão tradicionalista da função comprovatória de leis e fenômenos é quase que uma “universalidade”. Visão que traduz uma concepção de ensino de base epistemológica equivocada, como mostraremos mais adiante.

A lição dos projetos estrangeiros foi didática e fez refletir, daí os projetos nacionais. Com isto, queremos justificar o porquê de detalharmos as “nossas investigações”. Mesmo referenciadas em autores estrangeiros,

contemplam as adaptações para nosso país, sem no entanto, alterar o quadro teórico adotado pelo autor de referência.

### 3.21 - O I ENPEC – Um evento novo (1997)

Em 1997 foi realizado o I ENPEC – I Encontro Nacional de Pesquisadores em Ensino de Ciências, na cidade de Águas de Lindóia (SP), que “teve por objetivo reunir pesquisadores em Ensino de Ciências, particularmente nas áreas de Física, Química e Biologia, com a finalidade de discutir trabalhos de pesquisa recentes e a criação de uma Associação Brasileira de Pesquisa em Ensino de Ciências”. (Atas I ENPEC, 1997: Apresentação). Ambos os objetivos foram alcançados. Foi fundada a Associação e perto de 150 pesquisadores participaram com a apresentação de 140 trabalhos<sup>14</sup>.

Borges (1997) apresenta uma investigação densa e profunda sobre “O papel do laboratório didático no ensino de Ciências”. O autor faz uma apreciação relativa ao papel do *laboratório tradicional* e suas práticas mais comuns chamando atenção que “As principais críticas que se fazem a estas atividades práticas é que elas não são efetivamente relacionadas aos conceitos físicos; ... não são relevantes do ponto de vista dos estudantes, já que tanto o problema como o procedimento já estão previamente determinados”. (1997:2)

Em sua análise, com a qual concordamos incondicionalmente, indica os principais fatores de insucesso ou má interpretação do laboratório, entre eles a postura equivocada quanto à natureza da ciência por parte dos professores, o que leva o laboratório às rotinas de exercícios de observações, coleta de dados e comprovação entre outras de caráter mais manipulativo. Constrói suas críticas mostrando os pontos incoerentes do laboratório tradicional, mas não descarta a possibilidade dos laboratórios deterem um papel importante no ensino, pois se assim se fizer estaremos destituindo a ciência do seu contexto, restringindo-a a um amontoado de fórmulas e definições.

---

<sup>14</sup> Não será feita tabulação por ser o primeiro.

Na seqüência, examina os “objetivos implícitos do laboratório” que, tradicionalmente são associados, ao laboratório tanto pelos professores como pelos estudantes, tecendo seus comentários. Analisa propostas alternativas para o laboratório didático de diferentes autores e encaminha sua recomendação, na direção de um laboratório baseado na organização de atividades como investigações ou problemas práticos que os alunos devem resolver. Explicitando, é proposto um problema do tipo fechado ou aberto, sendo que no primeiro o professor é o responsável pelo fornecimento de toda a situação, cabendo ao aluno somente colher dados e tirar soluções. No segundo, problema aberto, cabe ao estudante a responsabilidade desde a proposição do problema até as conclusões, assim como todas as etapas intermediárias de procedimentos, dados etc. Ficam subentendidas, neste último caso, etapas com ciclos de realimentação. Exemplos são oferecidos objetivando dar validade à proposta. Por outro lado, refaz toda a linha da proposta através do uso de computadores, mostrando o potencial da ferramenta e de suas possibilidades com grande detalhamento.

O trabalho apresenta duas partes: a primeira procura, através de uma análise “epistemológica” do laboratório, mostrar uma série de equívocos que se propagaram ao longo do tempo. Na segunda parte, apresenta sua proposta fundamentada em uma concepção de ensino construtivista, onde as atividades de laboratório devem ser direcionadas pelas concepções alternativas dos alunos, oferecendo exemplos através de equipamentos e do uso de computador.

O avanço analítico realizado por Borges (1997) é incentivador à medida que aponta, na primeira parte, para necessidade de esclarecer os equívocos e elaborar as justificativas teóricas do papel do laboratório. No momento, cabe a demarcação de que o papel do laboratório ainda não está bem claro e interpretado no processo de ensino em Física e novas investigações se fazem necessárias.

## 4. OS PERIÓDICOS NACIONAIS

Além dos trabalhos apresentados nos eventos que acabamos de ver, uma parcela dessa produção também foi publicada nos periódicos nacionais da área, mais tradicionais na área de ensino de Física: *Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF)*, publicada pela Sociedade Brasileira de Física e o *Caderno Catarinense de Ensino de Física (CCEF)*, publicação do Departamento de Física da UFSC.

Em ambas as publicações, adotamos a mesma metodologia já utilizada para a classificação dos artigos, tendo como tema base o laboratório didático. Posteriormente, foram aplicadas as categorias e subcategorias já utilizadas. Vamos nos furtar de apresentar uma análise percentual detalhada de cada categoria, como aquela feita nos trabalhos dos eventos, não só pela exaustão mas pela monotonia implícita. Nos restringiremos a comentários mais gerais. As tabelas deixam suficientemente claro o rumo das conclusões.

### 4.1 - *Revista Brasileira de Ensino de Física*

A RBEF<sup>15</sup> é pioneira na publicação de matéria para o ensino de Física no Brasil. É interessante registrar que, antes de seu lançamento em 1979, os trabalhos que tratavam do ensino de Física, eram publicados como uma seção da *Revista Brasileira de Física*, cujo o primeiro número data de 1971. Nesta época, os trabalhos eram relativos a experiências pedagógicas ou proposições metodológicas, não registrando nenhuma referência maior relativa ao laboratório. Assim sendo, elegemos o primeiro número da REF para os registros e aos quais aplicamos nossas categorias de análise. A tabela foi acrescida de quatro colunas iniciais, assim convencionadas:

1<sup>a</sup> coluna: ANO – ano de publicação

2<sup>a</sup> coluna: Vol. - volume correspondente ao ano

3<sup>a</sup> coluna : No. – no. da publicação

4<sup>a</sup> coluna: no. de artigos – número de artigos publicados

---

<sup>15</sup> Inicialmente intitulada de *Revista de Ensino de Física*, publicada pela Sociedade Brasileira de Física.

Os dados fornecidos pela tabela da RBEF também não oferecem resultados animadores no tocante à esperança de que o laboratório didático tenha um tratamento que extrapole as tradicionais análises que revertem em propostas metodológicas, uma nova abordagem de tratamento de um dado experimento ou ainda, seu uso como instrumento de pesquisa para concepções alternativas ou espontâneas.

#### **4.2 - Caderno Catarinense de Ensino de Física - CCEF**

CCEF é uma publicação que surgiu em 1984 através do esforço de alguns professores do Departamento de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, ligados à área de Ensino de Física. Em seu primeiro número, expõe seus objetivos da seguinte forma: *“Nosso grande objetivo é criar um instrumento que permita a todos os Professores de Física de nosso Estado, em especial aos do 2º Grau, interagirem através da troca de experiências didáticas, artigos de divulgação científica, sugestões de experimentos e política educacional.”* (CCEF, 1984: Editorial - grifo dos editores). Hoje o CCEF é uma revista internacional e arbitrada.

Dentre as seções que compõe o CCEF, uma delas se tornou tradição: é a do “Laboratório Caseiro”. Aqui, é proposta a construção de equipamentos experimentais com material alternativo e de baixo custo. Esta seção dentro de nossas categorias, se enquadraria em Técnicas de Construção – Sem referencial teórico – Autor não referenciado. Estamos frisando esta seção devido à sua peculiaridade, para informar que ao longo da análise dos artigos ela não foi computada como artigo e nem objeto de análise, deste modo a tabela elaborada com os artigos do CCEF e respectiva categorização, não contempla o Laboratório Caseiro.

Os trabalhos publicados no CCEF não fogem à regra dos analisados nas diferentes fontes já citadas. As mesmas conclusões anteriores continuam válidas para os artigos sobre laboratório didático.

Com a análise dos trabalhos e artigos, realizada nas seções anteriores,



onde nosso intuito era mostrar que a linha predominante das investigações e pesquisas da área de ensino de Física, relativo ao papel do laboratório esteve mais ligado a proposições metodológicas, técnicas de construção, avaliação etc. Ao mesmo tempo demonstrava a ausência, com as exceções já comentadas, de análises e críticas mais fortes relativas ao seu real papel ou de sua função no ensino de Física.

As publicações estrangeiras, não foram alvo desse tipo de consulta tão detalhada e exaustiva com a que acabamos de mostrar com relação a produção brasileira publicada em nosso país. Deixamos as referências estrangeiras para análise mais específica nos capítulos finais. Nosso intuito foi marcar o pensamento brasileiro relativo ao nosso tema de investigação.

Tabela 6a

CCEF – CADERNO CATARINENSE DE ENSINO DE FÍSICA

Registro dos trabalhos relativos ao laboratório e sua distribuição por categorias

ANO	VOL	No.	No. de artigos	PROPOSIÇÃO			PRESCRIÇÕES			TÉCNICA DE CONSTRUÇÃO			MÍDIA			OUTROS					
				RS			RN			RS			RN			RS			RN		
				AR	AN	AR	AN	AR	AN	AR	AN	AR	AN	AR	AN	AR	AN	AR	AN	AR	AN
1984	1	1	6																		
1985	2	1	6																		
		2	7																		
		3	6																		
1986	3	1	7																		
		2	6																		
		3	5	1						1											
1987	4	1	7																		
		2	6																		
		3	9																		
1988	5	1	7	1						1											
		2	6	1																	
		3	7																		

RS: Referencial teórico explícito

AR: Autor referenciado

RN: Referencial teórico ausente

AN: Autor não referenciado



Tabela 6c

CCEF – CADERNO CATARINENSE DE ENSINO DE FÍSICA

Registro dos trabalhos relativos ao laboratório e sua distribuição por categorias

ANO	VOL	No.	No. de artigos	PROPOSIÇÃO			PRESCRIÇÕES			TÉCNICA DE CONSTRUÇÃO			MÍDIA			OUTROS			
				RS	AN	RN	RS	AN	RN	RS	AN	RN	RS	AN	RN	RS	AN	RN	
1993	10	1	7																
		2	7																
		3	7								1								
1994	11	1	7			1										1			
		2	6									1							
		3	4																
1995	12	1	5																
		2	6																
		3	4																
1996	13	1	6																
		2	5			1													
		3	5																

RS: Referencial teórico explícito

AR: Autor referenciado

RN: Referencial teórico ausente

AN: Autor não referenciado

Tabela 6d

CCEF – CADERNO CATARINENSE DE ENSINO DE FÍSICA

Registro dos trabalhos relativos ao laboratório e sua distribuição por categorias

ANO	VOL	No.	No. de artigos	PROPOSIÇÃO			PRESCRIÇÕES			TÉCNICA DE CONSTRUÇÃO			MÍDIA			OUTROS		
				RS	AN	RN	RS	AN	RN	RS	AN	RN	RS	AN	RN	RS	AN	RN
1997	14	1	5															
		2	8	1							1							
		3	5															1
1998	15	1	5							1								
		2	6															
		3	5							1								
<b>TOTAL</b>			<b>265/62</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>7</b>		<b>27</b>				<b>2</b>		<b>4</b>	

<b>TOTAIS EXPERIMENTAIS</b>	<b>62 (23%)</b>	<b>19 (~30%)</b>	<b>10 (~16%)</b>	<b>27 (~44%)</b>	<b>6 (~10%)</b>
-----------------------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	-----------------

RS: Referencial teórico explícito

AR: Autor referenciado

RN: Referencial teórico ausente

AN: Autor não referenciado

As tabelas referentes ao registro dos trabalhos publicados na *Revista Brasileira de Ensino de Física* foram omitidas por sua extensão e por não oferecerem novos elementos para análise além de se tornarem cansativas à leitura.

## 5. BIBLIOGRAFIA DO CAPÍTULO 2

- ALVARENGA, B. Discurso de agradecimento Atas do XII SNEF. Belo Horizonte/MG1997,p.15-23.
- ATAS I ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências. Org. Marco Antonio Moreira et al. 1997.
- AZEVEDO, J.P. Laboratório através de problemas, em conexão com o livro texto, num curso de Física Básica. Atas do III SNEF. São Paulo 1976,p.467.
- BAROLLI, E. & VILLANI, A Laboratório Didático e subjetividade. Resumos VI EPEF, Florianópolis/SC, 1998, p. 38-41.
- BASTOS, F.P. e FIGUEIREDO, L.F. A instrumentação para o ensino de Física enquanto elemento catalisador da reelaboração do conhecimento. . Atas do X SNEF. Londrina/Pr. 1993. P. 361
- BORGES, AT. O papel do laboratório no ensino de ciências. Atas do I ENPEC, Águas de Lindóia/SP, 1997, p. 2-11.
- BOURES, L.C.S. & CESAR, R. O laboratório do curso personalizado de Física 3-4 (1975) no IFUSP . Atas do III SNEF. São Paulo 1976,p.457.
- BUCHWEITZ, B. & JAMETT, H. Análise do Currículo de experimentos de laboratório de Física. Atas do VI SNEF. Niterói/RJ. 1985, p. 225-226.
- CHAVALLAR, Y. La transposition didactique. Grenoble: La pensée Sauvage, 1985.
- CORDOVA, R. S. et al. Simulación computacional de experiencias de fisica moderna CCEF, Florianópolis, v.9, no. 2: p.147-151, ago. 1992.
- COSTA, R.Z. & VILLANI, A. O envolvimento dos estudantes em um laboratório didático de Física. Atas do V EPEF Águas de Lindóia/SP p.50-58.
- DETSCH, J. O ensino de física e o uso de material concreto: concepções epistemológicas. Resumos VI EPEF, Florianópolis/SC, 1998, p. 281-283.
- ELIA, F.M Ensino não experimental de uma Ciência experimental um problema cultural brasileiro. VI SNEF. Niterói/RJ, 1985, p.91.
- ELIA, F. M. Uma experiência de doutoramento em ensino de Física no exterior. V SNEF. Belo Horizonte/MG1982, v.2,p.125.

- FARIAS, A J.O A construção do laboratório na formação do professor de Física. CCEF, Florianópolis, v.9, no. 3: p.245-251, dez. 1992.
- FIGUEIREDO NETO, A. MISSOMOTO, M.C. & FERREIRA, N.C. Análise piagetiana de um densímetro. Atas do VI SNEF, Niterói, RJ, 1985, p. 210 – 211.
- GOMES, A E. Q. & ALVARES, B. A. Inovações nos laboratórios de Física Geral no Instituto de Ciências Exatas da UFMG Atas do III SNEF, São Paulo, 1976. p.451-456.
- GOMES, J.B. A pesquisa do ponto de vista de um professor do 2º grau. Atas do V SNEF. Belo Horizonte/MG1982, v.2,p.120.
- GONÇALVES LEDO, RA, de AZEVEDO, CA & SANTIAGO , AJ Simplex experimento para o estudo de Física o exemplo do batimento. Atas IX SNEF. São Carlos/SP 1991,p. 287-290.
- GONÇALVES LEDO, RA, de AZEVEDO, CA & SANTIAGO , AJ. Simplex experimentos para o estudo de ressonância. Atas IX SNEF. São Carlos/SP 1991,p. 312-314.
- HARTER, W.G. Colisões: uma extraordinária amplificação de velocidade. Atas do III SNEF, São Paulo, 1976. p.416.
- HENNIES, C. E. et al. Nova forma de aprender Física Experimental Atas do II SNEF, Belo Horizonte/MG 1973. p. 95.
- HOSOUME, Y. Funções do laboratório no ensino de Física. (Debate)Livro de Resumos do VII SNEF, São Paulo, 1987, p.19.
- LIMA, F.R.R. Pêndulo simples: um método simples eficiente para determinar "g" uma solução para o segundo grau. CCEF, Florianópolis, v.1, no. 1: p.26-29, dez, 1984.
- LUNAZZI,J.J. A óptica de Fourier e a filtragem de imagens no laboratório de ensino. Atas do V SNEF, Belo Horizonte, MG, 1982, p.15-18
- MATTASOGLIO NETO, O & VILLANI, A Análise de um curso de laboratório didático. Resumos VI EPEF, Florianópolis/SC, 1998, p. 158-160.
- PEREIRA, O S. SAAD: uma sociedade estudantil de Astronomia de Diadema/SP. Atas do IX SNEF, São Carlos/SP, 1991, p.299-305
- PINHO ALVES, J. A transposição didática e a atividade experimental. Resumos VI EPEF, Florianópolis/SC, 1998, p. 152-154.



- QUEIROZ, G.P. & TEIXEIRA, S.K. Concepções de realidade e o ensino das Físicas Clássica e Quântica. Atas do III EPEF, Porto Alegre/RS, 1990, p.181-182.
- QUEIROZ, G.P. Capacitação docente de 1º e 2º graus e Universidade. Atas do X SNEF, Londrina/Pr, 1993, p. 27.
- RAMOS, E.M.F. & FERREIRA, N.C. O desafio lúdico como alternativa metodológica para o ensino de Física. Atas X SNEF. Londrina/Pr 1993,p. 374-378.
- SCHMIDT, I. P. & KAWAMURA, M.R. O papel do laboratório no ensino de Física Atas do X SNEF. Londrina/Pr. 1993. P. 366-368
- SOUZA BARROS, S.L. Funções do laboratório no ensino de Física. (Debate)Livro de Resumos do VII SNEF, São Paulo, 1987, p.20.
- SOUZA BARROS, S.L. Retrospectiva dos encontros anteriores e da pesquisa em ensino de Física no Brasil. Atas do III EPEF, Porto Alegre/RS, 1990, p.13-19.
- TABACNIKS,M. Funções do laboratório no ensino de Física. (Debate)Livro de Resumos do VII SNEF, São Paulo, 1987, p.20.
- TAVEIRA, A M.A et al. Simple demonstração do movimento de projeteis em sala de aula. CCEF, Florianópolis, v.9, no. 1: p.38-44, abr. 1992.
- VEIT, E.A et al. O efeito fotoelétrico no 2º grau via computador. CCEF, Florianópolis, v.4, no. 2: p.68-88, ago. 1987.
- VICENTINI, m. b. & Mammana, A P. Radiador de corpo negro V SNEF. Belo Horizonte/MG1982, v.1,p.27-52.
- VILLANI, A Pesquisa em ensino de Física: Problemas e perspectivas. V SNEF. Belo Horizonte/MG1982, v.2,p.128.
- WELTNER, K et al. Demonstração das oscilações forçadas e da curva de ressonância em classe. Atas do XII SNEF, Belo Horizonte, MG, 1997, p.475-479.
- WELTNER, K et al. Mesa girante: experimentos diversos. Atas do XII SNEF, Belo Horizonte, MG, 1997, p.480-484.

## CAPITULO 3

### *EXPERIÊNCIA E EXPERIMENTAÇÃO*

#### 1. INTRODUÇÃO

O pensamento é o grande diferencial do Homem dentre os seres do mundo que o rodeia. Este atributo o permite modificar e alterar seu entorno, seja no imprevisto de uma circunstância que se apresente ou no premeditado de uma situação que lhe interesse, na busca do entendimento das coisas que o cercam.

A frase acima, lida e interpretada sem o devido cuidado, pode nos fazer resvalar por uma área movediça e de seara alheia. O entusiasmo fácil ou a desatenção facilmente remetem a discussões conceituais no campo da Filosofia ou no campo da História. Nossa formação não nos autoriza a travar debates nestes campos, mas nos permite ali buscar auxílio na argumentação do que será objeto do presente capítulo.

O pensamento que desenha e aponta o interagir do homem com o seu entorno,, estabelece um processo de cognição, cujo produto é chamado de “**conhecimento**” ou “**saber**”. Para efeito de nossos objetivos, vamos admitir que esta seja uma definição “livre” de conhecimento, para possibilitar o estabelecimento de um substrato, uma espécie de ponto de partida. O conhecimento, construção própria e exclusiva do homem, se manifesta por meio das diferentes idéias que procuram demonstrar seu entendimento relativo ao mundo. - “*As diferentes formas do conhecimento humano – senso comum, científico, teológico, filosófico, etc.- mesmo sendo incorreto ou parcial, ou expressando posições antagônicas, exprime condições materiais de um dado momento histórico.*” (Andery, 1988:15) - e a estas formas de conhecimento - “*O conhecimento da natureza é apenas uma parte do conhecimento em geral, que pertence por sua vez à filosofia” (Rosmorduc, 1985:17 - grifo nosso).*

Das diferentes maneiras de construir o conhecimento, o proceder humano se manifesta em função de seus objetivos e das concepções a cerca de si e do mundo. Isto poderá fazer com que uma ou mais das diferentes formas de conhecimento citadas tenham sua aceitação e duração limitadas. Dentre as diferentes formas de conhecimento, vamos nos ater a discutir no presente trabalho aquela denominada conhecimento vulgar ou senso comum e aquela denominada conhecimento científico.

O conhecimento vulgar, também denominado de espontâneo ou senso comum, por sua flexibilidade e liberdade conceitual, já oferece motivo para polemizar quanto à “atitude processual” que se faz presente no momento de sua construção. A atitude processual a que nos referimos está muitas vezes ligada à interpretação das palavras “*experiência*” e “*experimentação*”, cujo significado determina procedimentos de maior ou menor grau de liberdade, com o controle das interações e do objeto de seu conhecimento. A liberdade especulativa da experiência se contrapõe à rigidez metodológica da experimentação, como veremos ao longo da explanação.

↙ A experiência está fortemente ligada ao cotidiano do ser humano, às suas interações mais livres e mais descomprometidas formalmente com o seu entorno sócio-ambiental. Por outro lado vê-se que a experimentação está mais ligada ao homem investigador, aquele que busca organizar seus pensamentos na construção de elementos que lhe forneçam respostas sobre as coisas que o rodeiam e sobre si mesmo. A experiência é um fazer mais livre, um proceder fortemente guiado pela intuição no especular das coisas. A experimentação é um fazer elaborado, construído, negociado historicamente, que possibilita através de processos internos próprios estabelecer “verdades científicas”. *“Assim (...) passaram [os investigadores] a dar importantes contribuições para a nova tendência ao experimentalismo, pois um dos traços característicos da revolução científica é a substituição da “experiência” evidente por si mesma que formava a base da filosofia natural escolástica por uma noção de conhecimentos especificamente concebidos para esse propósito.”* (Henry, 1998: 36)

Nosso alvo será a experimentação como ferramenta utilizada no processo de construção do conhecimento científico. Faremos uso de pequenas incursões na História e a na Filosofia, à procura da argumentação que a constituiu como objeto historicamente construído, de uso exclusivo para a construção do conhecimento científico. A meta é traçar a trajetória da experimentação (e do método experimental) ao longo da História da Ciência; mostrando que a experimentação tem sua história intimamente ligada à maneira como foi interpretado o procedimento de construção do conhecimento científico. Neste sentido, vamos resgatar os intelectuais ou filósofos que contribuíram na formatação da experimentação, acrescentando elementos ao proceder experimental ou dando diferentes interpretações filosóficas de sua função para alcançar o conhecimento. Nossa intenção é deixar clara, ao longo do texto, a associação de que a experimentação é um proceder “profissional”, isto é, construído pelos intelectuais que se dedicaram à produção do saber científico. Não será objetivo do presente trabalho discutir critérios de validade da experimentação no sentido epistemológico ou no contexto da validação do conhecimento obtido por meio dela, nem se a mesma reflete total ou parcialmente a realidade. Nosso recorte consistirá exclusivamente em acompanhar como o empírico foi tratado nas diferentes concepções do conhecimento, marcando as diferentes interpretações e as sucessivas modificações no papel que o empírico representa no processo de construção do conhecimento. Será uma análise “externalista” da experimentação, que não colocará em cheque o conhecimento por ela construído.

O jovem adolescente, personagem alvo do fenômeno educativo, quando é apresentado à Ciência e ao conhecimento científico, tem apenas como bagagem sua concepção de mundo, construída, de modo geral, à sombra dos conhecimentos ditados pelo senso comum. Isto significa que o instrumento processual de seu domínio para elaborar explicações a respeito do mundo físico que o rodeia, se restringe, predominantemente, à experiência livre e especulativa permeada pela tradição sociocultural de seu meio ambiente. No seu contato com a Ciência, lhe é apresentada à experimentação, não como ferramenta construída e utilizada pela Ciência no processo de construção de


novos conhecimentos, mas como instrumento comprovatório daquele conhecimento científico ensinado.

Nosso primeiro objetivo é mostrar que a experiência é um atributo inerente do ser humano e responde por suas interações com o meio ambiente. É elemento presente na composição das experiências pessoais do ser humano, assim como se constitui em fonte de dados para a elaboração do senso comum. Outro objetivo é apresentar a experimentação como uma atividade historicamente construída pelos investigadores para uso exclusivo na construção do conhecimento científico. Ambas, experiência e experimentação, são objetos/ferramentas utilizadas para construir conhecimentos (senso comum ou científico). Conhecimentos diferentes na estrutura e na validade, que se constituem a partir de motivações e de critérios diferentes, mas que possuem pontos de intersecção comuns manifestados nos processos de produção individuais.

## 2. ELABORANDO O SENSO COMUM

*“Nós não vemos as coisas como elas são!*

*Nós vemos as coisas como nós somos !”*

Foge-nos, no momento, onde encontramos a frase acima, mas seu autor foi extremamente feliz. Parece refletir, em nosso entendimento, com muita propriedade a sensação e interpretação que cada ser humano tem em relação às “coisas que o cercam”. Como tal, implica que a mesma “coisa”, a princípio, possa ter inúmeras interpretações. 

A convivência dos seres humanos não determina uma uniformidade de pensamento, porém leva à necessidade de, pelo menos, aproximar interpretações relativas aos diferentes acontecimentos ou coisas. Dessa forma, estabelece-se, quase que obrigatoriamente, uma espécie de negociação que adota como referência um padrão comum para o diálogo, os sentidos e as sensações. O objetivo dessa negociação é diminuir o grau de referência individual, estabelecendo interpretações comunitárias aceitas coletivamente. *“Este mundo é aquele que partilhamos com os indivíduos que nos rodeiam e mesmo com aqueles que não nos são tão próximos. Ao nos referirmos a coisas do mundo temos certeza de sermos entendidos, pois sabemos que nossos interlocutores partilham do mesmo mundo que nós, inclusive atribuindo aos objetos que neles existem os mesmos nomes e significados.”* (Pietrocola, 2000) . O produto dessas negociações compõe um estoque de informações denominado de senso comum, conhecimento vulgar. O senso comum tem por princípio aceitar que diferentes pessoas, frente ao mesmo fenômeno, sempre vêem a mesma coisa.

O quadro exposto acima é mais a composição de uma espécie de pano de fundo que servirá de referência para gerar uma discussão sobre o senso comum. O ser humano em seu cotidiano, desde os inícios dos tempos, precisou realizar ações e agir sobre o seu meio ambiente, pelos mais diferentes motivos, desde a mera sobrevivência até a competição com seus semelhantes. Enfim, é relativamente fácil imaginar algumas das inúmeras situações com as quais nossos antepassados se confrontaram. Neste ambiente, onde os mais variados

elementos, influências e circunstâncias se fizeram/fazem presentes no proceder diário do ser humano, é que se constróem as idéias que irão compor o senso comum. A aceitação comunitária dessas idéias as torna “verdades” que passam a ser transmitidas ao longo das gerações.

O conhecimento que compõe o ideário do senso comum é a grande produção humana, no sentido de constituir-se de explicações e comportamentos que se incorporaram ao longo do tempo, tornando difícil seu questionamento. Aceitar novas verdades significa alterar formas de pensamento e valores coletivamente aceitos. Este processo é extremamente lento e por vezes leva séculos. O senso comum gera uma verdadeira barreira de idéias que se reforçam mutuamente que, por sua vez, acabam elaborando “verdades” que tendem a se perenizar. Ainda hoje, por certo, encontraremos pessoas que duvidam da chegada do homem à Lua ou que não acreditam que a Terra gira ao redor do Sol.

Falar do senso comum per si é algo bastante difícil, pois sua existência e complexidade tornam-se perceptíveis por haver um conhecimento científico, entre outros conhecimentos formais, para efeito de comparação. Nesta perspectiva é então, possível através de contraste, elaborar uma espécie de definição do que se entende por conhecimento do senso comum. Uma definição interessante é a que diz que o senso comum “... é um conjunto de informações não sistematizadas que aprendemos por processos formais, informais e, às vezes, inconscientes, e que inclui um conjunto de valorações. Essas informações são, no mais das vezes, fragmentárias e podem incluir fatos históricos verdadeiros, doutrinas religiosas, lendas ou parte delas, princípios ideológicos às vezes conflitantes, informações científicas popularizadas pelos meios de comunicação de massa, bem como a experiência pessoal acumulada. Quando emitimos opiniões, lançamos mão desse estoque de coisas da maneira que nos parece mais apropriada para justificar e tornar os argumentos aceitáveis.” ( Matallo Junior, 1988:15)

Certamente não é uma “definição” simples, mas não há de se questionar a tentativa de representar a complexidade e amplitude desse conhecimento. As

entrelinhas da definição deixam entrever que o senso comum dispensa o espaço escolar para que seja “construído” pelo sujeito. Pode parecer trivial e óbvia esta constatação, mas é deveras importante e precisa ser considerada pelo espaço escolar, quando esse recebe o “aprendiz” que será submetido ao processo de ensino-aprendizagem do conhecimento científico.

Este é um ponto que há de se considerar, pois o surgimento de conflito é eminente no ambiente escolar quando o conhecimento científico for colocado frente a frente ao conhecimento vulgar. A escala de valores, os princípios religiosos e místicos, as idéias prévias sobre o mundo, o conflito cognitivo das diferentes formas de pensar, enfim o caldo cultural que compõe a amálgama do senso comum, no qual este aprendiz está imerso, se fará presente criando dificuldades na aceitação dos princípios que regem a ciência.

Embutido nestes conflitos, está presente o exercício individual da experiência pessoal e seu papel na construção do conhecimento espontâneo ou vulgar. A experiência pessoal ou simplesmente experiência é um ato solitário que traduz em informações, em geral qualitativas, as opiniões decorrentes das interações sensitivas do sujeito com o objeto. Resumindo, a experiência é produto do mais natural e simples ato empírico que se faz presente no momento de especulação, seja [espontâneo ou premeditado.]

Este acervo empírico, acumulado ao longo da existência de cada indivíduo, possibilita a construção de sua história de vida, sua visão de mundo e de suas estruturas mentais, compondo aquilo que também se denomina de experiências pessoais. Estas últimas representam os conhecimentos próprios que incluem aspectos individuais como a afetividade, as lembranças, as preferências, e aspectos coletivos como a linguagem, os valores partilhados, os padrões de julgamento etc. Algumas características das experiências pessoais se mostram semelhantes ou são comuns entre os diferentes sujeitos, o que é plausível pois todos são da mesma espécie e interagem com o mesmo mundo de forma muito semelhante, concebendo uma mesma realidade. Estas semelhanças nos dão “ *a(...) a sensação de viver imersos num mundo real imediato e único, composto por objetos imutáveis e como o mesmo significado para mim e para*



os demais seres humanos.” (Pietrocola:2000) entendido para cada cultura ou nichos culturais.

Atribuir ou não algum valor ao senso comum no espaço escolar significa adotar concepções de educação, ensino e aprendizagem. Assumir o estudante como indivíduo, com sua história de vida e uma realidade própria, ambas fruto de sua interação social, ou negar esta história e realidade são atitudes que resultam em ações muito diferentes. Ao desconsiderar esse fato, optamos pelo tradicional, reprodutivista e conservador modelo da transmissão-recepção, onde o sujeito-estudante é figurado como uma "tábula rasa". Se, ao contrário, considerarmos o senso comum como parte da bagagem cognitiva do sujeito-estudante, estamos optando por uma concepção de educação que o considera sujeito- cognoscente, onde todo conhecimento é fruto de sua interação com o meio. Afinal conhecemos o mundo pela nossa interação com ele que, processada pelas experiências pessoais fornecem o substrato para elaborar nossas próprias explicações. Mesmo que ingênuas, distorcidas ou limitadas, são elas que irão oferecer o lastro intelectual para que novos conhecimentos sejam aprendidos. ✎

Esta última opção epistemológica recebeu, nos últimos anos, uma forte adesão por parte dos educadores, em particular os educadores investigadores dos fenômenos didáticos que ocorrem no espaço escolar. No momento em que o senso comum, conhecimento vulgar ou espontâneo é considerado como conhecimento construído pelo homem, leva à adoção de uma opção epistemológica e educacional (ou ensino), o construtivismo. A adoção de uma mesma opção epistemológica por parte dos investigadores, não eliminou controvérsias ou diferenças de interpretação sobre como ocorre o aprendizado do conhecimento científico e sua convivência ou substituição pelo senso comum. No momento, não é nosso objetivo entrar nesta discussão, mas deixar claro que o senso comum é um conhecimento construído de alguma forma pelo ser humano e é de suma importância quando se pensa em como ensinar Física/Ciência. Afinal, o senso comum é a fonte das interpretações equivocadas do estudante, quando este se defronta com o conhecimento formal.

Mortimer (1996), analisando as diferentes interpretações relativas ao construtivismo, empirismo e senso comum, critica alguns autores que revivem o empirismo, acreditando *“que é possível modificar e construir novas idéias a partir da experiência sensorial”* (Mortimer,1996:23). Sua crítica está direcionada àqueles de defendem a possibilidade de ocorrer uma mudança conceitual do estudante após o processo de ensino. O que configura um rompimento, por parte do estudante, com suas concepções iniciais e as concepções científicas. Para fortalecer sua crítica busca apoio em Matthews (1992) para reforçar que *“esse dar sentido ao nosso mundo, às nossas observações, às nossas experiências, a partir de nossas idéias corresponde essencialmente a uma epistemologia empirista e aristotélica de um mundo cujo conhecimento é essencialmente gerado no interior de um observador como um reflexo acurado dos objetos.”* (apud Mortimer,1996:24)

Aceitar a presença do senso comum como um corpo de conhecimento, com mecanismo próprio de construção, como participante do processo de ensino no espaço escolar, parece ser inevitável e, como já citamos, de extrema importância. Resta agora, segundo alguns autores, não fazer da estratégia sensorial, própria do senso comum, estratégia de ensino para a troca de valores. Segundo Osborne (1993:4 apud Mortimer), muitas das propostas de ensino construtivistas colocam *“uma ênfase considerável no valor da observação e da experiência direta, isto numa perspectiva empirista de aprender ciências, e não enfatizam suficientemente o processo de aquisição de novas estruturas para reinterpretar a experiência e transcender o pensamento de senso comum”*.

Estudos que oferecem propostas de ensino de Física de cunho metodológico também valorizam e alertam os professores sobre o senso comum, pois os *“(...) conhecimentos anteriores que ele (o aluno) já detém muitas vezes interferem na efetiva apreensão do conteúdo veiculado na escola. (...) Se descaracterizarmos ou ignorarmos este problema, frequentemente estaremos incentivando no aluno a utilização de conceitos e leis da Física apenas para ‘situações de quadro negro’ e provas (quando ocorrem), enquanto para situações vividas prevalecem os conhecimentos do senso comum.”* (Delizoicov e Angotti, 1991:25).

Identificando apenas mais uma linha de investigação em ensino de Física, a título de exemplo, no qual o senso comum se apresenta como objeto de investigação, podemos citar trabalhos na linha dos modelos e representações mentais. “(...) *os modelos dos alunos, ou de qualquer indivíduo, inclusive os que criam modelos conceituais, são **modelos mentais**, ou seja, modelos que as pessoas constroem para representar estados de coisas físicas (bem como estados de coisas abstratas). Estes modelos não precisam ser tecnicamente acurados (e não são), mas devem ser funcionais.*” (Moreira & Lagreca, 1998:83-grifo dos autores). A elaboração destes modelos mentais, referenciados nas interações sócio culturais de cada indivíduo, são resultado de processos cognitivos que não podem ser desprezados no processo de ensino, pois “ (...) *no caso da Física, os alunos aprendem os modelos conceituais físicos, isto é, a Física lhes é ensinada, usando modelos mentais. Deve haver, pois, uma relação entre os modelos mentais e os modelos conceituais. Neste sentido torna-se importante investigar os modelos mentais dos alunos, ou, de maneira mais ampla, suas representações mentais, ou, ainda, pelo menos, o tipo de representação mental que eles usam quando estão aprendendo Física.*” (Moreira & Lagreca, 1998:84).

Em resumo, podemos dizer então que o senso comum é o resultado do processo de interação do ser humano com o mundo - mundo aqui entendido no seu aspecto físico e social - que o cerca. No seu processo de elaboração ou construção, as relações sensoriais orientam as observações que irão formar um quadro empírico responsável pelos dados que procuram descrever a realidade. O senso comum nasce no cotidiano individual, fazendo uso de manifestações especulativas quando se defronta com situações novas ou inusitadas. Estes comportamentos especulativos, quando fazem uso mais intensamente da observação e de comparações referenciadas nos sentidos, podem ser denominados de “experiência pessoal” ou simplesmente “experiência”. Além disso, a manifestação deste comportamento é um atributo natural de todo ser humano.

Do ponto de vista da educação formal, a consideração ou não do senso comum durante o fenômeno didático implica na adoção de diferentes

concepções de como ocorre o processo de ensino-aprendizagem, abrindo discussão sobre as implicações do senso comum na questão do ensino de Física. A presença do senso comum, se considerada presente no fenômeno didático, direciona para um processo interativo entre professor e aluno que, por meio de um diálogo didático, deverá favorecer situações para o estudante transcender suas estruturas prévias de pensamento.

### 3. ESTABELECENDO UMA REFERÊNCIA

Se afirmarmos que o conhecimento vulgar tem a idade do homem em nosso planeta, isto certamente não provocará grandes discordâncias. Entretanto, se nos referirmos ao conhecimento científico entramos em uma área extremamente sensível e fonte de muitas controvérsias, onde a espontaneidade da resposta não pode ser tão descomprometida. Não adentrando na área das controvérsias, onde convivem as diferentes correntes de pensamento dos historiadores ou filósofos, vamos adotar uma referência cultural que provoque o menor ruído de aceitação e se adeqüe aos nossos objetivos.

*“Entre todos os povos da Antigüidade ocidental, foram os gregos que não apenas colecionaram e examinaram fatos, mas também os fundiram em um grande esquema; que racionalizaram o universo inteiro, sem recorrer à magia ou a superstição. Foram os primeiros filósofos da natureza que formaram idéias e criaram interpretações que podiam manter-se por si mesmas, sem invocar qualquer deus para apoiar fraquezas ou obscurantismos em suas explicações.”* (Ronan, 1987:64). Acreditamos que a argumentação de Ronan seja satisfatória e forneça as eventuais justificativas por adotarmos a cultura grega como ponto de partida. Isto posto, temos liberdade para, em meio aos inúmeros filósofos gregos, encontrar aqueles que falam mais de perto à nossa problemática.

De forma figurativa, é possível então apresentar os gregos como os catalisadores da tarefa de colecionar e registrar o conhecimento, a cultura e a forma de pensar, entre outras particularidades, dos mais diferentes povos. A partir desse caldo cultural procuraram, fundamentados em uma lógica, organizar um corpo de conhecimento ou verdades, excluindo argumentos de origem religiosa, místicos ou mágicos. Nesta dinâmica, envolvendo a proposição de novas interpretações relativas aos fatos da natureza e a elaboração de um novo conhecimento, se apresenta um problema, presente até nossos dias, que é o de como chegar ao verdadeiro conhecimento.

O caminho ou procedimento para chegar ao verdadeiro conhecimento se impõe como ponto fundamental entre os intelectuais gregos. A confiabilidade do caminho ou procedimento utilizado na elaboração do conhecimento verdadeiro, leva à crença de que o conhecimento assim alcançado também é verdadeiro. As divergências a respeito de onde se localiza a fonte primária que fornece os elementos básicos à elaboração do conhecimento, se tornam os germes das diferentes escolas filosóficas e epistemológicas do homem ocidental, herdeiro da cultura grega.

Lembrar de Platão e Aristóteles como personagens do conflito intelectual historicamente mais significativo, no que se refere à maneira de alcançar o conhecimento verdadeiro e fazer deles a referência para nossas discussões, certamente não nos fará incorrer em erro que prejudique nossa linha de argumentação. Algumas incursões à História Grega e às obras mais divulgadas de Platão e Aristóteles permitem esboçar de forma sintética como cada um deles entendia e defendia “caminhos” para se chegar ao conhecimento verdadeiro e, principalmente, como se inseria a experiência pessoal em cada uma das concepções propostas.

Platão, (Pensadores, 1987) ateniense de nascimento (426-348 a.C) foi um dos fundadores da famosa Academia, cujo objetivo era a formação dos futuros cidadãos no que hoje definimos como filosofia e ciências. Além de educador, sua preocupação maior era com a produção do conhecimento e o que seria este conhecimento verdadeiro. Um embrião de método de investigação foi utilizado por Platão em seus trabalhos quando parte do pressuposto da existência de dois universos ou mundos: o mundo sensível e o mundo inteligível. Ao primeiro estavam associadas às sensações, acessíveis aos sentidos através das experiências pessoais, pelas infinitas formas e movimentos (mutabilidade). Era, contudo um mundo de aparência, equivocado, duvidoso, algo entendido como uma sombra do mundo real. A realidade, para ele, não era passível de ser percebida pelo mundo dos sentidos. Como consequência dele, o homem teria apenas uma *opinião* (doxa) não o verdadeiro conhecimento. Para alcançar o verdadeiro conhecimento, seria necessária se libertar desta doxa (empirismo)

para então chegar ao mundo das idéias, da abstração. E é neste mundo, das abstrações e idéias, que reside o verdadeiro conhecimento – a *episteme*.

A passagem da doxa para a episteme envolvia diferentes objetos e operações, cuja seqüência deveria ser respeitada e seguida para almejar o conhecimento verdadeiro. Esta prescrição – se seguida – asseguraria ao homem ascender ao estágio de filósofo, pois seu conhecimento teria sido adquirido pela transformação do mundo mutável (dos sentidos) em um mundo imutável (das idéias).

Platão assumia que o mundo real era um reflexo do que se passava na mente do homem, pressuposto exposto em seu famoso “Mito da Caverna”. Como consequência, desprezava todo e qualquer dado advindo dos sentidos humanos ou de observações empíricas. A relação homem-mundo físico, a percepção vinda da experiência pessoal, não somava nada ao conhecimento, apenas fazia pano de fundo para a elaboração das opiniões (doxa) que eram, por sua vez, sempre impuras, imperfeitas e não verdadeiras. O conhecimento só era alcançado quando da transcendência para o estado da perfeição, pureza e verdade. Ao homem cabia, através de suas idéias dar a forma correta ao conhecimento dos objetos. Fica explícito, na concepção platônica, o desprezo pelos “fatos ou realidade observada” e a valorização da idéias.

O pensamento de Platão se constituiu no embrião do racionalismo moderno que, séculos mais tarde, foi estruturado e utilizado por Descartes e Kant (Escobar, 1975), desdenhava de todo e qualquer conhecimento originado dos sentidos (sensações). A razão, a lógica, o mundo das idéias é que forneceria o verdadeiro conhecimento. A Matemática é o conhecimento inspirador da forma racionalista do conhecimento. Sua independência para com a experiência é tal que bastam alguns axiomas e conceitos básicos para que se estructurem suas próprias leis mediante o uso da lógica e da validade universal. Esta forma de pensar teve seu mérito: o de ter valorizado com extremo vigor e rigor o significado racional do conhecimento humano. O mundo das idéias era o gerador de modelos das coisas empíricas, ou seja o sujeito construía o objeto.

Por outro lado apresenta, por sua estrutura orgânica de produzir conhecimento, um defeito: a dogmatização.

No outro extremo encontramos Aristóteles, que chega a Atenas com 17 anos, ingressando na Academia de Platão, do qual torna-se discípulo, e ali permanecendo por 20 anos. Afasta-se de Atenas por aproximadamente 14 anos para em seu retorno fundar sua própria escola, o Liceu. O conjunto de sua obra indica dois momentos: o primeiro muito próximo às idéias de Platão, certamente produzidas enquanto membro da Academia de Platão. Já o segundo seria o de rejeição as teses de Platão. Presume-se que tenha acontecido após seu afastamento de Atenas e no período do Liceu. Não é certo que Aristóteles tenha abraçado as idéias de Platão desde o início, pois grande parte de sua obra escrita foi perdida, tendo sido salvos basicamente os escritos que serviram para o Liceu. Se o foi ou não, o importante são as idéias aristotélicas que se opõem às idéias platônicas relativas ao mundo e, principalmente, aquelas que se referem à produção do conhecimento, e é a ela que vamos nos dedicar.

Muitos autores quando se referem a Aristóteles, associam-no ao apogeu da ciência grega (Vernant, 1977). Sua obra, extremamente abrangente, deixou um legado de grande significação e relevância para a civilização ocidental. Ao recusar o idealismo do mundo das idéias de Platão, assume que o homem concreto existe, enveredando para a proposição de uma nova concepção de como elaborar o conhecimento verdadeiro. Talvez, em nosso entendimento, seja este o grande legado aristotélico, mas isto é apenas doxa. Sua proposta de método de investigação é prescritiva e parte de pressupostos radicalmente opostos aos de Platão.

O primeiro aspecto no qual Aristóteles se contrapunha a Platão diz respeito à afirmação de que as **sensações** dão início ao processo de conhecimento. Ao postular as sensações como ponto de partida do processo, Aristóteles admitia que as primeiras interações do homem com o mundo físico tinham significado e, de certa forma, informavam sobre uma realidade concreta. As sensações formavam uma espécie de quadro mais elementar do conhecimento, mas para ele eram de capital importância. Este quadro elementar



pode ser interpretado como o arcabouço do senso comum, não descartado por Aristóteles, que apenas o colocava como a etapa primária do conhecimento verdadeiro.

A aceitação do senso comum e do fato de que sua base estava nas sensações, leva a buscar no pensamento aristotélico qual o mecanismo que intermediava a aquisição dessas sensações. Aristóteles creditava à memória um papel importante, pois é ela que armazenaria e conservaria as sensações, compondo um padrão de referência para novas sensações, enquanto que à **experiência** cabia o papel do reconhecimento das relações entre fenômenos. Em seus escritos sobre Metafísica (A,1,3), deixa bem claro que *“É da memória que deriva aos homens a experiência: pois as recordações repetidas da mesma coisa produzem o efeito de uma experiência, e a experiência quase se parece com a ciência e a arte. Na realidade, porém, a ciência e arte vêm aos homens por intermédio da experiência, porque a experiência, como afirma Polos, e bem, criou a arte, e a inexperiência, o acaso.”* (Gusdorf,1978:67). Percebe-se que a memória e a experiência pessoais são relevantes para a obtenção do conhecimento e que a ciência é trazida à luz por seu intermédio. A concepção aristotélica acerca de como chegar ao conhecimento verdadeiro, no sentido de científico elaborado pela ciência e não da mera interação do homem com o mundo físico, transcende o que foi exposto acima. O final do processo, para Aristóteles, é o conhecimento dos universais, que envolveria as causas das coisas e também fatos ou situações isoladas. Este seria o verdadeiro conhecimento ou o conhecimento científico, que inclui em sua elaboração momentos de indução, e de dedução.

Para nossos propósitos, a demarcação das concepções relativas à construção do conhecimento, seja na visão de Platão seja na de Aristóteles, permitiram em linhas gerais, caracterizar a divergência de pensamento entre ambos. O primeiro, ao negar o objeto concreto como fonte primeira do conhecimento e valorizar a razão e as idéias, vai de encontro ao preconizado pelo segundo. Aristóteles vê nos objetos e sensações a fonte primária para o conhecimento verdadeiro. Mais importante ainda é verificar que Aristóteles passa a fazer uma leitura particular do papel das sensações e da experiência no

processo de organização do conhecimento.

Aristóteles resgata o “empírico” e o introduz em sua concepção de construção do conhecimento. Quando discípulo de Platão, sofreu influência do racionalismo, mas sua tendência "naturalista" fez pesar mais sua propensão às ciências naturais do que à Matemática, o fez inclinar-se para o empirismo. Buscou colocar o mundo platônico das idéias na realidade empírica. Desta forma, faz uma síntese do racionalismo e de empirismo, o que na classificação moderna, segundo Hessen (1987) faz de Aristóteles o fundador do "intelectualismo". O intelectualismo aristotélico é uma mediação entre o racionalismo e o empirismo, pelo fato de contemplar como fonte do conhecimento o pensamento e a experiência. Em outras palavras, o conhecimento vinha do objeto para o sujeito.

Estas duas correntes - racionalismo e intelectualismo - passam a disputar a hegemonia no universo dos filósofos gregos. E, nesta disputa, as concepções aristotélicas levam vantagem, tornando-se hegemônicas não só no mundo grego como adentram até os primeiros séculos do cristianismo. Após alguns séculos de evidência, são abandonadas e colocadas no ostracismo pela Igreja, para serem resgatadas, posteriormente, pela própria Igreja após outros tantos séculos.

No momento, se fazem importantes algumas colocações a título de resumo, para situar o que se entende por senso comum, experiência pessoal e conhecimento verdadeiro ou científico. O corpo de conhecimento do senso comum se compõe de um conjunto de representações espontâneas relativas ao mundo físico. Resulta das inúmeras interações, circunstanciais ou não, entre o ser humano e seu meio sócio-ambiental. É um atributo (inato) a todo ser humano construir o seu corpo de conhecimento, fazendo uso das experiências pessoais, que utilizam as observações guiadas pelas sensações. Portanto, as experiências pessoais, com seu empirismo ingênuo, compõem a origem do senso comum.

Do lado oposto, tem-se o conhecimento científico, concepção proposta pelo homem e que, de certa forma, impõe um rompimento com o senso comum.

Para obtê-lo, devem ser utilizados procedimentos adequados e estabelecidos, de modo a chegar a conclusões mais amplas e abrangentes, naquilo que se refere aos eventos do mundo físico. O rompimento com o senso comum inspira a obra de Bachelard (1983), que diz ser necessário haver rupturas entre o antigo conhecimento (senso comum) e o conhecimento científico.

Dentre as primeiras correntes que ofereceram procedimentos para alcançar-se o conhecimento científico, uma delas descarta qualquer ligação primária com os sentidos ou com as experiências pessoais. A outra, ao contrário, admite a importância das sensações via experiências pessoais como fonte primária para chegar ao conhecimento científico. No entanto, é importante ficar claro que, nesta proposição, a atividade empírica consolidada no senso comum é reavaliada por Aristóteles, e seu papel é diferenciado do “vulgar” entendido pelo não filósofo.

A hegemonia do pensamento aristotélico, que se manteve ainda nos primeiros séculos do cristianismo, acabou cedendo seu lugar ao fim da Antigüidade (séc. III e IV d.C.) ao pensamento platônico, quando se estabelece o domínio cristão e com ele, através da Igreja e do clero, a filosofia Patrística ou dos Padres da Igreja. Seu representante maior foi Sto. Agostinho, cujo pensamento está fundamentado nos escritos de Platão. Neste período, a máxima platônica - o mundo das idéias - é favorecida pela patrística, pois todo conhecimento é um ato da iluminação divina. A grande preocupação da filosofia agostiniana está na vida do homem e seu encaminhamento, dentro desta vida, para o Bem (Deus). É nula ou quase nula a preocupação com o universo físico. Ele é uma consequência da onipotência e do querer de Deus. Em suma: todo conhecimento é sempre discutido e estabelecido no plano teológico e, uma vez enunciado, tornava-se dogma. *“A patrística reina até meados do século IX d.C. quando uma nova filosofia, a escolástica, começa a se tornar mais forte e predomina até o Renascimento”* (Aranha, 1993:143)

De caráter especulativo filosófico-teológico (Kopnin,1972), a escolástica começa a desenvolver-se lentamente, admitindo algumas modificações ou a introdução de novas questões, isto é, admite a necessidade de discutir-se as

"coisas" terrenas, a relação homem-natureza.

O grande nome da escolástica foi São Tomás de Aquino, que representou um papel muito importante no contexto intelectual da época. Sua grande obra foi a "Suma Teológica", onde distingue Teologia de Filosofia. A primeira tem como objeto de estudo o sobrenatural, calcado na Fé. Para a Filosofia, ficaram reservadas as coisas da natureza, calcadas na "razão". Tem-se assim, no âmbito da doutrina da Igreja, uma separação entre razão e fé, onde seus objetos de estudo podem produzir conhecimentos independentes.

São Tomás de Aquino arejou as bases da doutrina cristã, permitindo certas mudanças de rumo nos assuntos referentes ao universo físico ou ao mundo dos fenômenos. Ao mesmo tempo, também acabou cerceando a evolução da ciência nos séculos seguintes, quando tentou conciliar ambos os instrumentos (fé e razão), buscando estabelecer verdades de fé através da razão. Mesmo assim, esta foi a época de ouro da escolástica.

Neste período de "ouro", eclodiram quase que simultaneamente, na sociedade européia, vários focos intelectuais. Foi nesta época, como já foi citado, que aconteceu o surgimento das universidades e escolas. O incentivo aos estudos que se referem à natureza deu-se pela tradução das obras de Aristóteles sob as bênçãos da Igreja, permitindo "oficialmente" estudar o pensamento grego relativo à natureza, pois São Tomás de Aquino em sua Suma Teológica, havia separado natureza e sobrenatural. O referendo da Igreja dá liberdade e torna, por assim dizer, Aristóteles "popular" entre os intelectuais além de ser um avanço frente ao período agostiniano.

Ao mesmo tempo que passa a ser amplamente divulgado e estudado neste fim da Idade Média, o pensamento de aristotélico também se tornou alvo de duras críticas. *"De fato, se pode considerar Aristóteles como uma espécie de herói trágico atravessando em grandes passadas o mundo da ciência medieval. Desde Grosetesta até Galileu, ele ocupou o centro da cena, seduzindo as mentes dos homens com a promessa mágica de seus conceitos, exercitando suas paixões e dividindo suas lealdades. Por fim, os obrigou a voltarem-se contra*

*ele próprio como uma consequência efetiva na clarificação progressiva de sua empresa; e inclusive lhes proporcionou, desde as profundidades de seu próprio sistema, muitas das armas com que foi atacado.*” (Combrie, 1987:11b)

A grande arma contra Aristóteles foram as novas idéias relativas ao “método científico”, como procedimento para construir o conhecimento verdadeiro e, principalmente, as novas concepções sobre indução, experimento e o papel da matemática na explicação dos fenômenos da natureza. Dentre estes fenômenos, destacam-se os físicos. À época, as discussões eram basicamente centradas na interpretação dos textos de Aristóteles, mas lentamente os escolásticos foram se voltando à natureza na busca de resposta. Inicia-se então, um período onde as investigações dos problemas da natureza eram tão importantes quanto as discussões sobre o próprio método de investigação.

Este movimento revisionista atinge a obra de Aristóteles, particularmente ao colocar em cheque o processo de elaboração daquilo que ele denominava de universais. Seus universais pressupunham as formas de conhecimentos mais primárias, pois elas são as fontes necessárias para a determinação das causas. Através das sensações e da observação de situações particulares ou singulares era possível extrair as qualidades essenciais das coisas. Seria esta a fase de determinação dos atributos. A seguir, fazendo uso do raciocínio indutivo e asserções universais, são elaborados os conceitos que, por sua vez, devem necessariamente corresponder à realidade. (Rossi,1992). A razão intuitiva, uma virtude típica e natural do ser humano, é o princípio gerador que permite ao homem, a partir das observações e classificações de fenômenos ou situações, chegar aos conceitos, afirmações e aos universais. “*Sendo feita uma observação sobre um dado assunto, Aristóteles procede por indução, quer dizer, parte deste (ou destes) fato(s) para uma teoria geral, considerada então como bem estabelecida.*” (Rosmorduc, 1988:30) Na realidade, a indução para Aristóteles é entendida como o estágio inicial para chegar ao conhecimento. “*Na visão de Aristóteles a indução devia ser compreendida como o ponto de partida que o próprio conhecimento do universal pressupõe, enquanto que o silogismo procederia destes mesmos universais.*” (Rosmorduc, 1988:32). Para Aristóteles dois seriam os caminhos necessários. Enunciada a teoria geral, Aristóteles não

se preocupava em fazer uma verificação ou eventual confrontação com situações novas. As situações novas é que deveriam se ajustar à teoria.

Para chegar ao conhecimento científico sobre o mundo físico, Aristóteles reavaliou o papel da experiência vulgar ou bruta, aquela associada ao senso comum, transformando-a em um dos componentes iniciais e necessários no processo de elaboração deste conhecimento. A experiência vulgar passa por uma primeira reavaliação e interpretação. Nenhuma denominação especial foi dada a esta nova experiência, apenas adquiriu atributos diferentes por fornecer o produto das observações via sensação.

Os críticos de Aristóteles, utilizando sua própria lógica de argumentação, elaboraram novos argumentos que evidenciavam equívocos primários em seus “universais”. O processo de construção do conhecimento verdadeiro, proposto por Aristóteles, de hegemonia intocável, estava em cheque. E dentre os componentes deste processo, a experiência foi o alvo principal das críticas, principalmente por estar submissa às observações fornecidas pelas sensações. Esta linha de pensamento é que vai incentivar Grossetesta, na Universidade de Oxford, a apresentar o embrião de uma nova interpretação da ação especulativa ordenada, dando início ao “experimentalismo”.

#### 4. O GERME DA EXPERIMENTAÇÃO MODERNA

“(…) os gregos da Antigüidade, embora façam muitas observações, não experimentam. Isto quer dizer que eles não tentam, com algumas exceções, reproduzir os fenômenos, intervir no seu desenvolvimento, determinar os efeitos desta ou daquela ação.” (Rosmorduc, 1988:33). Este empirismo ingênuo que se manifestava na Física e Astronomia de Aristóteles, começa a se tornar uma espécie de incômodo para os pensadores escolásticos do século XII. Além da própria herança cultural grega, as guerras com os árabes fizeram chegar na Europa muito dos trabalhos e investigações do povo árabe, alguns deles descrevendo experimentos, medidas etc. A título de exemplo, entre os mais divulgados estão os trabalhos de Alhazen (Ronan, 1987) no campo da Ótica. Estes trabalhos já traziam consigo, além das descrições, dados experimentais que procuravam mostrar a existência de relações matemáticas. No entanto os “modelos” utilizados para explicar o fenômeno físico, na maioria das vezes limitado, impediam-nos de chegar às relações de causa e efeito mais gerais. De uma forma ou de outra, estes trabalhos chegaram em um contexto onde o “método aristotélico” estava sendo colocado à prova, e incentivaram as críticas aos procedimentos por ele preconizados. “*Os homens que concordavam com as conclusões de Aristóteles investigaram as suas provas só porque executadas pelo mestre. No entanto, as suas investigações muitas vezes ajudaram a conseguir o derrube final do mestre.*” (Kuhn, 1982 : 141)

A maioria dos textos relativos à filosofia da ciência ou teoria do conhecimento científico, seguem uma trajetória relativamente comum, procurando dar ao leitor a idéia dos momentos históricos mais marcantes ou daqueles que determinaram grandes decisões, cujas conseqüências só foram percebidas anos ou séculos mais tarde. Se fôssemos nesta mesma linha, após a discussão das propostas gregas, nossa próxima parada seria Francis Bacon ou Galileu, particularmente para nós que estamos localizando o método experimental. Fugindo um pouco desta linha, vamos preencher a lacuna temporal de cerca de 20 séculos, dos gregos a Bacon ou Galileu, comentando a participação de outros personagens, não muito divulgados e conhecidos do público em geral, mas que tiveram participação importante na concepção do

método experimental. Faremos referência a dois deles em especial, porque além de pertencerem ao movimento “inovador” da escolástica, introduziram elementos novos à experiência como instrumento para chegar ao conhecimento. Muito desse movimento foi oportunizado pelo surgimento de universidades em diferentes locais da Europa.

A partir do século XI, surgem as primeiras universidades na Europa, que além de reunir o clero intelectual, oferecem espaço para os professores leigos que “. . . conseguem afirmar sua força e obter uma certa autonomia em relação aos poderes religioso e civil.” (Petitat,1994:59). Certamente este pseudodistanciamento da tutela da Igreja permite aos leigos algumas liberdades intelectuais, desde que não firam os preceitos e dogmas cristãos. Dentre as universidades mais famosas, tem-se a de Paris (França), Bolonha (Itália), e Oxford (Inglaterra), entre outras.

A escola de Oxford (Inglaterra) fazia parte do circuito das grandes universidades ou escolas da Idade Média na Europa. Roberto Grossetesta, frei franciscano (1168-1253), é considerado autêntico fundador da escola de Oxford. Em 1214, foi o primeiro a ascender ao cargo de *Magister Scholarum* como professor do convento dos franciscanos e em 1235 tornou-se bispo de Lincoln (Combrie, 1987). De formação aristotélica, foi um dos primeiros a compreender e utilizar a própria argumentação aristotélica para ampliar as bases do conhecimento sobre a natureza. “Entre os primeiros a entender e utilizar a nova teoria da ciência experimental se encontra Roberto Grossetesta, que foi o autêntico fundador da tradição do pensamento científico de Oxford medieval e, de certo modo, da tradição intelectual inglesa moderna.” (Combrie, 1984). Procedendo assim, Grossetesta acaba por se opor ao “método aristotélico”.

Extremo conhecedor das obras de Aristóteles, fundamentou sua teoria sobre Ciência na distinção que este fazia entre o conhecimento de um **fato** e o conhecimento da **razão** deste fato. Sua tese se constituía de três elementos: o indutivo, o experimental e a matemática (Combrie,1984). A introdução da Matemática para análise de fenômenos naturais é a grande inovação no pensamento da época. Ele próprio afirma em sua obra *De Lineis a Matemática*



(Combrie,1984:87): “É da maior utilidade considerar as linhas, os ângulos, e as figuras porque é impossível entender a filosofia da natureza sem elas...Porque todas as causas de feitos naturais podem ser expressos por meio de linhas, ângulos e figuras, porque de outro modo seria impossível ter o conhecimento da razão destes efeitos.” É com Grosetesta que se tem os indícios de uma passagem da física qualitativa aristotélica para uma física mais quantitativa. Grosetesta pode ser considerado um dos primeiros intelectuais que se dedicaram a sistematizar o que hoje chamamos de “método experimental”.

O procedimento proposto por Grosetesta para elaboração do conhecimento pode ser chamado de “método” e se utilizava da análise e da síntese conforme está comentado na obra de Combrie (1984) dedicada a ele. Pela análise, “*procurava ordenar e classificar as semelhanças e diferenças de um dado fenômeno físico ou da natureza*”. Isto lhe fornecia o que denominava de “definição nominal”. Observando um conjunto de casos, onde o fenômeno em questão se apresentava, procurava determinar os atributos que eram comuns até, através da indução, chegar ao que chamava de “fórmula comum”. Esta então lhe permitia fazer uma relação com as observações empíricas e a única causa geradora. Isto posto, através da síntese, recompunha as “*...proposições realizadas na fase de análise, ordenando-as agora de tal modo que as mais particulares parecem derivar dedutivamente das mais gerais, caracterizando um relação do geral ao particular, ou de causa e efeito*”.(Combrie, 1984:89)

A obra de Grosetesta se faz importante, pois encontra na própria estrutura do pensamento aristotélico argumentos para elaborar uma nova proposta metodológica, agregando a ela novos elementos e uma nova concepção sobre a ciência da natureza. Ao mesmo tempo em que apresenta esta nova forma de pensar, inovadora e promissora, deixa uma herança aos seus posteriores. Grosetesta criou “escola” deixando seguidores, melhor seria dizer discípulos. Entre eles, o mais famoso foi Roger Bacon<sup>1</sup> (1219-1292), também franciscano e membro da Escola de Oxford. Roger Bacon, inspirando-se nas obras de seu mestre Grosetesta, também se concentra com maior intensidade no

entendimento de Aristóteles acerca das concepções matemáticas, físicas, astronômicas e médicas, deixando de lado as idéias relativas à Metafísica (Combrie, 1987).

Seu interesse pelas ciências naturais o leva a tratar com mais detalhes o método experimental, em seu trabalho *Opus Majus, cap. 2 da parte VI* no subtítulo “Sobre a ciência experimental”. Para Roger Bacon, o método experimental se mostrava uma ferramenta poderosa e este filósofo alertava para sua importância para um possível “desenvolvimento tecnológico”, pela sua utilidade prática. O parágrafo abaixo resume muito bem o seu pensamento relativo à “ciência experimental”, quando ele afirma que *“Esta ciência experimental tem três grandes prerrogativas em relação às outras ciências. A primeira é que investiga por meio do experimento as conclusões nobres de todas as ciências. Porque as outras sabem como descobrir seus princípios por meio de experimentos, mas suas conclusões são obtidas por meio de argumentos baseados em princípios descobertos. Mas se elas devem ter experiência concreta e completa de suas conclusões, então é necessário que a tenham com a ajuda desta nobre ciência. É certo, em verdade, que a Matemática possui experiência geral relativa a suas conclusões no caso de figuras e números, que são aplicados da mesma forma a todas as ciências e a esta ciência experimental, porque nenhuma ciência pode ser conhecida sem as matemáticas. Mas se dirigirmos nossa atenção para as experiências que são concretas e completas e estão inteiramente comprovadas em sua própria disciplina, é necessário ater-se ao modelo de considerações desta ciência que se chama experimental.”* (apud Combrie, 1987:30b).

De forma simplificada pode-se dizer que, para Bacon, a ciência experimental tem como primeira função, através de seus experimentos, a confirmação das conclusões obtidas através de procedimentos Matemáticos. Outro aspecto é que, via o proceder experimental, é possível atribuir um saber novo aos resultados obtidos pela Matemática, que é de base dedutiva, isto é, aumentar os significados relativos à interpretação de resultados puramente

---

<sup>1</sup> O Bacon mais conhecido é Francis Bacon, nascido em 1561 também na Inglaterra, que

dedutivos. Como terceira prerrogativa, existe a possibilidade de investigar novos campos do conhecimento, ainda desconhecidos do homem, pois “*Ele admitia que sua ciência experimental era tanto uma ciência aplicada independente, em que colocava a prova os resultados das ciências da natureza e especulativa na ordem de sua utilidade prática, como um método indutivo.*” (Combrie, 1987:32) Seu domínio e percepção a respeito da indução eram bastante claros, pois passavam dos fatos observados ao descobrimento da causa e, isolando-a, eliminava as teorias que eram contrárias aos fatos.

O programa da matematização na Física procura se fazer explícito na obra de Bacon, alterando o objeto de investigação científica até então. Isto significou mudar o enfoque a respeito da concepção de natureza, dada por Aristóteles, que era predominantemente de estrutura qualitativa. Bacon se dedicou a uma série de trabalhos relativos aos fenômenos da natureza, sempre utilizando a base metodológica preconizada por seu mestre Grosetesta. Em seus trabalhos, enfatizava a Matemática como uma, mas não a única, das maneiras a dar conta de explicações relativas ao mundo físico. Nosso objeto de trabalho não é analisar e discutir os trabalhos científicos de Bacon, mas sim, sua adoção e defesa da proposta de um procedimento investigativo que contemplava a indução e o experimental com tratamento matemático.

Por certo, Grosetesta e Roger Bacon não foram os únicos estudiosos preocupados com o conhecimento relativo aos fatos da natureza e, principalmente, com o processo de como chegar ao conhecimento sobre a realidade. Suas concepções metodológicas serviam, sem dúvida, de base para que seguidores e críticos se empenhassem em suas investigações. Em especial Grosetesta deixou entre seus discípulos, além de Bacon “*...Petrus Peregrinus, Witelo e Yhemon Judaei, Guilherme Ockham, entre outros, seguiram ou criticaram as bases dos fundamentos de Grosetesta.*” (Combrie, 1984:45). Como já falamos, a discussão sobre os aspectos de validade do método ou métodos, passaram a ter destaque, em detrimento do objetivo ao qual o método se propunha: o conhecimento da natureza. E a grande geradora das discussões,

---

comentaremos mais adiante.

por quase trezentos anos, foi a teoria da indução que, aliada ao método experimental, levava seguidores e críticos, junto com suas respectivas escolas, a digladiarem-se no campo filosófico. (Combrie, 1987)

Enfim, a passagem pelos séculos XIV ao XVI, não incorpora grandes novidades ou alterações nos processos ou métodos de investigação (Rossi, 1992). As grandes discussões se deslocam para a validade do método, em detrimento de seu potencial como ferramenta para elaboração de novos conhecimentos. As discussões se resumem a exercícios de retórica do método pelo método, como validador do conhecimento. Proposições inovadoras, como de Grosetesta, de introduzir elementos quantitativos na âmbito das observações, não se fizeram presentes neste período. O Renascimento, movimento do século XVI, se ancora muito mais nas possibilidades técnicas de origem empírica do que propriamente em investigações científicas geradoras de “leis”. É no século XVII que encontraremos outros personagens que fizeram estremecer os “dogmas” científico e religioso.

## 5. FRANCIS BACON - UMA NOVA REFERÊNCIA

Nascido inglês (1561-1626), em meio a uma reforma religiosa, tem a oportunidade de participar e conviver com toda uma série de conflitos e disputas de ordem social, científica, filosófica e religiosa. É importante localizá-lo no contexto da reforma religiosa da Inglaterra, pois o cisma religioso lhe oferece certas liberdades que a Igreja Católica não permitiria. Desenvolve um espírito crítico com relação aos valores filosóficos e religiosos, que se fazem conhecidos através da publicação de suas obras.

*“Francis Bacon merece que falemos dele em primeiro lugar, pois foi o filósofo do método experimental da ciência, e teve a presciência do que seria e é também, talvez, o iniciador de uma reforma da filosofia pela ciência.”* (Omnés; 1996:89). Esta manifestação reforça o respeito àquele que foi denominado “inventor do método experimental” e até “fundador da ciência moderna e do empirismo”, e demonstra a importância que sua obra teve para a ciência moderna. No entanto também se pode registrar que outros *“...acham que Bacon foi apenas o arauto da ciência moderna e jamais seu criador; ou então vão mais longe em suas críticas, declarando que ele nada compreendeu de ciência, foi crédulo e totalmente destituído de espírito crítico.”* (Andrade, 1979:VI) Sem dúvida nenhuma, Bacon é um personagem que gerou sentimentos conflitantes no que se refere a sua obra. Independente do sentimento que fez brotar, não é possível menosprezar seu papel histórico e o de sua obra. Impregnado pela cultura empirista, que remonta desde os tempos de Grosetesta e Roger Bacon, fortalecem e difundem de forma magnífica o significado histórico da ciência e sua função desenvolvimentista junto à humanidade. O aspecto promocional dado à Ciência no progresso do homem popularizou uma idéia de ciência e de como ela é feita, idéia que está mais impregnada no pensamento popular do que seria desejado ainda nos dias de hoje.

O ambiente histórico no qual viveu Bacon foi propício para que ele desenvolvesse suas idéias, pois um espírito contestador pairava no ar, o que incentivava grandes discussões. Bacon admirava a obra de Aristóteles na medida que afirmava ser unicamente apropriada para discussões e debates

teóricos, e a criticava por não ser uma ciência prática, de utilidade para o homem. Sua obra mais importante e conhecida é a “Novum Organum”, cujo título já demonstrava sua crítica à “Organum”<sup>2</sup>, obra em que Aristóteles apresentava seu “método”. Não vamos entrar neste conflito, mas procurar extrair da obra de Bacon a sua concepção de ciência e de conhecimento científico.

Bacon defendia uma visão extremamente utilitarista do conhecimento científico. Via uma finalidade aplicativa da ciência no progresso da humanidade e na melhoria das condições de vida do homem. Para ele, o conhecimento em si e per si era como se fosse uma espécie de exercício intelectual, caso não permitisse um uso para a vida prática. A ciência não podia ser apenas um mero produto da filosofia, cuja serventia para o homem era duvidosa. Ele “... *insistia no caráter eminentemente prático do conhecimento científico. Estava preocupado com sua aplicação para o aperfeiçoamento das artes, com sua utilidade para a construção de um entendimento sensato do mundo que nos cerca, em lançar sólidas fundações intelectuais de uma filosofia nova, susceptível de ser aceita por todos.*” (Japiassú, 1997:83). Seu lema, “*Saber é poder*”, resume e reflete de maneira objetiva o interesse do domínio da ciência com o fim de instrumentalizar o homem para que este, por sua vez, domine a natureza. Isto não significa dizer que Bacon só admitia como conhecimento aquilo que possuía uma utilidade imediata. Para ele, o que importava era o conjunto de conhecimentos da ciência, que deveria refletir alguma aplicabilidade. Andery (1988;192) mostra esta visão de Bacon acerca do conhecimento produzido, uma espécie de projeto para o conhecimento científico, ao resgatar a própria obra de Bacon quando este afirma que “*(...) a esperança de um ulterior progresso da ciência estará bem fundamentada quando se recolherem e se reunirem na história natural muitos experimentos que em si não encerram qualquer utilidade, mas que são necessários na descoberta das causas e axiomas. Estes experimentos costumamos designar por*

---

<sup>2</sup> “Organum” significa *Instrumento*. Instrumento para proceder corretamente o pensar. Na realidade a “Organum” é conjunto de obras de Aristóteles, incluindo *Analíticos*, onde é feita uma análise do pensamento nas suas partes integrantes. (Aranha, 1993). Bacon se contrapõe a esta obra com os “novos instrumentos”.(Novum Organum)

*lucíferos, para diferenciá-los dos que chamamos de frutíferos.*” (Novum Organum, I, afor. 99)

As críticas de Bacon em relação à obra de Aristóteles, além daquelas referentes à sua praticidade se referiam ao método de alcançar o conhecimento científico. Recapitulando, Aristóteles utilizava a experiência sensitiva e a indução e dedução (silogismo) para elaborar o verdadeiro conhecimento. Para Bacon, o uso da dedução era perfeitamente dispensável, pois a indução era muito mais eficiente como método de descoberta. Para ele, *“As ciências devem passar por uma nova forma de indução que analise a experiência e a reduza a elementos...; a missão dos sentidos deve ser apenas julgar a experiência, de sorte que é a própria experiência que julga as coisas”*. (Omnès: 1996:88). A nova “forma de indução” para Bacon era interpretada como um processo metodológico, que começa distinguindo *“...inicialmente experiência vaga e experiência escriturada. A primeira compreende o conjunto de noções recolhidas pelo observador quando opera ao acaso. A segunda abrange o conjunto de noções acumuladas pelo investigador quando, tendo sido posto de sobreaviso por determinado motivo, observa metodicamente e faz experimentos.”* (Andrade, 1979: XVIII). A separação entre experiência vaga e experiência escriturada deixa bastante explícita a existência de uma diferença de interação entre a interação estabelecida pelo observador comum e pelo investigador especialista e o mundo físico. Além disso, evidencia a tendência empírica de Bacon, pois prescreve a necessidade do homem interagir com a natureza (experiência escriturada), ao mesmo tempo em que deve opor-se a idéias predeterminadas relativas à natureza (experiência vaga). Enfatiza e valoriza a via empírica e experimental para obter o conhecimento válido, desprezando a via especulativa da experiência vaga.

Discutir a obra de Bacon e seu significado maior para a ciência é trabalho para filósofos e historiadores. Para nós basta, simplesmente, assinalar a alternativa epistemológica por ele proposta para chegar ao conhecimento e que passa, necessariamente, pela experiência escriturada, traduzida como interferência intencional, no sentido de consulta, do homem à natureza. Estes

procedimentos estão descritos e prescritos na “Novum Organum”, assim como todo um estudo detalhado sobre a indução.

Bacon tem, na natureza, a fonte para a realização de observações que permitiam a coleta e registro de dados sobre os fenômenos físicos a serem estudados. A ela o investigador deveria se dirigir “puro”, sem preconceitos (entenda-se hoje, sem uma pré-teoria), para fazer suas observações. Destas observações seriam produzidas tabelas a partir dos dados coletados, procurando pontos comuns ou coincidentes que, através da indução, finalmente levassem ao enunciado de teorias ou leis mais gerais. Este procedimento proposto por Bacon nada mais é que um método experimental que ficou conhecido por empirismo indutivista. Sua influência foi fantástica, tanto é que “*A tradição iniciada por Bacon está sintetizada nos passos do método científico tradicional, predominando desde o século XVII até o século XX.*” (Borges, 1996:23). A concepção do método experimental de Bacon, o empirismo-indutivista, se traduz na seqüência de passos que contempla (a) observação, (b) elaboração de hipótese, (c) experimentação e (d) conclusões. Este seqüencial de etapas ou fases, compõe o germe da experimentação moderna, embora não contemple, como veremos, outras etapas e procedimentos, mas não se pode negar que, estruturalmente, pode ser entendido como um método de investigação.

Mesmo com uma proposta prescritiva de um método experimental, Bacon chama atenção para a diferença de atitudes de um simples observar, característico do pensamento aristotélico, e de uma investigação, no momento em que se busca entender o mundo físico. No primeiro caso, tem-se um contemplar natural, discreto, sem intenção, com excesso de respeito aos fenômenos. No segundo caso, deve-se comportar de maneira metódica, interessada, determinada e dirigida a um certo fato. Enquanto o primeiro apreende passivamente o que o mundo apresenta, o segundo realiza intencionalmente observações cuidadosas que são registradas em tabelas para que, sob os limites impostos pelas hipóteses enunciadas, chegue a conclusões gerais. Ficam estabelecidos assim dois universos: o do observador passivo com sua experiência vaga, ao acaso, ocasional, especulativa etc., e o do investigador intencional, entendido como o homem de ciências, com seu proceder



experimental próprio e exclusivo. Neste sentido, ser um cientista exigiria mais que “boa vontade”; exigir a vontade e método para extrair da natureza aquilo que ela esconde por trás das aparências. Pode-se, dessa forma, observar sem investiga. A observação sem intenção seria o domínio leigo e o observar com intenção, o domínio da ciência. A proposta baconiana oferece o método experimental como instrumento a ser utilizado na investigação científica, na elaboração de um conhecimento novo, de utilidade para o homem, como já foi falado.

## 6. RENE DESCARTES – UMA OPÇÃO.

Bacon dominava, com sua filosofia empirista, os rumos da ciência inglesa. Do lado do Canal da Mancha, mais precisamente na França, René Descartes (1596-1650) divulgava a sua filosofia racionalista. “*Descartes opõe-se a Bacon sobre um ponto essencial: sem negar a imperiosa necessidade de observação, ele não deixa de afirmar que o principal fundamento do empreendimento científico é o raciocínio dedutivo.*” (Omnès, 1996:89-grifo nosso).

Em sua obra “Discurso do Método”, Descartes descreve qual a sua concepção de conhecimento e os procedimentos metodológicos a serem utilizados para alcançá-lo. Para Descartes, era vital encontrar a verdade primeira, o ponto de partida que não pode ser colocado em dúvida. Dessa forma, converte a dúvida em método. Em outras palavras, na sua concepção o pensamento precedia a existência e através da reflexão realizada pelo próprio pensamento, era possível chegar à compreensão desejada sobre o mundo físico. O seu “*Penso, logo existo*”, expressa o valor e a importância que ele concedia à razão. “*A razão, mais que a natureza, é o seu dado primeiro.*” (Omnès, 1996:90).

No que nos interessa, verifica-se que o empírico se situa através da experiência (observação e experimentação), que assume a função de “*confirmar as possíveis suposições deduzidas dos princípios gerais.*” (Andery, 1988:206). Dito de outra forma, a experiência fica subordinada à razão, na medida em que se reduz, praticamente, a uma função comprobatória. A experiência se faz presente, quando solicitada, caso contrário é dispensável.

Descartes, conhecido como racionalista por almejar a matematização do conhecimento (projeto cartesiano), não promoveu ou ofereceu nenhuma novidade referente ao uso da experiência/experimentação dentro de seu método de produção do conhecimento. Ao contrário, colocou-a em um plano secundário, de onde só seria chamada se necessário. Seu método valoriza ao extremo o trabalho mental por meio do pensamento centrado na razão.

Nosso objetivo em trazer Descartes à discussão, é registrar o surgimento de sua proposta à mesma época da proposta de Bacon. Ambas marcam época e fazem seguidores. De um lado, encontramos o empirismo baconiano onde as observações são como que o motor do método e do tabulamento dados que, por indução, sem nenhuma matemática, permite chegar-se ao conhecimento científico. Do outro lado, o racionalismo cartesiano prescrevendo o uso da razão que, fazendo uso das idéias inatas e da matemática, estabeleceria o novo conhecimento.

A contribuição de Descartes foi significativa quando “...mostrou que o empreendimento galileano, para proclamar a autonomia da Razão, precisou abandonar a linguagem cotidiana e lançar mão da linguagem matemática como modelo, de uma linguagem tão próxima quanto possível da inteligibilidade, da exatidão e do rigor da linguagem matemática.” (Japiassú, 1997:85)

Ambos, cartesianismo e baconianismo, foram importantes por negar a revelação religiosa como fonte do conhecimento verdadeiro. Razão e experimentação foram os elementos introduzidos para fundamentar a busca do conhecimento. A forma e o valor que cada um assume neste processo são diferentes, mas nota-se que são através da sua inclusão que o pensamento científico começa a tomar forma e se diferenciar do pensamento leigo.

## 7. GALILEU GALILEI - A OPÇÃO DEFINITIVA

Ao falar de Galileu é preciso cuidado, porque tanto o homem como sua obra já foram (e ainda o são) objeto de análise, estudo, crítica, história...enfim não existe na literatura que trate da Ciência obra que deixe de fazer alguma referência a Galileu. *“Quando se fala de ciência, quando se tenta definir ciências modernas, acaba-se sempre remontando a Galileu, pois Galileu é realmente o que se pode chamar de “primeiro ato”, a “fundação” no sentido em que não há aí discussão como em Descartes, Kepler ou da Vinci.”*(Stengers, 1990: 16). Outras referências sobre Galileu, referenciando-o como iniciador da ciência moderna, acreditamos serem desnecessárias, além do fato de que é consenso o papel e a importância histórica de Galileu para a ciência, em especial para nós da área da Física.

Como sempre, vamos dirigir nossas lentes para a interpretação que Galileu dedicava ao procedimento experimental ou como a experimentação era utilizada para a elaboração do conhecimento, pois *“... isso levou Galileu a adotar um novo papel para a experimentação na ciência”*. (Chalmers, 1994:51) Mantendo nossa linha de análise, vamos, portanto, procurar localizar o que faz diferenciar a experimentação de Galileu daquelas já analisadas até o momento.

A grande contribuição de Galileu está no fato de ter conseguido *“realizar a junção da teoria e da prática”*.(Japiassu, 1997:79). Esta ligação teoria-prática deve ser entendida como a introdução da Matemática na linguagem para “ler” os fenômenos do mundo físico. Esta mistura, fenômeno físico – “real”, a ser lido pela matemática – “conceitos”, é que faz de Galileu o fundador do “método experimental”.

Quando estudante, Galileu se interessa pelas obras de Euclides e Arquimedes, o que o leva a dedicar-se ao estudo de problemas de balística, hidráulica e mecânica. Utiliza recursos matemáticos e práticos para entender os artefatos descritos naquelas obras. O espírito empírico e matemático começa a se instalar em Galileu e, as circunstâncias o incentivam a dedicar-se ao estudo dos fenômenos da natureza.

A presença do empírico ou do fato da natureza se faz presente através da observação que seria analisada através da experiência, mas lembrando que “... quem faz uma experiência sobre essa matéria não deve surpreender-se se ela falhar.” (Drake,1981:57) Isto permite concluir que seus resultados experimentais eram de ordem qualitativa, dada a limitação de material à sua disposição. Atrás destes resultados qualitativos da experimentação, se encontra o outro instrumental que permite uma “releitura quantitativa” dos resultados qualitativos: a matemática.

Stengers, em livro “*Quem tem medo da ciência*” (1990), quando trata do nascimento da ciência moderna, cita Koyré que afirma “...Galileu diz que se submete aos fenômenos, que se limita a observar, ele está enganando. Galileu funda a matemática justamente porque, contrariamente a seus predecessores, não se submete aos fenômenos, e sim os julga em nome de uma idéia a priori, segundo a qual a essência desses fenômenos é matemática”. (Koyré, apud Stengers, 1990:19). O papel da experimentação, para Galileu, não é mais fornecer simplesmente os dados empíricos, através da observação especializada. A experimentação **assume um papel questionador da natureza**. Mas para questionar é necessário existir uma pergunta e uma forma de fazê-lo. Estes dois quesitos são de fundamental importância no método de Galileu, o que Koyré deixa claro quando afirma: “Com efeito, se uma experiência científica – como Galileu tão bem exprimiu – constitui uma pergunta formulada à natureza, é claro que a atividade cujo resultado é a formulação dessa pergunta é função da elaboração da linguagem na qual essa atividade se exprime.” (Koyré, 1982:272)

A experimentação como entidade questionadora e a matemática como sua linguagem, compõem o cerne que fundamenta a concepção de método experimental proposto por Galileu. A interrogação feita à natureza é formulada em uma linguagem matemática, “Por isso, o que se encontra em jogo, na física matemática galileana, não é a experiência. Porque a passagem de Aristóteles a Galileu não é do dogmatismo teórico à evidência empírica. É a passagem da evidência empírica do senso comum à autoridade da evidência matemática.” (Japiassú, 1997:80)

Esta é a grande revolução de Galileu, pois implica em transformar a experimentação em uma forma de questionamento da natureza, utilizando objetos matemáticos. Para questionar a natureza, deve existir a fonte que estimule e fomente a questão, afinal o processo não é gratuito ou espontâneo. A pergunta nasce de uma percepção primeira, de uma idéia a priori, de uma “pré-teoria” que é estabelecida quando da observação do fenômeno em questão. Esta ligação estreita entre experimentação e a elaboração de uma teoria é “simbiótica”, pois a melhoria dos resultados experimentais apura e refina os elementos teóricos.

Galileu foi o grande revolucionário da modernidade científica. Faz o homem se posicionar fora da realidade física quando utiliza a Matemática, ao mesmo tempo em que artificializa esta realidade através de situações experimentais. Muitas das bases teóricas propostas por Galileu “*só poderiam ser testadas em situações experimentais criadas especialmente para isso.*” (Chalmers, 1994:53) Galileu, ao criar estas situações artificiais, procura estabelecer as condições em que sua teoria pudesse ser testada, com a menor interferência de efeitos externos. A aproximação das condições idealizadas se fazem concretas, na medida que são introduzidas novas técnicas e instrumentos mais apurados.

Enfim, o método experimental galileano pode ser entendido como o resgate do empírico através da experimentação, que se apresenta com a função questionadora junto à natureza. Utilizando uma linguagem matemática, coleta, através de instrumentos, dados numéricos que visam confirmar as premissas iniciais. Esta nova tendência ou concepção do experimentalismo substitui a “experiência”, evidente por si mesma na base da filosofia natural escolástica, por “*(...) uma noção de conhecimento demonstrado por experimentos especificamente concebidos para esse propósito. Como uma prova matemática, o resultado final do experimento poderia perfeitamente ser conhecimento contra-intuitivo.*” (Henry, 1998:36). A observação e a experimentação tornam-se, desse modo, requisitos metodológicos para a construção da ciência. Estes requisitos têm por objetivo buscar dados numéricos que possam expressar os fenômenos físicos, busca esta dirigida por suas concepções teóricas.

É tradição dos textos de Física e dos físicos reverenciar a figura de Galileu como o marco inicial da ciência moderna. O encaminhamento dado por ele às questões do mundo físico, da natureza e dos fenômenos foi radical. *“Para Koyré o interessante é que a boa física, a de Galileu, tenha nascido não por um ato de respeito aos fenômenos, mas por uma decisão filosófica. Na origem da Física há a decisão filosófica de ler a natureza como ela foi escrita, isto é, em caracteres matemáticos.”* comenta Stengers (1990:21-grifo nosso). Uma decisão filosófica não se toma de forma isolada, isto é, sem aperceber-se do seu entorno sociocultural. O momento histórico em que o mundo europeu vivia foi ambiente fértil para as idéias de Galileu e de suas decisões filosóficas. Foi contemporâneo de vários pensadores nos diferentes países da Europa, entre eles, Bacon, Descartes, Blaise Pascal, Robert Boyle, Kepler etc. Diferentes pensadores em diferentes lugares e diferentes culturas locais fazem desenvolver e pairar no ar uma espécie de desafio na busca de novos métodos de trabalho que levem a um conhecimento científico mais amplo e geral. Quer-se dizer com isto, que não só Galileu se dedicava a “fazer física” e a usar de um método experimental. Muitos outros também perseguiram o mesmo objetivo. *“Galileu partilhava com Bacon e Descartes o sonho de uma nova filosofia que substituísse os exercícios verbais do aristotelismo, mas, ao contrário deles, não tentou começá-la. Esta lhe parecia estar longe no futuro, como resultado da junção da experiência prática com a razão no que chamei de ciência útil.”* (Drake,1981:35)

Os movimentos sociais, representados pelos novos rumos do comércio e as grandes viagens transcontinentais, incentivam e promovem, de certa forma, as investigações científicas. O *“Penso, logo existo”* de Descarte aliado à concepção utilitarista da ciência de Bacon encontra eco na cultura européia. Uma maior confiança no “poder” do método experimental ampliou o desejo de troca de informações entre os intelectuais o que, por sua vez, *“estimulou mais investigação empírica e, sucessivamente, deu lugar a uma formalização da associação em academias ou sociedades científicas”* (Henry, 1998:47) O resultado foi o aumento da credibilidade e confiança no conhecimento produzido através da experimentação, transformando o método experimental numa espécie de atestado de validade do conhecimento científico moderno.

Aqui fica notória a importância dada ao método experimental, mas também é interessante lembrar que não é “o” método experimental, no sentido de ser o único. Os diferentes investigadores, em suas diferentes culturas e áreas, utilizavam o método experimental, como membros de um movimento intelectual maior, o “experimentalismo”, mas procediam de forma um pouco diferente. *“Além disso, não é preciso muita pesquisa histórica para mostrar que falar de um método experimental único, facilmente caracterizado, é uma leviandade. O método experimental de Harvey não foi como o de Galileu, e nenhum dos dois se assemelhava ao defendido por Bacon, ou ao adotado por Robert Boyle.”* (Henry, 1998:48) O método experimental concebido na Inglaterra diferia daquele do continente europeu, pois *“Quando Blaise Pascal, por exemplo, descrevia um experimento, apresentava-o na forma de afirmação universal sobre o modo como as coisas acontecem. Se você fizer isto e isto, então acontecerá isto. Robert Boyle, um luminar entre os filósofos experimentais ingleses, opunha-se frontalmente a tal coisa.”* (Henry, 1998:49). Na interpretação de Boyle (inglês), Pascal (francês) descrevia como se fora um relatório o que aconteceria se suas suposições estivessem corretas. Assim como Bacon, Boyle *“(…) acreditava ser sempre possível montar um experimento que parecesse confirmar as idéias preconcebidas do experimentador.”*(Henry, 1998:50). Boyle foi, depois de Bacon, um dos grandes promotores do método experimental na Inglaterra, junto com outros investigadores pertencentes a já existente Royal Society. Para eles o método experimental destinava-se meramente a estabelecer matérias de fato. *“Por isso, afirmava-se que o método inglês era isento de quaisquer tendenciosidades introduzidas por idéias teóricas preconcebidas.”* (Henry, 1998:51).

Como citamos no início, são fáceis os deslizes que levam a adentrar na História e desviar do objetivo maior. Aqui o desvio foi proposital, para registrar ao menos *“en passant”* que diversos eram os investigadores que faziam uso de diferentes procedimentos experimentais, como Boyle e Pascal. Se alguns procedimentos divergiam ou a maneira de expor as conclusões era diferente, havia unanimidade em torno da preservação de um ideal.



As eventuais divergências que se pode notar no discurso experimental francês e inglês, além dos aspectos naturais de novidade e fonte de polêmica, do ponto de vista de sua utilidade e operacionalidade per si na construção do conhecimento, trazem elementos sócio-ambientais em sua origem e interpretação. Afinal, não se pode negar os aspectos históricos dos dois povos e suas diferentes concepções de mundo. Henry (1998:52) resume, em nosso entendimento, de forma didática esta diferença quando diz que “ *A análise histórica (...) mostra que de fato nossa visão atual da validade e eficácia do experimentalismo tem suas origens, como o próprio método experimental, em várias estratégias sociais, políticas e retóricas usadas no período moderno inicial para vários propósitos locais, históricos.*” Portanto a experimentação foi historicamente construída, como instrumento de construção do conhecimento científico e se submetia às diferentes concepções hegemônicas nos grupos sociais em que era utilizada.

Um bom exemplo desta influência social, local e histórica é a obra de Licoppe (1996), que apresenta uma análise histórica da questão da experimentação como elemento de prova do conhecimento na França e na Inglaterra entre 1630 e 1820. Em sua análise, o autor transforma um objeto do campo epistemológico (método experimental) em objeto de história social e cultural (os procedimentos de construção do saber empírico) (Licoppe: 1996). Seu trabalho mostra que a evolução do discurso experimental é uma necessidade, patente em sua análise, pois deve satisfazer as condições de prova. “*Este estudo da prova experimental se apoia sobre uma leitura da maneira em que os relatórios e textos experimentais negociam a construção de fatos empíricos e mais precisamente sobre o estudo de estratégias literárias elaboradas para diminuir o fosso que separava a narração de uma prova empírica e a descrição de um fenômeno novo.*” (Licoppe, 1996:14). Chama atenção para uma estrutura literária ternária bastante utilizada nos primeiros relatos experimentais: “*Eu fiz – eu vi – daí vemos*”. Licoppe mostra que a utilização dessa composição ternária indica três momentos distintos, através dos quais o investigador/autor procura localizar o seu leitor no contexto do fenômeno físico narrado. O “eu fiz” procura identificar o objeto de estudo – permitindo um texto prescritivo seqüencial, do tipo fazer tal e tal coisa. Para

“eu vi”, fica reservada a descrição das relações causais, do efeito observado. Finalmente, quando utiliza o “daí vemos” se inicia a narrativa que contempla o processo de interpretação. O uso da primeira pessoa nos relatos, não exclui a presença de testemunhas quando da realização do experimento. Era fundamental o testemunho de nobres ou pessoas da respeitabilidade, pois eles é que davam o valor de prova, de veracidade às conclusões e interpretações do investigador. Quando em 1820 Oersted publicou seu trabalho sobre campo magnético e corrente, ainda utilizava pessoas socialmente conhecidas e de prestígio para dar testemunho de suas observações e conclusões.

É interessante notar as necessidades que o método experimental e a experimentação geraram junto aos investigadores e, de forma indireta, aos leitores ou usuários dessa nova ciência: a necessidade de estabelecer um novo tipo de discurso ou narrativa literária. A literatura que fazia uso de uma linguagem passional ou romântica teve de dar lugar a uma linguagem mais precisa, isenta de sentimentos e cuja interpretação fosse a mesma junto ao público alvo. Afinal, *“A elaboração da metodologia experimental não foi obra de uma intervenção divina, mas de esquemas mentais e sociais precisos. Porque a experimentação consiste na transposição, no nível das atividades intelectuais consideradas nobres, dos procedimentos de controle caros aos empresários realistas. (...) Os trabalhos teóricos de Galileu e de seus sucessores situam-se no prolongamento direto de todo o movimento sócio-cultural dos práticos. Assim, na escolha mesma de seus temas (cinemática, dinâmica, hidráulica, resistências dos materiais, etc.) e de seus procedimentos (quantificação, experimentação), a ciência se submete a exigências sociais.”* (Japiassú, 1997:169) E são estas mesmas exigências que requerem um discurso científico cada vez mais preciso, eliminando ao máximo as informações ou descrições desnecessárias. Das primeiras narrativas que descreviam os procedimentos e os resultados experimentais até nossos dias, modificações se fizeram presentes em uma evolução tal, que o relato experimental atual, além de se apresentar em um formato padronizado (vide revistas científicas), faz uso de um repertório literário codificado e refinado, de domínio restrito aos iniciados. Afinal *“(...) essa própria linguagem evolui segundo uma história complexa onde intervém ao mesmo tempo o balanço das respostas contidas da natureza, a relação às*

*outras linguagens teóricas e também a exigência que renasce sem cessar sob novas formas, em novas questões, de compreender a natureza segundo o que cada época define como pertinente.” (Prigogine & Stengers, 1991:32)*

## 8. A TÍTULO DE SÍNTESE

Nossa discussão neste capítulo se pontuou na interpretação dos procedimentos ligados ou decorrentes das atividades associadas aos atos da experiência e experimentação, quando subordinados à construção de conhecimento.

A “experiência” foi associada aos procedimentos ou atitudes manifestadas pelo leigo na construção de um conhecimento próprio que, denominado de senso comum, tem por base primária as relações sensoriais como mundo físico que o rodeia. Faz-se requisitada na observação e especulação espontânea ou fortuita e, de certa forma, descompromissada do ser humano nas suas interações com o entorno sócio-ambiental. O empírico ingênuo é a fonte de suas relações de causa e efeito. Não se caracteriza por uma seqüência de passos ou fases. Pode até, em determinadas situações, se constituir de fases, mas estas guardam poucas relações entre si.

No momento em que o Homem sentiu a necessidade de transcender a “doxa” e construir uma “episteme” relativa aos fatos da natureza, fez dessa empreitada um projeto ou ideal da humanidade. Ultrapassando seus instrumentos naturais (sentidos), adota um proceder premeditado e circunstanciado. O fato bruto oferecido pela natureza é transmutado em fato científico, quando então se torna passível de análise através do diálogo experimental, regido por procedimentos próprios construídos historicamente.

A “experimentação” fica assim associada à produção de um conhecimento mais elaborado, que procura dar conta de situações mais amplas, mais generalizantes ou mais universais – a episteme. Sendo o conhecimento uma construção humana, fruto dos diferentes momentos históricos, estará subordinado às mais diferentes influências provenientes do caldo cultural da época. Na esteira que transporta os novos valores sociais que fomentam novos conhecimentos, a experimentação também se faz modificar conforme as novas métricas geradas pelos novos valores. Portanto, a experimentação sofreu um

processo dinâmico ao longo dos tempos, enquanto que a experiência permanece dependente da vivência de cada um de nós.

Esta demarcação entre experiência e experimentação se torna pertinente para o nosso propósito de estabelecer os domínios e abrangências do saber, ou seja, quem realiza e quem está autorizado a fazer uso do que. Nosso desejo é que a demarcação deixe claro que a experiência é um atributo natural do Homem leigo e espelha um proceder livre com o seu meio ambiente para a construção de algum conhecimento, enquanto que a experimentação é um método construído e de uso particular do Homem investigador na construção do conhecimento científico. Enquanto a experiência está ao alcance de todo ser humano sem nenhuma restrição de uso, a experimentação é restrita ao intelectual quando do exercício profissional de construção do saber.

O deslocar da experiência à experimentação e o entendimento desta última como método para alcançar o conhecimento, está estreitamente ligado à interpretação dada pelos diferentes autores ao processo ou forma de organizar o pensamento para chegar ao referido conhecimento. Esta direção forneceu o norte para a escolha dos autores mais representativos ou que por sua popularidade, marcaram presença no processo histórico.

De Platão, aprendemos que o conhecimento é fruto da reflexão do homem consigo mesmo, e seu processo se fundamenta no uso da razão, e na dedução. Elementos factuais não são considerados no primeiro momento, servindo apenas para, se necessário, confirmar as conclusões racionalmente elaboradas. Aristóteles coloca o empírico em evidência e alia a indução à dedução, para chegar ao conhecimento verdadeiro. Seu método, denominado indutivo-dedutivo, foi hegemônico por longo tempo. Sua seqüência contempla os seguintes passos: (1) observação de um grande número de fatos, sobre os quais reflito e, indutivamente, proponho uma hipótese ; (2) a partir da hipótese, por dedução analiso outros fatos para checar a validade da mesma e ; (3) novos fatos são observados e submetidos à verificação dos resultados deduzidos. Seria uma seqüência do tipo observação (fatos) – indução – hipótese – dedução – fatos. “*Esse método, aceito como primeiramente proposto por Aristóteles e, na*

*Idade Média, fortemente apoiado por Robert Grossetesta e Roger Bacon, chama-se indutivo-dedutivo. Grossetesta denominava o estágio indutivo de 'resolução' e o dedutivo de 'composição', razão pela qual o método foi posteriormente também conhecido por 'método da resolução e composição.'* (Freire-Maia, 1992:52) Relembrando, as divergências tanto de Grossetesta como de Bacon em relação a Aristóteles estavam no tratamento e valorização das observações na construção do conhecimento. Em essência, o que diferia entre os três pensadores era a interpretação dos fatos observados e a necessidade de quantificação (matematização da natureza); no entanto, era admitido o mesmo proceder experimental.

Em um mesmo período, extremamente rico, Francis Bacon, Descartes e Galileu oferecem suas concepções de Ciência e os procedimentos para chegar ao conhecimento científico. De Bacon, herdamos o método indutivista que prioriza a coleta de fatos adquiridos por intermédio de observações. A quantidade de observações, registradas adequadamente em tabelas, autoriza a utilizar a indução para chegar as generalizações. *"A resposta indutivista é que, desde que certas condições sejam satisfeitas, é legítimo generalizar a partir de uma lista finita de proposições de observações singulares para uma lei universal."* (Chalmers. 1993:26).

No sentido oposto ao de Bacon, Descartes, com o seu racionalismo, faz da dúvida e da matemática suas ferramentas processuais para elaborar suas verdades, desconsiderando qualquer observação empírica como base inicial do conhecimento. Adotando a regra de que nada é certo, duvida de tudo que provém dos sentidos (observações empíricas) e estabelece como ponto de partida as idéias. Por meio de um raciocínio lógico (matemático) elabora os primeiros princípios e, destes, de forma ordenada e gradual, chega a formas mais sofisticadas de conhecimento. O método, para Descartes é como um *"mecanismo que assegura o emprego adequado da razão nas suas duas operações intelectuais fundamentais: a intuição e a dedução."* (Andery, 1988:202). A intuição é subordinada à razão que oferece as evidências primárias necessárias para, através da dedução, chegar às verdades finais.

Não comentamos anteriormente sobre Isaac Newton, uma vez que sua importância não está no fato de propor um método experimental ou interpretação nova, mas sim no seu papel como adotante, usuário e divulgador. A adoção e defesa do método indutivista-dedutivista, aliada ao sucesso da obra de Newton, torna-o extremamente conhecido e popular. A divulgação desta concepção de produção científica transcende o meio intelectual e se instala junto ao público leigo. Passa a fazer parte do senso comum como se fosse uma espécie de “explicação vulgar do fazer ciência”, valorizando o aspecto indutivista do método. Esta popularização se fortaleceu com o passar do tempo e se alojou no conhecimento vulgar de tal modo, que passa a influenciar toda a sociedade. No próximo capítulo, analisaremos com mais detalhes esta influência na organização dos livros didáticos.

Inglês do século XVII, Newton foi influenciado pela concepção indutivista-dedutivista predominante na cultura inglesa, tornando-se um defensor ferrenho do método. Os passos que Grosetesta, como vimos, denominava de resolução (fase indutiva) e composição (fase dedutiva) passaram a se chamar “análise” e “síntese”. Freire-Maia (1992:52) extraiu dos textos de Newton trechos que deixam claro seu pensamento em relação ao método indutivo-dedutivo. Por exemplo, quando afirma que *“Na filosofia experimental devemos considerar as proposições inferidas dos fenômenos por uma indução geral como exatas ou ao menos como aproximadamente verdadeiras, não obstante qualquer hipótese contrária que se possa imaginar, até o momento em que outros fenômenos ocorram que as façam mais exatas ou sujeitas a exceções.”*(...) *Esta regra deve ser seguida para que o argumento da indução não se perca em hipóteses*” (Principia, 2ª. edição, loc.cit. p. 166). Sem dúvida, Newton deixa clara sua opção pela indução e dedução como método para análise experimental. Para efeitos de maior convencimento, Freire-Maia encontra no livro *“Óptica”* (1704) de Newton, trechos que explicitam o uso do método. Lembrando que Newton denominava indução de análise e dedução de síntese, vejamos este trecho extraído de *Óptica*: *“Esta análise consiste em fazer experimentos e observações, e em traçar conclusões gerais deles por indução, não se admitindo nenhuma objeção às conclusões, senão aquelas que são tomadas dos experimentos, ou certas outras verdades.”*(...) *Por essa maneira de*

*análise podemos proceder de compostos ingredientes, de movimentos às forças que os produzem; e em geral, dos efeitos e causas, e de causas particulares mais gerais, até que o argumento termine no mais geral. Este é o método da análise; e a síntese consiste em assumir as causas descobertas e estabelecidas como princípios, e por elas explicar os fenômenos que procedem delas e provar as explicações.*” (apud Freire-Maia, 1992:54-grifo nosso).

Não podemos esquecer de Galileu nesta síntese, pois afinal é considerado o grande fundador da ciência moderna. De fato, Galileu é mais lembrado por suas contribuições à ciência e pela defesa da experimentação, que faz ser acompanhada da Matemática, do que por discussões detalhadas do método experimental. “*De 1605 em diante, a observação e a experiência tornaram-se para Galileu a base sólida da ciência. Quando possível, fazia medições, e estas forneciam-lhe a única certeza que atribuía às suas conclusões, tanto na astronomia como na física.*” (Drake,1981:69). Nas obras de seus analistas e historiadores (Duhem, Koiré, Randall Jr e outros) não se encontra uma descrição formal dos passos/fases/etapas adotados por Galileu do seu “método experimental”. O papel inquisidor atribuído por Galileu à experimentação é o mote da análise filosófica desses estudiosos e não a seqüência do método. Reunindo os ingredientes da observação, experimentação e matemática, o trabalho de Galileu se adequa ao que hoje denominamos de método hipotético-dedutivo. Frente a um fenômeno físico, é formulada uma idéia ou hipótese que seja capaz de explicá-lo. Esta idéia pode nascer, sem que nenhum processo indutivo a tenha gerado e, uma vez de posse da idéia, o pesquisador procura saber, por dedução, se os fatos ou fenômenos estão de acordo com ela. Maia-Freire (1992:55) resume o método nos seguintes passos: (1) hipótese [antecedida ou não de fenômenos observados]; (2) dedução; (3) fenômenos. Quando se diz antecedida ou não de fenômenos observados, isto significa “observados pelo cientista que desenvolveu a hipótese”. O circuito é o seguinte: fenômenos → . . . → hipótese → dedução → fenômenos.”

Outras proposições metodológicas foram objeto de estudo de diversos filósofos ao longo do tempo. As diferenças ou divergências, de modo geral, são de ordem filosófica, isto é, na admissão e aceitação de que a informação



primeira é de ordem racional ou empírica. A indução e a dedução também foram alvo de discussões sob os mais diferentes prismas. David Hume (1711-1776) se dedica ao problema lógico da indução, que foi retomado por Stuart-Miil (1806-1873) com o objetivo de torná-la legítima. Independente dos litígios e opiniões acadêmicas dos filósofos e epistemólogos do século XIX relativas ao método científico, a Ciência avançava, promovendo um progresso e desenvolvimento significativos. Este progresso demonstrava e convencia a humanidade da excelência do método científico para conhecer a realidade. *“Filosofias como o positivismo de Comte e o evolucionismo de Spencer traduziam o otimismo generalizado que exaltava a capacidade de transformação humana em direção a um mundo melhor”*. (Aranha e Martins, 1993:162).

A fé no método científico, entendido como processo experimental do ponto de vista do grande público consumidor, aliada à doutrina positivista com sua pregação científicista, populariza uma concepção de ciência ligada aos fenômenos naturais o que, por sua vez, vulgariza o indutivismo ingênuo. *“No entanto, ainda no século XIX e no início do século XX, algumas descobertas golpearam rudemente as concepções clássicas, originando o que se pode chamar de crise da ciência moderna. São elas as geometrias não-euclidianas e a física não-newtoniana.”* (Aranha e Martins, 1993:162). Esta crise abala os princípios do mecanicismo e o determinismo da Física Clássica, abrindo espaço para reavaliação do conceito de ciência, dos critérios de certeza, da relação entre ciência e realidade, da validade dos modelos científicos, etc.

Filósofos e pensadores modernos passam a discutir, melhor dizendo, rediscutir a ciência, o que resulta em novas orientações epistemológicas. Dos epistemólogos modernos, podemos citar os mais conhecidos e polêmicos como Popper, Kuhn, Bachelard, Feyerabend, Lakatos e Bunge. Não será comentada ou discutida a linha de pensamento de cada um deles, apenas estamos citando-os para expor a pluralidade de concepções pelas quais a ciência passa a ser interpretada a partir de meados do século XX. A polêmica é o combustível das divergências entre estes pensadores, que através de suas análises internalistas ou externalistas da ciência, sempre encontram defensores ou críticos. O consenso é a inexistência de consenso relativo ao construir da ciência e de suas

verdades. No entanto, enquanto os filósofos e epistemólogos continuam suas polêmicas e construções filosóficas a respeito da ciência, os cientistas, alheios a estes debates, continuam a fazer ciência do mesmo jeito, isto é, com procedimentos idênticos aos de um século atrás. E é justamente este o ponto que queremos ressaltar. A ocorrência de discussões sobre a validade do ou dos métodos científicos por parte dos epistemólogos, não interfere em hipótese alguma na produção científica. Os cientistas continuam a realizar seu trabalho como profissionais da construção do saber científico, desconhecendo maiores implicações filosóficas da retórica epistemológica.

Esta alienação dos cientistas para com aqueles que fazem de seus procedimentos e processos de investigação alvo de debate, deixa claro que os tais procedimentos são de seu exclusivo domínio. Em outras palavras, o método experimental é um construto construído pelos investigadores dos fenômenos da natureza, para elaborar explicações acerca dos mesmos. Em nenhum momento do percurso histórico do método experimental houve alguma menção de que seria também um processo para ensinar conhecimento científico (ciência). O método experimental, portanto, *foi/é um processo elaborado historicamente para construção do conhecimento científico.*

Se, de um lado, o método experimental não foi elaborado para ensinar, não eliminava a necessidade de que deveria ser ensinado aos futuros investigadores ou “usuários profissionais” como instrumento de investigação. Além disso, o sucesso do método experimental foi se impondo, na medida que a ciência começava a produzir conhecimentos que se mostravam úteis aos meios de produção. Não podemos esquecer a máxima de Bacon – “*Saber é poder*”.

Para ilustrar o papel do método experimental nos meios de produção, encontramos em Petitat (1994), uma análise da organização das escolas técnicas no final do século XVIII, na França, que promoveu a introdução do laboratório e da experimentação científica no sistema de ensino. De certa forma, isto provocou uma mudança nos procedimentos pedagógicos, afastando os alunos das “condições concretas das práticas produtivas” para valorizar um discurso teórico da natureza e de suas leis. A classificação de objetos, teorias sobre a

Mecânica, a Hidrodinâmica e a Química, por exemplo, são agora apresentadas na forma de um “discurso” relativo à natureza e suas leis, longe dos locais onde este conhecimento era aplicado. *”A escola introduz na classe o objeto de seu discurso em uma forma resumida: ao invés do trabalho concreto na mina e da obra, a linguagem erudita (com termos retirados da produção científica) e uma relação com a natureza por intermédio do laboratório.”* (Petitat, 1994:129-grifo nosso). A valorização do discurso científico e suas práticas (laboratório) por meio da introdução de técnicas, objetos e de demonstrações, permitiram uma relação mais direta com o trabalho e os modos de produção, objetivo formador dessas escolas técnicas. *“Esta introdução de objetos, de instrumentos, de máquinas e de experiências no ensino caminha de mãos dadas com a grande moda do século XVIII, os laboratórios de história natural, de física e de química.* (Petitat, 1994:129-grifo nosso).

Confirmando a idéia de propriedade exclusiva do cientista, tomamos emprestado um comentário de Duhem (1989) referindo-se à descrição de um experimento visto por leigo e por um físico. *“(...) como toda experiência da física, comporta duas partes: consiste, em primeiro lugar, na observação de certos fenômenos; para fazer essa observação, basta estar atento e ter os sentidos suficientemente apurados; não é necessário saber física. Em segundo lugar, ela consiste na interpretação dos fatos observados; para poder fazer esta interpretação, não basta ter a atenção de sobreaviso e o olho exercitado, é **preciso conhecer teorias admitidas**, é preciso saber aplicá-las, é necessário ser físico.”* (Duhem, 1989:87-grifo nosso). Fica claro, pela concepção do autor, que o pleno exercício da experimentação é somente de domínio do cientista, pois somente ele detém o corpo teórico que o autorizará às interpretações coerentes e lógicas enquadradas na teoria adotada.

O domínio do corpo teórico por parte do físico, na leitura de Duhem, é de vital importância pois fornece o suporte para o julgamento de hipóteses submetido à análise experimental. Para ele, *“O método experimental não pode transformar uma hipótese física em uma verdade incontestável, pois jamais se está seguro de haver esgotado todas as hipóteses imagináveis referentes a um grupo de fenômenos.”* (Duhem, 1989:97).

Fica assim caracterizada a experimentação como instrumento de produção do conhecimento científico e de uso restrito ao cientista. Resta, portanto, saber quais as implicações do papel da experimentação no processo de ensino.

## 9. BIBLIOGRAFIA (Cap. 3)

- ANDERY, M.A et al Para compreender a ciência: uma perspectiva histórica. Espaço e Tempo, Rio de Janeiro, 4<sup>a</sup> Ed. 1988
- ANDRADE, J.A R de Francis Bacon. Col. Pensadores. 2 ed. São Paulo. Abril Cultural. 1979.
- ARANHA, M.L. de A. & MARTINS, M.H.P. Filosofando. Introdução à Filosofia. Ed. Moderna .São Paulo. 1993.
- BLANCHÉ, R. El metodo experimental y la filosofia de la fisica. Fondo de Cultura Económica. México. 1975.
- BORGES, R. M.R. Em debate: cientificidade e educação em ciências. SE-CECIRS. Porto Alegre. 1996.
- CASINI, P. Newton e a consciência europeia. UNESP. São Paulo. 1995.
- CHALMERS, A A fabricação da ciência. Ed. UNESP. São Paulo. 1994.
- CHALMERS, A O que é ciência afinal? Ed. Brasiliense. São Paulo. 1993.
- COELHO, S.M. & NUNES A D. Análise de um texto do século XVII, "A grande experiência de equilíbrio dos líquidos", de Pascal: aspectos do método experimental e reflexões didáticas. "Revista Brasileira de Ensino de Física. 14 (1) Abril ,24-28. 1992
- COMBRIE, A C Grosetesta y la origen de la ciencia experimental Gedisa. Ed. Barcelona. ed. 1984
- COMBRIE, A C. História de la ciencia: de San Agustin a Galileo. Siglos V-XIII/1 Alianza Editorial, S.A, Madrid. 1987. (a)
- COMBRIE, A C. História de la ciencia: de San Agustin a Galileo. Siglos XIII-XVII/2 Alianza Editorial, S.A, Madrid. 1987. (b)
- DELIZOICOV, D. & ANGOTTI, J.A Física São Paulo: Cortez, 1991.
- DRAKE, S. Galileu Publicações Dom Quixote. Lisboa. 1981.
- DUHEM, P. Algumas reflexões acerca da física experimental. Ciência e Filosofia. São Paulo (4) 87-118. 1989.
- EPSTEIN, I. Revoluções científicas. Ed. Ática. São Paulo. 1988.
- ESCOBAR, C.H. de. As ciências e a filosofia. Imago, Rio de janeiro. 1975.
- FREIRE-MAIA, N. A ciência por dentro. Ed. Vozes. Petrópolis. 1992
- GEYMONAR, L. Limites actuales de la filosofia de la ciencia. Editorial Gedisa. Barcelona. 2<sup>a</sup> ed. 1993.

- GUSDORF, G. Mito e Metafísica. Convívio. São Paulo. 1979.
- HENRY, J. A revolução científica e as origens da ciência moderna. Rio de Janeiro. Jorge Zahar. Ed.1998
- HESSEN, J. Teoria do Conhecimento. Armênio Amado Ed. Coimbra. Portugal. 1987.
- KOIRE, A Estudos de História do pensamento científico. Ed. Forense. Rio de Janeiro. 1982.
- KOPNIN, P.V. Fundamentos lógicos da ciência Civilização Brasileira. Rio de Janeiro. 1972.
- KUHN, T.S. A revolução Copernicana. Rio de Janeiro. Edições 70. 1982.
- LICOPPE, C. La formation de la pratique scientifique – le discours de l'expérience en France et en Angleterre (1630-1820). Éditions La Découverte. Paris. 1996.
- MATALLO JR., H. A problemática do conhecimento. In. CARVALHO, M.C. (Org.) Construindo o saber: técnicas de metodologia científica. Papirus. Campinas . 1988
- MOREIRA, M.A & LAGRECA, M.C.B. Representações mentais dos alunos em Mecânica Clássica: Três casos. Investigação em Ensino de Ciências. 1998. 3 (2) IFUFRGS, Porto Alegre, RS. 1998
- MORTIMER, E.F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? Investigação em Ensino de Ciências. 1996. 1(1).IFUFRGS. Porto Alegre. RS.
- PETITAT, A Produção da escola. Produção da sociedade. Artes Médicas. Porto Alegre. RS. 1994.
- PRIGOGINE, I. & STENGERS, I. A nova Aliança. Brasília. Ed. Universidade Brasília, , 1991.
- RONAN, C. A. História ilustrada da ciência. Universidade de Cambridge. São Paulo : Círculo do Livro, v. 1. 1987.
- ROSMORDUC, J. Uma história da Física e da Química – de Tales a Einstein. Trad. Leila V. C. Faria. e Nelson V.C. Faria. Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editor. 1988
- ROSSI, P. A ciência e a filosofia dos modernos. São Paulo: Ed. UNESP. 1992
- SANTOS, J.T. Galileu Galilei Dialogo dos Grandes Sistemas. (Primeira Jornada). Gradiva. Lisboa. 8 ed. 1992.

- STENGERS, I. Quem tem medo da ciência Siciliano. São Paulo. 1990.
- VERNANT, J.P. As origens do pensamento grego. 2<sup>o</sup> ed. Difel: São Paulo, 1977.
- VERNANT, J.P.. & VIDAL-NAQUET, P. Mito e tragédia na Grécia Antiga.  
Duas Cidades, São Paulo, 1977.
- PIETROCOLA, M. Construção e realidade: modelizando o mundo através da Física. In. PIETROCOLA, M. Rompendo a dicotomia teoria-prática nos curso de formação continuada de professores de Física: o projeto pró-ciências de física da UFSC. 2000 (Submetido)
- BACHERLARD. G. O novo espírito científico. In. Os Pensadores. São Paulo. Abril Cultural, 1978.

## CAPITULO 4

### *ANÁLISE DO LABORATÓRIO DIDÁTICO À LUZ DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA*

#### 1. INTRODUÇÃO

No capítulo anterior foram assinalados os momentos em que a interpretação dada ao “empírico” determinava a forma de chegar ao “verdadeiro” conhecimento. Dos conflitos filosóficos e epistemológicos o procedimento experimental toma forma própria, mostrando-se um excelente instrumento de investigação. Regras e procedimentos negociados e compartilhados pelos investigadores, possibilitando por meio da experimentação, o tratamento do empírico, em um contexto fora daquele com que se apresenta no cotidiano (senso comum).

Neste capítulo vamos procurar localizar o caminho da institucionalização do laboratório didático no ensino formal de Ciências/Física. A introdução do laboratório didático deve der ocorrida em dado momento histórico, respondendo aos propósitos de um projeto de educação, cumprindo um papel e função bem definidos.

No espaço escolar a transmissão do conhecimento é realizada pelos professores que, por sua vez, utilizam livros textos didáticos e manuais próprios na orientação de suas aulas. Estes textos escolares, que não foram elaborados pelos cientistas, seguem uma formatação e seqüências didáticas ajustadas ao fim a que se destina. Tem-se ainda a participação do laboratório didático e suas práticas, como um substantivo próprio, na medida em que foi entendido como tão necessário para o professor ensinar ciências como para o cientista fazer ciência. Estes seriam os meios mais “permanentes”, se entendidos como os mais representativos e constantes no contexto. Os componentes “temporários”, mais vulneráveis a mudanças, reúne desde as diferentes opções metodológicas de



ensino, mudanças de pensamento dos professores e a própria escola como instituição,

A interligação dos meios “permanentes” e os “temporários” são evidentes e dispensam maiores comentários. Mas qual deles seria o de maior influência na divulgação da concepção empirista? Pelo seu caráter transitório descartaremos os “temporários” e focalizaremos nossa análise sobre os componentes “permanentes”: livros textos e laboratório didático. Sobre este último centraremos nossa atenção pelo fato de tratar dos fenômenos físicos e por ter agregado o método experimental para o tratamento dos fatos físicos.

Na literatura encontramos na Transposição Didática, um instrumento de análise que oferece uma interpretação da maneira como os conteúdos e procedimentos didáticos de Ciências se organizam em livros textos e manuais escolares. A visão interpretativa da Transposição Didática nos pareceu bastante eficiente e satisfatória para auxiliar na elaboração das respostas para as questões colocadas acima. Além disso, ela fornece dentro de uma certa ótica, as diretrizes para uma interpretação do papel e do “modus operandi” do laboratório didático no processo de ensino-aprendizagem.

## 2. A TRADIÇÃO DO LABORATÓRIO DIDÁTICO

No capítulo anterior traçamos uma possível trajetória do método experimental na produção do saber científico, conforme interpretação de diferentes pensadores em diferentes momentos históricos. Foi possível caracterizar o trabalho experimental ou a experimentação, como uma estrutura orgânica construída historicamente pelos filósofos da natureza, na tarefa de explicar os fenômenos dessa mesma natureza. Este processo histórico se subordinou às necessidades humanas que se modificaram ao longo do tempo, aos meios de produção que evoluíram e, às diversas interpretações e concepções de mundo adotadas em diferentes períodos. A importância dada ao método experimental na construção do conhecimento é tal que *“Para muitos historiadores o experimento é uma parte natural, talvez a que define a ciência”* (Cantor, 1993: 162).

Neste mesmo traçado histórico também ficou demarcado que a “experimentação” se constitui de procedimentos de uso exclusivo dos cientistas, enquanto que, “a experiência”, passa a ser entendida como um atributo natural de todo ser humano nas suas relações e explicações de mundo. Pelo seu caráter especulativo, ingênuo e espontâneo a experiência foi considerada uma atividade inadequada para a investigação dos fenômenos naturais, pois carece de validade científica.

Se a experiência se mostrou inadequada ao fazer científico, o uso da experimentação também não se mostrou muito adequada ao ensino, basta lembrar as preocupações que Duhem (1989) manifestou em seus ensaios, com relação ao uso da experimentação no ensino de Física. Ao criticar que o método experimental não pode transformar uma hipótese física em verdade, pois nunca se estará seguro de ter varrido todo o leque de hipótese, diz que quando levada para o ensino de Física, este equívoco cria uma situação onde *“Pretende-se que professor organize todas as hipóteses da física em uma certa ordem.”* (Duhem, 1989:97). Em outras palavras, as hipóteses seriam apresentadas ordenadamente e a prova experimental substituiria eventuais demonstrações. Nada que não tivesse justificativa nos fatos seria ensinado. *“Essa maneira de conceber o*

*ensino da física deriva de uma concepção errônea da ciência experimental.*” (Duhem, 1989:97). Ora se para interpretar a menor das experiências é necessário conhecer todo o corpo teórico associada ao mesmo conjunto de fenômenos, imagina-se que (...) *“o professor desenvolva pois, em primeiro lugar, as teorias essenciais da ciência; sem dúvida, expondo as hipóteses sobre as quais repousam essas teorias, é preciso que assinale os dados do senso comum, os fatos recolhidos pela experiência vulgar, que conduziram a formular essas hipóteses.”* (Duhem, 1989:98). Para Duhem o ensino de Física deve se permitir que o aluno apreenda que as verificações experimentais não são a base da teoria, antes pelo contrário, são o seu coroamento. Daí fazer uso da experimentação – entenda-se aqui como a reprise experimental do cientista – é equivocado seja do ponto de vista didático como do ponto de vista da interpretação epistemológica da ciência experimental. O uso tal e qual da experimentação utilizada pelos cientistas configura-se como um artifício equivocado para o ensino de Física.

Quase um século após, outros autores (Tamir, 1991; Millar, 1991; Cantor, 1993) também fazem coro às preocupações de Duhem. Existem divergências no que se refere às razões que geram tais preocupações, mas o importante é que todos apontam para o mesmo alvo: o insucesso didático de como se acomodou a experimentação e o método experimental no processo de ensino de Física. Em particular, Cantor (1993,166) chama atenção, não só no uso inadequado, como também no tipo de relato e/ou descrição das experimentações oferecidas pelos livros didáticos no sentido de que *“Eles dizem ao leitor como as coisas são, e inculcam o tipo de empirismo que os filósofos da ciência tem tentado duramente destruir”*.

Neste contexto percebe-se que tornar a experimentação presente no processo educacional não significa um bom ensino. O que geralmente se obtém é a disseminação, de maneira mais intensa, de concepções equivocadas sobre a construção do conhecimento científico. A partir das fontes analisadas é possível perceber que, nas pesquisas realizadas, nas propostas metodológicas ou nos procedimentos didático-pedagógicos sugeridos e até nos textos de Ciência, há uma concepção epistemológica norteadora (Hodson, 1985). Um olhar mais

atento indica que, na maioria das vezes, esta adoção de concepção epistemológica não é explicitada, mas assumida tácita e acriticamente. Alguns autores (Cawthron e Rowell, 1978; Hodson, 1985, Millar, 1987; Woolnough, 1991) são enfáticos ao afirmar que nos textos de ciências predomina a concepção epistemológica empirista-indutivista.

Esta concepção é responsável pela popularização de uma certa **“imagem de ciência”**. Tal imagem popular exhibe uma ciência positiva, elaborada no interior dos laboratórios, através da realização de experimentos e coleta de dados. Ela fez proliferar junto ao público leigo um conjunto de teses que, ao se fundir com o senso comum, define o funcionamento da Ciência. Estas teses, de certo modo, são “palatáveis” e de mais fácil aceitação pelo leigo, na medida em que se aproxima de seus conceitos intuitivos a cerca do mundo, da realidade e das suas formas de acesso. As teses valorizam (a) a observação como fonte do conhecimento, pois é através dela que se apreende o real, de maneira direta, ou indiretamente através das experiências; (b) a imaginação, especulação ou a intuição são elementos dispensáveis à obtenção do conhecimento científico; (c) as teorias científicas são descobertas através dos dados experimentais (empíricos), o que significa dizer que a ciência é neutra, isenta de pressupostos ou preconceitos; (d) os fenômenos observáveis são os únicos responsáveis pelo conhecimento científico, mas para isto é necessário utilizar o método científico para que possam ser analisados e organizados, adquirindo dessa forma validade científica.

Essas teses estão mais próximas do pensamento acrítico, pois aliam elementos altamente valorizados pelo senso comum – a observação e o concreto observável – com virtudes humanas do tipo *inteligência* para “descobrir” e *honestidade* para ser “isento de preconceitos”. Esta interpretação de ciência se torna satisfatória, pois se estabelece sobre elementos culturais de valor presente no cotidiano do “sujeito não aculturado cientificamente”. Este entendimento de ciência, de certa forma, procura justificar a aquisição de uma certa co-autoria, e, por conseguinte, faz o indivíduo se sentir participante da comunidade que julga e valida o conhecimento científico.

Esta imagem popular da ciência, que Chalmers (1993) denomina de indutivismo ingênuo e outros autores de empirismo-indutivista, colocam a observação como ponto de partida do conhecimento científico, desprezando a participação de qualquer tipo de hipótese, entenda-se pré-teoria, como geradora da observação. Esta visão reduzida e equivocada se transfere para todo o ensino de ciências e de Física, seja através da literatura escolar, seja através dos professores no exercício de sua prática docente. O entendimento popular do que é ciência (“indutivismo ingênuo”) se tornou e ainda é tão intenso, que transcendeu o escopo do senso comum e ganhou a própria academia. Pode parecer exagero esta afirmação, mas encontramos apoio em Tamir (1991:21) quando afirma que *“Infelizmente, a maioria dos professores hoje em dia estão mal preparados para ensinar eficientemente no laboratório”*. Ele se justifica citando Woolnough & Allsop (apud Tamir, 1991:21) quando afirmam que *“(...) a maioria dos professores de ciências cresceram eles mesmos sob uma dieta de conteúdo dominada pelo trabalho prático do tipo cook-book e, muitos adquiriram o hábito de propagá-lo por conta própria”*. Vale lembrar que o laboratório cook-book, já discutido, é aquele que melhor representa e simboliza o laboratório tradicional, onde o papel do estudante é seguir o rol de instruções para chegar ao resultado experimental “planejado pelo professor”.

Se existiram e/ou existem inquietações relativas ao uso da experimentação no ensino da Física, também é verdade a quase unânime aceitação ou, pelo menos, a inexistência de movimentos contrários, à presença do laboratório didático no ensino de Física. Um fato inquestionável é que *“As atividades práticas de laboratório há muito tem um papel central no currículo de Ciências”* (Lunetta e Hofstein, 1991:125), não esquecendo que *“O experimento tem um papel central na educação de ciências e na ciência propriamente dita”* (Millar, 1987:109), pois se entende que *“A característica da ciência escolar que mais claramente a diferencia de outras matérias do currículo é que as aulas de ciências ocorrem em laboratórios onde os estudantes e alunos conduzem investigações práticas e demonstrações.”* (Millar, 1991:43).

Este entusiasmo pelo laboratório didático não é recente e remonta às primeiras instituições escolares. Petitat (1992) se referindo ao ensino das escolas técnicas francesas no século XVIII diz que “No século XVIII, foram contados até 200 laboratórios de história natural em Paris, e outros 195 no interior. Isto sem contar mais de uma centena de laboratórios de Física, aproximadamente 50 de Química, e praticamente outros tantos observatórios, ou seja, ao menos 600 locais de experimentação e observações. Esta paixão pelas ciências atinge todas as camadas abastadas da população: nobres, burgueses, mestres de ofícios, ricos artesãos. Trata-se, talvez, mais de uma moda do que atração pela pesquisa sistemática, mas pouco importa. Estas práticas de observação e experimentação penetram no ensino, até mesmo em certos colégios humanistas, que montam também os seus laboratórios”. (Petitat, 1992:129-grifos nosso)

Esta popularização dos laboratórios e da experimentação científica junto às escolas técnicas francesas, pode parecer que foi para auxiliar o ensino de ciências. Obviamente o “modismo” favoreceu sua introdução mas com outra finalidade. “Na há dúvida de que este grande interesse pela experimentação científica influenciou a pedagogia das escolas técnicas, ainda que, em certa medida, observação e experimentação, sejam necessárias para ilustrar discursos que derivam exatamente de observações metódicas e de experiências” (Petitat, 1994:130). O objetivo era uma maior aproximação do aluno aos meios de produção através do laboratório, diminuindo as características puramente teóricas oferecidas pela escola. Sempre é bom lembrar que o corpo discente que frequenta as escolas à época se compunha em sua “(...) maior parte dos candidatos plausíveis provém de meios sociais burgueses, dos ofícios e das camadas superiores do artesanato e do comércio.” (Petitat, 1994:131). Pelo uso da experimentação era possível promover a aquisição de procedimentos e o domínio de instrumentos e de máquinas, que poderiam vir a serem utilizados nos meios de produção ou facilitariam o desenvolvimento de técnicas produtivas mais eficientes.

A oportunidade de oferecer aos estudantes situações concretas que testemunhavam a favor do novo discurso científico, por certo, sempre entusiasmou professores e mestres ao longo do tempo. O sucesso do método

experimental para a investigação e solução de problemas da natureza, certamente foi um dos determinantes da inclusão de experimentos nas escolas. Este entusiasmo pelo potencial instrucional do laboratório didático, se transfere aos professores e faz com que ele passe a partilhar e participar do sistema educacional. A participação do laboratório de ensino no processo didático exige sua submissão às diferentes concepções de ensino e respectivas propostas metodológicas, muitas delas aceitas apenas temporariamente ou regidas por um eventual modismo pedagógico. No plano didático sempre foi reservado um espaço ao laboratório didático, cujo papel nem sempre se ajustava aos argumentos pedagógicos, mas mesmo assim se fazia presente. Em outras palavras, ao mesmo tempo em que o laboratório didático fica sujeito às diferentes propostas pedagógicas e metodológicas - cuja função, muitas vezes, é de mero coadjuvante – teve sempre preservada a sua participação em qualquer tempo e hora.

Na realidade a razão que mais sustenta a presença do laboratório didático no processo de ensino está em um equívoco de interpretação do que é ciência. Esta interpretação enganosa sobre o fazer científico tem sua raiz no senso comum onde *“A imagem popular da ciência é de que o conhecimento é descoberto nos laboratórios através de experimentos que validam o conhecimento e garantem sua confiabilidade e credibilidade. A retórica da ciência escolar parte desta imagem, justificando a proeminência do trabalho experimental ao traçar paralelos entre a atividade dos alunos na sala de aula com a atividade profissional dos cientistas.”* (Millar, 1987:109).

O movimento renovador do ensino de ciências na década de 60, representado pelos grandes projetos de ensino que introduziram novos métodos e técnicas de ensino, valorizando a atividade e a participação do estudante no processo de ensino, não abandonou a concepção empirista. Ao contrário, fazendo do laboratório didático um dos grandes ingredientes da proposta renovadora, valorizava o método experimental, reforçando e popularizando, de forma subjacente, a concepção empirista.

Certamente, já mostramos com certa exaustão que a presença do laboratório didático no processo de ensino de Física é uma fonte permanente de polêmica, como pode gerar “preocupações” para alguns, se torna motivo de “entusiasmo” para outros. O entusiasmo fica por conta do argumento de que nas aulas de laboratório “(...) *a natureza concreta do trabalho do laboratório ajuda os alunos a focalizar sua atenção na tarefa; mesmo em caso de distração a atenção pode ser prontamente restabelecida. O laboratório oferece muito mais oportunidade para satisfazer a curiosidade natural, a iniciativa individual, o trabalho independente, para trabalhar em seu próprio ritmo e obter feedback constante com relação aos efeitos daquilo que se está fazendo.*”(Tamir, 1991:13)

Este argumento se contrapõe ao comportamento formal normalmente apresentado pelo estudante durante as aulas expositivas, onde o silêncio, a atenção e ordem são solicitados quase que durante todo o período de aula. Aflora, nas aulas de laboratório, a intenção oculta dos professores no alto grau de interação e interesse dos alunos transformando o espaço escolar em um ambiente agradável. Certamente que este ambiente de sala de aula onde existe um maior interesse, entusiasmo e interação dos estudantes, é incentivador ao trabalho do professor. Os aspectos de socialização, de respeito à velocidade de aprendizagem dos alunos; a possibilidade de manipular equipamentos e instrumentos, realizar medidas, coletar dados é extremamente “saudável” e favorece o clima de aprendizagem.

No entanto, nada assegura que o conteúdo científico que está sendo oferecido no laboratório didático seja apreendido, e é este argumento que se torna motivo de dúvida para o grupo dos “preocupados”. Esta dúvida pode ser detectada na seguinte afirmação: “*A mudança para cursos orientados para o laboratório nos anos 60 (época dos projetos), não se baseou em dados reais mostrando os méritos e superioridade de tais cursos, mas sim nas opiniões e convicções dos cientistas e líderes educacionais da reforma curricular. Uma revisão cuidadosa da literatura até o começo dos anos 80 indicou que a pesquisa havia fracassado na tentativa de defender a eficiência do laboratório.*” (Tamir, 1991: 15 - grifo nosso)



O laboratório didático, sem dúvida, foi uma espécie de “trunfo” dos intelectuais responsáveis pelo movimento renovador do ensino de ciências. Numa ótica mercadológica, necessária para o entendimento do contexto sócio-político da época, ele se mostrava um excelente instrumento para a quebra das estruturas antigas, onde o aluno era um elemento passivo no sistema educacional. De certa forma, a educação científica ainda estava no período escolástico, no qual a posição das obras de Aristóteles havia sido trocada pela valorização dos compêndios de cientistas famosos. No discurso renovador, inovar metodologias e técnicas didáticas significa também colocar o aluno no laboratório desempenhando um papel ativo, de modo que *“os alunos possam adquirir a sensação de fazer ciência, de ser cientista por um dia”* (Millar, 1987,109). A imagem do pequeno cientista se adequa aos propósitos renovadores junto ao grande público e, ao mesmo tempo, se coaduna com a imagem popular de ciência na qual, é no laboratório que surgem as “grandes descobertas”. O espaço escolar por ser o ambiente adequado, ofereceu condições favoráveis à propagação e divulgação da concepção do indutivismo ingênuo através da formatação do laboratório didático proposto. Assim, mesmo com o passar dos anos o laboratório didático, com maior ou menor grau de envolvimento, sempre foi elemento lembrado no processo de ensino de Física.

O laboratório didático concebido para uso nos grandes projetos, como já vimos, teve méritos ao oferecer novos instrumentos, equipamentos e montagens experimentais de excelente qualidade. A evolução e inovação, do ponto de vista tecnológico, oxigenou o instrumental, simplificando técnicas de medidas, favorecendo a manipulação instrumental e a aquisição de habilidades manuais. Este arsenal renovou o acervo do laboratório, no que se refere a material e experimentos, respondendo satisfatoriamente aos objetivos a que foram propostos, isto é, melhoria no processo ensino-aprendizagem de Física. O sucesso inicial sugerido pelos projetos de ensino estimulou o uso cada vez maior do laboratório didático, assim como inúmeras investigações envolvendo a eficácia e eficiência de seu uso.

Com o passar do tempo, mesmo com a grande quantidade de investigações relativas ao uso do laboratório, não foram encontradas respostas

satisfatórias que o defendesse, lembrando o que afirmou Tamir (1991) na última citação. Para efeitos de análise, vamos adotar a classificação de Amaral (1997) de que o laboratório didático foi concebido dentro de três grandes modelos de ensino e uma mesma concepção. O primeiro modelo está ligado ao (1) **ensino tradicional** onde o laboratório didático tem função de complementação ou verificação da teoria, cujos experimentos são realizados pelo aluno e planejados pelo professor. *“Neste cenário, admite-se que o aluno aprenda por imitação, memorização e repetição”* (Amaral, 1997:11). No (2) **ensino pela redescoberta** *“o papel da experimentação é propiciar a reconstituição induzida do conhecimento científico, ou seja, através da prática experimental dirigida o aluno alcança a teoria”* (Amaral, 1997:11). No (3) **ensino pelo método dos projetos ou pela descoberta** *“a experimentação ocorre como etapa de um processo de investigação em que o conhecimento visado é autonomamente construído pelo aluno, simulando uma pesquisa científica autêntica.”* (Amaral, 1997:12). O compromisso maior, incluso em qualquer um desses modelos, é o conteúdo científico. O primeiro se caracteriza por querer dar validade ao conhecimento científico já construído num ambiente de confirmação dos “dogmas da ciência”. No segundo modelo as atividades do aluno durante a redescoberta se fazem equivalentes ao método científico e o processo de produção do conhecimento é tratado como algo meramente empírico e indutivo. Amaral (1997:12) comentando sobre o terceiro modelo, o de projetos, diz que *“(...) nesse modelo, o ensino de Ciências, enclausura-se no único e inquestionável objetivo de formar o ‘cientista mirim’”*.

Se fizermos uma leitura mais atenta destes modelos e seus correlatos encontraremos vários indícios que enfatizam o ensino do método experimental pela intenção de fazer com que o estudante simule o papel do cientista. Em todos eles quase que as mesmas atividades ou habilidades são exigidas e incentivadas. Dentre os pontos comuns, encontramos:

- A “observação” e a análise acerca dos fenômenos são atributos valorizados em todas as propostas;
- A aquisição de habilidades manuais e o treino na manipulação de instrumentos estão presentes nas propostas de laboratório em que o aluno é o personagem ativo das tarefas;

- O procedimento experimental (ordenamento das ações e tarefas) é prescritivo em todas as propostas. O grau de liberdade implica no domínio do procedimento básico e somente é oferecido aos estudantes com mais prática.
- Os resultados devem ser apresentados de acordo com os cânones ditados pelas publicações científicas: tabelas, gráficos, interpretações, conclusões...etc.. Se estruturados ou não, estes itens cumprem o papel de iniciar o aprendiz na linguagem do conhecimento científico e, de forma indireta, avaliar o domínio das habilidades práticas adquiridas.

Espera-se que este conjunto de predicados seja de domínio de um cientista para o exercício da profissão, pois são inerentes ao dito “método experimental”. Como todas as propostas de laboratório didático contemplam, de alguma forma, cada um dos predicados citados, demonstram estarem, comprometidas e direcionadas, a priori, ao ensino do método experimental.

Tais modelos de ensino e seus respectivos laboratórios certamente são eficientes e cumprem seus objetivos quando, subjacente ao processo didático adotado, está a intenção de formar pesquisadores pela via de uma concepção de ciência indutivista ingênua ou empírico-indutivista. Os modelos citados se modificam na forma e nos procedimentos, mas a raiz epistemológica do que é ciência e que permeia os modelos é a mesma.

Comparando os modelos de laboratório e os atributos listados, foi identificado um conjunto de deficiências comum a todos eles (Tamir, 1991). Dentre elas (1) a impossibilidade de identificar problemas ou formular hipóteses. Tudo é previamente organizado e seqüenciado. (2) A oportunidade de planejar procedimentos para observação e realização de medidas é bastante reduzida e restrita. A flexibilidade da montagem experimental não dá margem a grandes iniciativas. (3) A proposição de experimentos e seu planejamento são nulos. (4) O processo não incentiva maiores discussões entre os estudantes, relativas às limitações experimentais e às hipóteses adotadas para explicar o fenômeno em estudo. (5) A socialização do trabalho experimental fica reduzida ao grupo e não há um ambiente encorajador para que isto ocorra entre todos os

alunos da classe. E finalmente (6) não existe previsão de um espaço para discussões após a execução do trabalho experimental de modo a consolidar as descobertas ou analisar seus significados.

Revisitando o Capítulo 1, no qual foram discutidos os diferentes projetos de ensino e diversas investigações de cunho metodológico para o laboratório didático, se faz clara a possibilidade de enquadrarmos tais trabalhos em um dos escaquinhos de modelo de ensino e de laboratório didático. As diferenças que se fazem presentes são muito mais de origem operacional do que de princípio epistemológico. A cartilha do laboratório como um instrumento de divulgação do método experimental fica evidente quando as novas propostas objetivam sanar algumas das deficiências citadas acima. A concepção de ciência que permeia todas as propostas é sempre a mesma: o indutivismo ingênuo, determinando um papel de pouca importância do laboratório do ponto de vista de aprendizagem da ciência. Como o ensino de ciências não objetiva apenas o ensino do método experimental, instala-se um sentimento de fracasso sobre o papel reservado ao laboratório didático.

Certamente a razão do fracasso assinalado pela literatura (Tamir, 1991) não se localiza somente nos aspectos metodológicos utilizados no laboratório, mas se encontra no modelo epistemológico adotado como concepção de ciência para subsidiar a organização do conteúdo científico e didático, a maior razão da interpretação equivocada do papel do laboratório didático. A mudança para uma nova opção epistemológica se torna necessária e passa a fazer parte do rol de preocupações relativas ao currículo em vários países. De acordo com Tamir (1991:13): *Uma das mudanças mais importantes advogadas pela reforma curricular nos Estados Unidos, Reino Unido e em outros lugares, é uma nova concepção do papel do laboratório escolar não mais como um adjunto ilustrativo e comprobatório do aprendizado de conceitos, mas, ao contrário, como o centro do processo de ensino.*”

Entretanto esta preocupação efetivamente não se reverte em mudança e a escola permanece utilizando livros textos e adotando o laboratório com características fortemente influenciadas pelo indutivismo. Será isto apenas uma decorrência do método científico preconizado nos moldes baconianos?

### 3. TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA: UM INSTRUMENTO DE ANÁLISE

#### 3.1 Considerações gerais.

A questão colocada na seção anterior tem o objetivo de provocar a reflexão e análise dos elementos que interferem e influenciam na configuração do espaço escolar e, por conseqüência, no laboratório didático. Colocada de outra forma, a nossa questão é: a inadequação do laboratório didático ao processo de ensino aprendizagem pode ser atribuída apenas à comunidade científica, pelo fato dela creditar ao método científico o mérito da maioria de suas realizações?

Para responder a esta questão vamos lembrar os atores ou personagens que participam do processo de ensino-aprendizagem. Nosso objeto de discussão é o laboratório didático utilizado no espaço escolar para o ensino de Física. O trabalho experimental é realizado sob orientação de professores que, por sua vez, se reportam a manuais ou livros textos elaborados por diferentes autores.

Dentre nossos personagens encontramos professores e estudantes que formam uma população localizada, convivendo em um ambiente próprio, a escola. O interesse comum está no conhecimento que um transmite para o outro. O conhecimento trabalhado em sala de aula é um produto que foi construído por pesquisadores profissionais utilizando processos e métodos próprios, mas, no entanto, não se apresenta na forma original como foi concebido. O próprio cientista, quando submete seu trabalho à comunidade a que pertence, modifica o seu relato para atender à normas e restrições impostas pela comunidade e pelo corpo editorial de revistas especializadas.

Por outro lado, verifica-se que o conhecimento publicado pelos cientistas sofreu modificações até chegar ao estudante. Os responsáveis pela modificação e organização do conhecimento original em um novo texto, são os autores dos livros didáticos e de artigos de divulgação. Localizamos assim mais dois grupos de personagens: os cientistas e os autores que, mesmo não convivendo no

ambiente escolar interferem na sua estruturação. Cada grupo ocupa um lugar na estrutura social com códigos e regras próprios de atuação.

Como já falamos, uma das principais funções da escola é a transmissão dos conhecimentos produzidos pela humanidade. Para que haja esta transmissão, é necessário que o conhecimento seja apresentado de maneira que possa ser aprendido pelos alunos. É neste ponto que se manifesta uma das principais transformações do conhecimento, isto é, a diferença entre o conhecimento produzido e o conhecimento oferecido ao aprendiz. A constatação de que um conhecimento trabalhado na escola difere daquele conhecimento produzido originalmente, implica na aceitação da existência de processos transformadores que o modificam.

Esta discrepância entre o conteúdo dos manuscritos originais produzidos pelos cientistas e o conteúdo de sala aula, tem suas explicações e justificativas, mas na maioria das vezes não estão explícitas ou não são de domínio geral. Além disso, o sistema escolar incorpora e agrega algumas transformações que, com o passar do tempo, fica difícil resgatá-las. Torna-se nosso objetivo responder de onde, como e quando tais “costumes” e/ou “tradições” começaram a fazer parte da estrutura escolar e, nesse contexto, determinar o papel assumido pelo laboratório didático. *“Uma importante função desempenhada pelo livro texto é transmitir valores do empreendimento científico. Muitas vezes estes valores estão codificados em relatos de experimentos. (...) Estes relatos de experimentos são enganadores, já que parecem tratar da realidade – tanto a realidade histórica quanto à estrutura real do mundo.”* (Cantor, 1993:164)

Encontramos na literatura o conceito a “Transposição Didática” (TD) que se mostra um instrumento de análise do processo de transformação do conhecimento ou “*saber*”<sup>1</sup>. Através dele é possível estabelecer uma

---

<sup>1</sup> Salientamos que faremos uso do termo “*saber*” em lugar do termo conhecimento, seguindo opção do autor. Os originais franceses utilizam o termo “*savoir*” (saber) pois parece traduzir mais adequadamente o objeto do processo transformador da TD do que o termo conhecimento (*connaissance*), que aparenta ser de entendimento mais amplo e vago.

argumentação para entender as diferentes formas do saber e suas estruturas organizacionais.

O conceito de Transposição Didática foi proposto inicialmente pelo sociólogo Michel Verret em 1975 (Astolfi, 1997). Em 1982, em um trabalho cujo objetivo era analisar e discutir o conceito matemático de distância, Ives Chevallard e Marie-Alberte Johsua (*Un exemple d'analyse de la transposition didactique – La notion de distance*) resgatam e fazem uso deste conceito, tornando-o conhecido e divulgado na área de ensino de ciências e matemática. Posteriormente, Chevallard (1985) publica “La Transposition Didactique”, onde organiza e dá um corpo estrutural ao conceito de Transposição Didática. Esta obra gerou algumas críticas e polêmicas, as quais motivaram seu autor a publicar sua segunda edição, em 1991, adicionada de um “Posfácio”.

A Transposição Didática é entendida como um processo, no qual “*Um conteúdo do saber tendo sido designado como saber a ensinar quando sofre, a partir daí, um conjunto de transformações adaptativas que o levam a tomar lugar entre os objetos de ensino. O trabalho em tornar um objeto do saber a ensinar em objeto ensinado é denominado de **Transposição Didática**.” (Chevallard, 1991:39) Em resumo, a Transposição Didática é o conjunto de ações que torna um saber sábio em **saber ensinável**.*

Um processo transformador exige a determinação ou adoção de um ponto de partida ou ponto de referência. O ponto de referência ou o “saber de referência” adotado pela Transposição Didática, é o saber produzido pelos cientistas, de acordo com as regras estabelecidas pelo estatuto da comunidade a qual pertence. É o saber apresentado nas palavras originais de seus autores. Este saber de referência é denominado “**saber sábio**” (ou *savoir savant*, no original francês).

No ambiente escolar o ensino do saber sábio se apresenta no formato do que se denomina de conteúdo escolar ou conhecimento científico escolar. Este conteúdo escolar não é o saber sábio original, isto é, ele não é ensinado no formato original publicado pelo cientista, como também não é uma mera



simplificação deste. O conteúdo escolar é um “objeto didático” produto de um conjunto de transformações. “*Francis Halbwachs foi um dos primeiros que em um artigo clássico, procurou caracterizar a física do mestre, entre a física do físico e a física do aluno.*” (Astolfi, 1997: 177).

Após ser submetido ao processo transformador da Transposição Didática, o “saber sábio”, regido agora por outro estatuto, passa a constituir o “**saber a ensinar**” (savoir à enseigner). Este saber a ensinar é aquele entendido como conteúdo escolar ou “(...) *explicitamente como os programas escolares; implicitamente: pela interpretação desses programas.*” (Chevallard, 1991;39).

O fato de saber a ensinar estar definido em um programa escolar ou em um livro texto não significa que ele seja apresentado aos alunos desta maneira. Assim identifica-se uma segunda Transposição Didática, que transforma o saber a ensinar em “**saber ensinado**” (savoir d’enseignement ou enseigné). Os elementos e as regras desta transposição apresentam características diferentes daquelas percebidas nos saberes anteriormente definidos.

Transposição Didática pode ser representada pelas transformações mostradas no seguinte esquema:

→ objeto do saber → objeto a ensinar → objeto ensinado

cujas correspondências se fazem relativas ao saber sábio (objeto do saber); ao saber a ensinar (objeto a ensinar) e ao saber ensinado (objeto ensinado).

Ou como afirma Chevallard (1991,39) “*A passagem de um saber formal para uma versão didática como objeto deste saber pode ser chamado de Transposição Didática ‘strito sensu’.* Mas o estudo científico do processo de Transposição Didática supõe levar em conta a Transposição Didática ‘sensu lato’, representado no esquema (vide acima) dos quais a primeira seta indica a passagem implícita para a explícita, da prática à teoria, do pré-construído ao construído”.

Os saberes *sábios*, a ensinar e ensinado, também denominados *patamares* ou *níveis*, são o resultado da atividade de diferentes “nichos” e personagens, os quais respondem pela composição e organização de cada um deles. Estes grupos, com elementos comuns ligados ao “saber”, que se interligam, coexistem e se influenciam junto com a sociedade ou seus representantes, fazem parte de um ambiente mais amplo denominado de *noosfera*. O ambiente da noosfera envolve, pessoas, categorias de pessoas ou instituições que interferem ou influenciam no sistema educacional. Os grupos sociais de cada patamar estabelecem um nicho ou esfera de influência e interesses que, de acordo com regras próprias, decidem sobre o seu nível de saber. Algumas dessas esferas apresentam maior poder de influência que as demais quando nos confrontos no conjunto da noosfera.

Nos referimos acima sobre os estatutos ou regras próprias de cada uma das esferas do saber. Mas o que seriam tais estatutos e suas finalidades? Todo saber para ser reconhecido como tal, deve necessariamente ser aceito e legitimado no contexto em que foi elaborado. O saber sábio se legitima junto à comunidade científica quando, após sua produção, é publicado e exposto à análise e às críticas de seus pares. A publicação segue cânones preestabelecidos onde, diretamente ou indiretamente, fica exposto o processo de construção ou o método científico utilizado. Reprodução de processos experimentais, logicidade das operações formais envolvidas, compartilhamento de conceitos e definições, técnicas, instrumentos do trabalho científico (saber sábio novo) são alvo de verificações, comparações e análises pelos demais cientistas. Se o novo saber não apresenta conflitos com o saber sábio já estabelecido, então ele é legitimado, passando a fazer parte do acervo oficial. Existe um contexto epistemológico que legitima e concede validade ao novo saber construído.

Quando nos reportamos ao ambiente escolar já vimos que o saber que ali é objeto de transmissão é o saber a ensinar, produto didático resultante de uma Transposição Didática. Como resultado de um processo transformador, se caracteriza como um novo saber que também se submete a um estatuto ou regras que o legitime. Martinand (1986) procurou determinar quais as origens dos elementos que interferiam e davam legitimidade ao saber escolar. Essas

referências, fornecidas pelas diferentes fontes, constituem o que ele denominou de “**práticas sociais de referência**” (PSR). Entendendo o saber a ensinar como um novo saber, sua estrutura de origem está localizada fora do contexto acadêmico produtor do saber sábio, Martinand afirma que “*Deve-se, de maneira inversa, partir de atividades sociais diversas (que podem ser atividades de pesquisa, de engenharia, de produção, mas também de atividades domésticas, culturais. . .) que possam servir de referência a atividades científicas escolares, e a partir das quais se examina os problemas a resolver, os métodos e atitudes, os saberes correspondentes.*” (apud Astolfi, 1995: 53).

Dessa forma, para que na integração entre os objetos de ensino não haja prevalectimento de conceitos sem significado, é recomendado o uso das diferentes fontes de referência, que inspiram e estabelecem a legitimação de um saber. Devem ser incluídos as atitudes e os papéis sociais dessas práticas para dar sentido aos textos do saber a ensinar. De maneira concreta, as práticas sociais de referência se fazem importantes porque também podem evitar a utilização de exemplos que não fazem parte da cultura do estudante e por isso não lhes são significativos. É notória a inconveniência de utilizar as marés como exemplo de influências gravitacionais em cidades longe do mar. Este exemplo deve se apresentar, para o aluno, como um exercício de criatividade maior do que o exigido para aprender o conteúdo implícito. Esta situação didática reflete o grau de importância de estarmos atentos a estas referências, pois podem refletir valores diferenciados em uma “geografia mais restrita”, isto é, certos significados para um determinado grupo social poderá não ter a mesma significação para outro grupo.

As práticas sociais de referência estão presentes e servem de guia quando no processo de transposição. Pois elas “*(...) funcionam essencialmente como um guia de análise de conteúdo, de crítica e de proposição. A idéia de referência indica que não podemos e nem devemos nos ligar a uma conformidade estreita de competências para adquirir as funções, os papéis e as capacidades da prática real. Antes de tudo deve dar meios de localizar as concordâncias e as diferenças entre duas situações, onde uma (a prática industrial, por exemplo,)*

*é objeto ensinado, e possui uma coerência que deve ser transposta para a escola.*” (Martinand, 1986).

### **3.2 O saber sábio.**

Vamos agora analisar de forma mais detalhada cada um dos patamares do saber, com elementos que fazem parte do processo de Transposição Didática. O primeiro deles é o saber sábio adotado como saber de referência, citado anteriormente.

O “saber sábio” é fruto do trabalho produtivo de uma esfera própria, composta basicamente pelos intelectuais e cientistas que, constroem aquilo que também é denominado de “conhecimento científico”. Este saber se torna público através de publicações próprias (tais como revistas e periódicos científicos), ou nos congressos específicos de cada área. Para entendermos um pouco sobre a construção do saber sábio é interessante, resgatarmos Reichenbach (1961) que comenta sobre o momento da produção do saber e o momento em que o mesmo se torna público. Para diferenciá-los vamos descrever em linhas gerais o trabalho de um cientista ou intelectual durante a “construção” da solução de um “problema”.

Seja em diálogos consigo mesmo e com a questão colocada, ou coletivamente em conversas informais com os colegas, o cientista percorre caminhos e atalhos de raciocínio buscando solução para seu problema de pesquisa. O espaço no qual ocorre este processo construtor é denominado de “*contexto da descoberta*” e se refere a uma etapa de trabalho dedicado à busca da resposta desejada. Após encontrar uma resposta que julgue satisfatória, geralmente realizada de maneira assistemática e informal, se faz necessário o espaço em que a resposta construída precisa ser analisada e julgada. Este momento é denominado de “*contexto da justificação*” e se concretiza pela elaboração de artigos ou textos para publicação nos periódicos especializados. A organização desses artigos ou textos segue um ritual estabelecido pela comunidade científica, que prescreve a apresentação dos elementos fundamentais, das eventuais medidas, dos procedimentos lógicos utilizados e

das conseqüências ou conclusões, fazendo uso de regras e linguagem próprios. Enfim, o texto assume uma forma impessoal, sistemática, com começo, meio e fim e que não mostra as idas e vindas, as dúvidas e os conflitos ocorridos no contexto da descoberta. De acordo com Reichenbach (1961), ocorre uma reconstrução racional, que diferencia o processo como o ser humano (cientista) produziu um determinado saber e como o cientista (ser humano) apresenta-o formalmente a seus pares. Nesta discussão percebemos a existência de dois momentos. Entre um e outro, há um processo de reelaboração racional que elimina elementos emotivos e processuais, valorizando o encadeamento lógico e a neutralidade de sentimentos. Aqui, de certa forma, há uma transposição – não didática – mas, diríamos, científica, caracterizada por uma *despersonalização* e *reformulação* do saber.

Na investigação natural, o método experimental e a experimentação são ferramentas presentes na construção do saber sábio, como já vimos no capítulo anterior. No contexto da descoberta não é possível determinar como ocorreu o desenvolvimento de tal método, devido aos multifatores e imprevistos existentes em um laboratório de pesquisa. O contexto da justificação, responsável pela formatação dos resultados da investigação experimental, não comportando descrições circunstanciais, se responsabilizará pelas necessárias exclusões ou censuras. Entretanto, fornecerão resultados devidamente tabulados, sugestões de novas técnicas experimentais ou proposições de novos equipamentos.

Um aspecto que deve ser levado em conta e, que nem sempre é considerado é o tempo utilizado na construção do saber sábio. Sabemos que, muitas vezes, passaram-se muitos anos para um certo saber sábio ser aceito e compartilhado entre os intelectuais (ou por uma determinada comunidade). Alessandro Volta não levou dez anos para desmistificar as hipóteses de Galvani? Isto sem citar Galileu e suas querelas com a Igreja. A História da Física e da Ciência em geral estão repletas de exemplos relatando o tempo despendido no processo da produção científica. Qual a parcela do saber sábio que partindo de uma hipótese “falsa” levou anos ser corrigida? Quantas teorias (ou modelos) foram propostas de forma equivocada? É claro que nos dias de

hoje, o significado do tempo gasto para a elaboração e legitimação daqueles conhecimentos, aparentemente, não tem muito sentido. A priori, basta sabermos que trata-se hoje de um saber válido e legítimo. Este tempo, gasto para a elaboração do saber sábio, denomina-se de “tempo real”. Ele está estreitamente ligado ao processo histórico ao qual foi submetido no processo de construção. Como elemento da Transposição Didática será de utilidade para referências futuras.

### **3.3 - O saber a ensinar.**

Do patamar ou estatuto que acolhe o saber sábio passa-se a outro patamar, aquele em que se situa o “saber a ensinar”. O processo transformador do saber sábio em saber a ensinar envolve um número de variáveis e de pessoas bem maior do que aquele que ocorre entre o contexto da descoberta e o contexto da justificação. À primeira vista somos levados a interpretar que o saber a ensinar é apenas uma mera “simplificação ou trivialização formal” dos objetos complexos que compõe o repertório do saber sábio. Esta interpretação é equivocada e geradora de interpretações ambíguas nas relações escolares, pois revela o desconhecimento de um processo complexo de transformação do saber. *“Todo projeto social de ensino e aprendizagem se constitui dialeticamente com a identificação e a designação de conteúdos do saber (sábio) como conteúdo a ensinar.”* (Chevallard, 1991:39).

Os personagens definidores do saber a ensinar não pertencem a um só grupo, como na esfera do saber sábio. Nesta última, o grupo é constituído de intelectuais e cientistas, sejam jovens ou idosos, com ou sem conflitos teóricos, vinculados a esta ou aquela escola de pensamento, todavia todos são pertencentes ao mesmo nicho epistemológico em que ocorre a produção do saber. A esfera definidora do saber a ensinar é mais eclética e diversificada em sua composição, não por eventual carácter democrático, mas para defesa de interesses próprios. Os componentes dessa esfera são, predominantemente (1) os autores (sejam dos livros textos ou manuais didáticos); (2) os especialistas da disciplina ou matéria e técnicos governamentais; (3) os professores (não cientistas) e (4) a opinião pública em geral, através do poder político, que

influência de algum modo o processo de transformação do saber. Os cientistas e intelectuais, mesmo não pertencendo a esta esfera de poder, também influenciam de maneira indireta, mas significativa, as decisões relativas ao “saber” que será processado e transformado. Aliás, estes grupos não só determinam as transformações, mas também o que do saber sábio deve ser alvo de transformações. A pressão exercida por esses grupos pretende melhorar o ensino e a aprendizagem.

O cerne da Transposição Didática está em se aceitar a premissa que esta esfera *não gera saber científico - **mas gera um novo saber!*** Sua função é transformar o saber sábio, que se apresenta em forma não adequada ao ensino, em material “ensinável” inserido em um discurso didático com regras próprias. Assim como o saber sábio é submetido a regras e linguagem específicas, o saber a ensinar também tem suas regras próprias, além das práticas sociais de referência que se fazem presentes no processo de transposição.

Para se tornar saber a ensinar, é necessário que o saber sábio sofra uma espécie de *degradação* (Chevallard, 1991:47) durante a qual ocorre a perda do contexto original de sua produção através de um processo de *despersonalização* (Chevallard, 1991). O saber é dividido em partes, separado do problema e do contexto que o originou, para permitir uma reorganização e reestruturação de um novo saber, intrinsecamente diferente do saber sábio que lhe serviu de referência. Esta reelaboração do saber resulta em uma configuração *dogmática, fechada, ordenada, cumulativa* e, de certa forma, *linearizada*. Muitas vezes o saber a ensinar assume um caráter de universalidade que não se fazia presente no saber sábio que lhe deu origem. Aquele saber sábio, que se compunha da soma das partes dos saberes produzidos por diferentes intelectuais ao longo de anos, torna-se agora uma seqüência logicamente encadeada, com crescente grau de dificuldade e atemporal, como se fosse o resultado de uma evolução natural. Através de um processo de *dessincretização* (Chevallard, 1991) é abstraída toda e qualquer vinculação com o ambiente epistemológico no qual ele se originou, passando a reconstituir-se em um novo contexto epistemológico.

Os processos de despersonalização, dessincretização e de descontextualização, aos quais o saber é submetido, faz com que ele seja despido de seu contexto epistemológico, histórico e linguagem própria. Como saber a ensinar é obtido um saber com uma nova roupagem, uma organização a-histórica, um novo nicho epistemológico e de validade dogmatizada.

Para entender a origem do caráter dogmático assumido pelo saber a ensinar, motivo de muitas críticas dos investigadores de ensino e professores, Develay (1987) oferece algumas hipóteses como (1) razões sócio-culturais, entendida como a idéia que os leigos tem sobre a Ciência; (2) razões institucionais, que mostram que o saber a ensinar se origina de obras simplificadas e dogmáticas; (3) razões epistemológicas que mostram que nem todo saber pode ser traduzido através de relações de causa e efeito.

A linguagem utilizada na publicação do saber a ensinar é uma linguagem nova. Termos e situações, não presentes no saber sábio, são utilizados nos livros textos para racionalizar as seqüências didáticas, demonstrando um cenário de artificialismo. A transposição muitas vezes necessita criar objetos de saber novos que não tem análogo no saber sábio. “*Há uma criatividade didática, quer dizer criação de objetos de ensino que não figuram no saber sábio.*” (Arsac, apud Astolfi 1997). Em Física poderíamos lembrar da noção de circuito elétrico, mecânica do colchão de ar, cadeias energéticas... Não podemos esquecer que geralmente os fenômenos são apresentados como dados da natureza e livres da intervenção humana, conforme o credo positivista (Johsua e Dupin, 1993), insinuando a idéia de neutralidade.

Dessa maneira o saber a ensinar toma a forma de conteúdo ou objetos de ensino nos livros didáticos, fazendo uso de uma exposição racional cujo encadeamento é progressivo e cumulativo. O aspecto atemporal se manifesta na linearidade da seqüência, que desconhece o tempo real (histórico) que foi necessário, às vezes muitos anos, para a elaboração de uma explicação científica atualmente aceita. Além disso, toma as interpretações novas e modernas do saber sábio e as insere em situações antigas (Chevallard, 1991)



dando a falsa impressão que, desde as primeiras observações, a explicação científica fazia uso dos modelos ou explicações atuais.

O saber sábio é uma proposição humana “a cerca de” que, uma vez aceita e universalizada, passa a pertencer à cultura da humanidade e se eterniza nas publicações, livros e registros bibliotecários. Já a vida útil de um objeto do saber a ensinar pode ser temporária (Chevallard, 1985). Em outras palavras, este objeto pode ser “descartável”. Pressões de grupos pertencentes à noosfera determinam quais os “conteúdos” que devem ser alvo da Transposição Didática e quais aqueles que, no contexto mais amplo, não apresentam significado no espaço escolar. Outros que, com o passar do tempo se banalizam no contexto sócio-cultural, deixam de ser objetos de ensino e, portanto, são descartados. O poder público, através de suas propostas ou sugestões curriculares, programas de ensino, etc. também podem promover ou destituir conteúdos. Além desses aspectos, outro papel desempenhado por estes grupos na dinâmica processual da Transposição Didática é aquele que objetiva a melhoria do ensino e aumento da aprendizagem.

Qualquer leitura, realizada sem o devido cuidado, pode levar a um outro equívoco: o de que o processo transformador da Transposição Didática cumpre um papel pouco nobre, pois se submete a eventuais interesses e, por consequência, desfigura o saber sábio. Por maior que tenha sido a reelaboração e reorganização no processo gerador do saber a ensinar, permanecem alguns aspectos semelhantes com o saber sábio. Saber sábio e saber a ensinar buscam manter um diálogo com a realidade. Nesta busca, alguns conceitos, definições e experimentos mantêm as mesmas características e se preservam quase que intactos em ambos os saberes. Alguns dos problemas solucionados pelo saber sábio, passam a ser apresentados como exercícios a serem resolvidos na esfera do saber a ensinar, compondo uma espécie de matriz exemplar (Zylbersztajn, 1998:101) de um determinado objeto ou conteúdo de ensino. É importante que mesmo neste caso, as variáveis envolvidas possam ser mensuráveis e mantenham a mesma estrutura lógico-matemática em ambos os saberes.

Ao saber sábio, como já comentamos, foi associado o “tempo real” que representa o tempo utilizado ou consumido pela comunidade científica para a construção e legitimação de um determinado saber sábio. Por outro lado, o “tempo lógico” corresponderia ao um certo tempo, de caráter artificial, que ofereceria uma justificativa temporal para a seqüência e ordenação dos conteúdos que compõe o saber a ensinar. Os processos de despersonalização, descontextualização e dessincretização que concedem ao saber a ensinar uma configuração dogmática, fechada, ordenada, cumulativa e linearizada, necessitam também oferecer uma idéia de temporalidade deste saber. Os tempos didáticos e de aprendizagem, serão objetos de discussão mais adiante.

### 3.4 - O saber ensinado

Chegando à sala de aula, localizamos a figura do professor - autoridade constituída do conteúdo de sua disciplina, que expõe o material instrucional didaticamente preparado por ele. O formalismo da frase anterior objetiva justamente chamar atenção ao papel que o professor desempenha no espaço escolar e na sala de aula.

Existem diferenças entre o que professor prepara como material didático de sua aula e o que foi produzido pelo cientista, ou seja – *a ciência da sala de aula é diferente da ciência do cientista*. Dos processos transformadores que ocorreram, o primeiro transformou o saber sábio em saber a ensinar. Este primeiro processo corresponderia a Transposição Didática externa, regida pelos grupos que compõe esta noosfera. No que concerne ao ensino em sala de aula ocorre novamente o fenômeno da Transposição Didática, só que neste espaço envolve a transfiguração do saber a ensinar em “*saber ensinado*”. Antes de continuarmos analisando esta segunda Transposição Didática - que neste caso é entendida como Transposição Didática interna, por ser direta e ocorrer no espaço escolar - é importante localizarmos o “Professor” e o material didático que com o qual trabalha. Nossa ressalva se justifica, pois existem dois tipos de Professores, atuando em espaços diferentes e com recursos didáticos diferenciados.

A Transposição Didática que ocorre entre o saber sábio e o saber a ensinar-se traduz por meio da elaboração dos livros textos e manuais de ensino. Este material, quando de sua elaboração <sup>de atv.</sup> teve como primeiro público alvo os estudantes universitários, futuros profissionais, que deveriam ser iniciados e familiarizados com o contexto do saber sábio e suas aplicações. Os professores universitários utilizam destes textos como um guia para a preparação de suas aulas, reorganizando o conteúdo programático ali seqüenciado, de acordo com referências próprias e institucionais, além de adaptá-lo ao tempo disponível e autorizado pelo estabelecimento escolar.

Ao mesmo tempo, encontramos no ensino médio outro espaço escolar, que além dos interesses próprios e diferenciados dos universitários, tem outras regras e fontes de influências. Vamos encontrar para esta população livros textos e manuais, que não foram alvo de uma Transposição Didática “de fato”, mas que são produto de uma “simplificação” do conteúdo pertencente ao saber a ensinar destinado aos estudantes universitários. Esta simplificação se manifesta na linguagem utilizada na conceituação e se estende no que se refere aos recursos matemáticos utilizados, bem como nas eventuais demonstrações matemáticas. Quanto à apresentação dos conceitos, a simplicidade vai ao extremo e pode ser percebida na seqüência ordenada do conteúdo, descaracterizando o processo histórico de sua elaboração. Pinheiro (1996:50) chama atenção quando mostra que *“Um exemplo disso é que, de maneira geral, quando um livro didático utilizado no 2º grau apresenta a Mecânica Clássica, a visão aristotélica de movimento, quando aparece, é apresentada como uma concepção ingênua e incompleta, que foi superada pelo paradigma newtoniano. Força, massa, aceleração, referencial inercial são conceitos apresentados sob forma seqüenciada e harmônica, como se fossem conceitos simples, que se encerram em si mesmos. Não é levado em conta que os significados desses conceitos dependem do papel que eles desempenham no interior da teoria”*.

Como se observa, o material didático à disposição do Professor do Ensino Médio difere daquele direcionado ao ensino superior. Enquanto o livro ou manual didático universitário é resultado de uma transposição didática de fato, o livro didático destinado ao Ensino Médio é o espelho de um processo de

simplificação que busca adequar linguagem e recursos matemáticos mínimos para manter o corpo estrutural do saber a ensinar. É neste último que o Professor do Ensino Médio, de modo geral, se referencia para preparar suas aulas. E é exatamente, neste novo espaço, o da preparação e do lecionar, que se estabelece o terceiro patamar do saber – o “*saber ensinado*”.

Os personagens da noosfera, pensadores, promotores e executores da Transposição Didática, além da influência que exercem intrinsecamente no processo, também exercem uma atividade de fiscalização, embora de forma menos presencial e intensa. Os responsáveis pelos livros textos, ou seja, os autores e editores, são como que fiscalizados de longe por outros grupos da noosfera. Enquanto o material produzido satisfaz os anseios dos membros da noosfera e da sociedade, configura-se uma espécie de “*nihil obstat*”. Modificações desejadas são informadas para as eventuais alterações, sejam correções, supressões ou ampliações de conteúdo, o que pode demandar um certo tempo. Existe, portanto, um tempo relativamente longo entre as decisões tomadas no âmbito da noosfera e as modificações dos objetos do saber a ensinar nos livros textos.

O mesmo não ocorre na esfera do saber ensinado. Lá todos os seus personagens convivem no cotidiano e interagem no mesmo espaço físico: a instituição escolar. A influência dos vários grupos que compõe esta esfera difere em intensidade, graus de interesse e pode ter uma relativa duração temporal, mas estão muito próximos da instituição escolar. Cabe ao Professor, desde o momento da preparação de sua aula até o instante que, na sala de aula, exerce o magistério, contemporizar as correntes de interesse.

É ainda neste momento, que as pressões externas levam o Professor, a processar uma nova Transposição Didática, produzindo um novo saber. Neste novo saber, é mais evidente a interferência das concepções pessoais do Professor, dos interesses e opiniões da administração escolar, dos alunos e da comunidade em geral. A interação entre os personagens desta esfera é extremamente próxima e intensa, propiciando, de maneira mais clara, a repercussão das opiniões dos grupos, nas definições e nas modificações

refletidas no saber ensinado. Em outras palavras, desenvolveu-se um terceiro nicho epistemológico cujas diretrizes de sua dinâmica, se comparadas com as epistemologias associadas ao saber sábio e ao saber a ensinar, são muito mais instáveis e mutáveis. Este novo ambiente desenvolve uma epistemologia própria, adequada e adaptada aos movimentos e graus de instabilidade desta esfera de saber. É uma epistemologia escolar extremamente dependente das práticas sociais de referência que a pressionam, em particular, aquela sinalizada pela comunidade social em que está inserida. *“Cada nova transposição cria um quadro epistemológico novo. (...) Dentro de cada quadro novo, é feito o possível para reduzir as dificuldades de aprendizagem, dissolve-las.”* (Johsua & Dupin, 1993:201)

Ao iniciar o período letivo, ao professor é solicitada uma programação que informe a distribuição do conteúdo (saber a ensinar) que será trabalhado ao longo dos bimestres. Tal programação é feita tomando como referência o número de aulas anuais que lhe são reservadas. Este número de aulas reservadas ao trabalho didático, denomina-se de “tempo didático ou legal”(Chevallard, 1991). O gerenciamento do tempo didático é de total responsabilidade do professor, cabendo a ele cumprir o planejamento, o que implica em transformar o “tempo lógico” em “tempo didático”, recontextualizando o “tempo real”. A exigüidade do tempo didático restringe o processo da Transposição Didática interna, principalmente no que se refere ao resgate histórico de um determinado saber.

A ligação entre o “tempo real” e o “tempo didático” se manifesta na sala de aula no momento que o professor orienta o processo de ensino-aprendizagem. Os séculos necessários à produção e o acúmulo do saber sábio devem ser agora ensinados em um período de “horas”. Como mero exercício comparativo, admitamos que uma série qualquer do Ensino Médio tenha cerca de 100 aulas de Física/ano (cem horas/ano), o que na melhor das hipóteses totaliza 300 horas reservadas ao tempo didático de Física para as suas três séries. A comparação entre os tempos não tem o intuito de comparar números, mas ações que neles possam ser desenvolvidas. No “tempo real” encontramos investigadores, adultos e com estruturas cognitivas formadas e cujo trabalho é a

produção do saber, utilizando o tempo que se fizer necessário. O “tempo didático ou legal” pertence à estrutura escolar, a qual planeja e organiza seu programa escolar por um período definido. É neste ponto que a Transposição Didática interna mostra a importância de seu papel, pois justifica o processo transformador dos saberes, saber a ensinar em saber ensinado, permitindo uma melhor adequação ao espaço escolar.

Finalmente falta comentarmos sobre o tempo de aprendizagem. O tempo de aprendizagem pertence à população de jovens estudantes (pré e adolescentes), cujo papel é aprender o que foi produzido durante séculos em poucas horas, se considerarmos somente o tempo didático. Mas Chevallard (1991) diz não haver nenhuma relação ou correspondência entre o tempo didático ou legal e o tempo da aprendizagem. A aprendizagem não ocorre por acumulação, onde os conhecimentos novos se juntam aos antigos. Quando chama atenção para a não correspondência dos tempos, Chevallard entende que a aprendizagem ocorre pela reorganização interna do saber, em um processo no qual ocorre a reinterpretação de aquisições anteriores e modificação dos significados. Esta reorganização é diferente da aquisição linear e programada dos saberes. Torna-se necessário, na esfera do saber ensinado, criar artifícios que façam diminuir a diferença entre o tempo didático e o tempo da aprendizagem.

Sem dúvida nenhuma, a Transposição Didática é um fenômeno presente no processo ensino-aprendizagem. Negá-la ou ignorá-la é aceitar que os conteúdos científicos contidos nos livros textos são uma reprodução fiel da produção científica. Ter consciência da Transposição Didática, bem como do papel das práticas sociais de referência, é de suma importância para o professor que pretende desenvolver um ensino mais contextualizado e com conteúdos menos fragmentados do que aqueles dos livros textos. Isso possibilitaria uma reconstituição, pelo menos parcial, de um ambiente que permita ao aluno a compreensão da capacidade que tem o saber de resolver problemas reais. Também abre caminho para a compreensão de que a produção científica é uma construção humana, portanto, dinâmica e passível de equívocos, mas que, ao mesmo tempo, tem um grande poder de solução de problemas.

A Transposição Didática não é boa nem é ruim – faz-se indispensável imperativa, pois torna ensinável os saberes. Ela mostra como a didática opera para facilitar o ensino de conteúdos do saber sábio. A transformação de objetos de saber em objetos de ensino se faz imprescindível para que ocorra de fato um processo de ensino aprendizagem. *“O exercício do princípio de vigilância a Transposição Didática é uma das condições que comandam a possibilidade de uma análise científica do sistema didático.”* (Chevallard, 1991:45 - grifo do autor). É importante ter-se em conta que a *“A Transposição Didática tem sua utilidade, seus inconvenientes e seu papel para a construção da ciência. Ela é inevitável, necessária e de certo modo, lamentável. Ela deve ser colocada sob vigilância.”* (Brousseau, 1986).

Ao professor, consciente da Transposição Didática, cabe a tarefa de criar um “cenário” menos agressivo ao dogmatismo apresentado pelos livros textos e minimizar a diferença entre os tempos didático e de aprendizagem. Mesmo submetido às pressões dos grupos de sua esfera, o Professor deve buscar a criação de um ambiente que favoreça o rompimento com a imagem neutra e empirista da Ciência. Imagem que é perpassada através dos manuais e livros didáticos e buscar, nas práticas sociais de referência, os elementos mais adequados aos seus objetivos.

### **3.5 As Regras da Transposição Didática**

A formatação dos livros textos e manuais escolares atuais são o produto concreto e palpável, junto ao público, do processo transformador do saber sábio em saber a ensinar. Este processo gerador de um novo saber – saber a ensinar – contempla um conjunto bastante amplo de variáveis que considera, desde interesses políticos, pedagógicos e até interesses comerciais. A Transposição Didática, como instrumento de análise interpretativo, possibilita a construção de um quadro explicativo deste processo transformador.

O trabalho dos membros da noosfera tem como objetivo maior a melhoria do ensino. Isto significa entender que se busca eficiência e eficácia no processo de ensino-aprendizagem. Com alguma restrição, poder-se-ia interpretar que este

objetivo maior é o fator que justifica o trabalho didático na construção de objetos de ensino, explicado pela Transposição Didática. A Transposição Didática, além de explicitar os processos intermediários como a despersonalização, descontextualização e dessincretização do saber sábio ao se tornar saber a ensinar, também possibilita extrair as diferentes etapas ou regras que conduzem as transformações.

Tomando como referência o trabalho pioneiro de Chevallard e Johsua (1982), Astolfi (1997) extraiu e apresenta de forma didática *“as várias etapas ou regras, que conduzem a introdução no saber sábio até o saber a ensinar”*. As regras, em número de cinco, expõe de maneira bem clara os grandes objetivos que norteiam ao processo de transposição.

#### **Regra I. Modernizar o saber escolar.**

*“Em diferentes disciplinas, parece ser necessário aos especialistas “colocar em dia” os conteúdos de ensino para aproximá-los dos conhecimentos acadêmicos. Neste caso, freqüentemente criam-se comissões que tomam por base vários trabalhos e proposições anteriores difundidos na noosfera”*. (Astolfi, 1997:182)

Novos saberes produzidos pelos cientistas e intelectuais, alguns já adotados pela tecnologia e em uso pela indústria, obrigam autores e editores a realizar periodicamente uma reavaliação dos conteúdos dos livros didáticos. É importante fazer uma aproximação dos conteúdos no livro didático, incluindo os novos saberes, pois, além de interesses comerciais, é fundamental a atualização da formação básica dos futuros profissionais nos cursos de graduação. A introdução de tópicos como “código de barras, funcionamento de um CD, termômetros óticos, fotocopidora...”, por exemplo, são os indicativos de uma modernização do saber a ensinar.



## **Regra II . Atualizar o saber a ensinar.**

*“Para esta renovação, julgada necessária do lado do saber sábio, se soma uma necessidade de renovação curricular do lado do ambiente do sistema educativo.” (Astolfi, 1997:182)*

*“Este envelhecimento do saber toma duas formas, aliás opostas, mas cujos efeitos vão para o mesmo sentido:*

- *ele afasta o saber ensinado do saber sábio, o que tende a torna-lo progressivamente ilegítimo para olhos dos matemáticos;*
- *ele aproxima o saber ensinado do conhecimento socialmente banalizado (notadamente pela escola). Porém, esta proximidade muito grande entre o saber tratado pelo professor e o conhecimento conhecido pela família coloca em cheque aos olhos dos pais a especificidade, e a legitimidade do trabalho do professor, pois parecerá que o professor não faz nada diferente daquilo que eles mesmos podem fazer se eles tivessem tempo para isto. (Chevallard e Johsua, 1982)”*

A revisão periódica dos livros textos, não se limita a acrescentar os últimos saberes produzidos. A contrapartida da modernização, acrescentando novos saberes, implica na eliminação de saberes que se banalizaram ou que se tornaram um tipo de conhecimento “familiar” (Chevallard & Johsua, 1982). Alguns objetos do saber, com o passar do tempo, se agregam a cultura geral que, de certa forma, passa a dispensar o formalismo escolar. Outros perdem o significado por razões extracurriculares e/ou escolares. O uso de novas tecnologias leva ao mercado novos materiais e produtos, fazendo com que certos conteúdos associados às tecnologias mais antigas e já abandonadas, sejam descartados por falta de qualquer sentido. A introdução do novo leva ao descarte do antigo que não tem mais serventia. Atualmente tópicos como estudo de máquinas simples, entre elas o “sarilho”, régua de cálculo, termômetro de máximas e mínimas não fazem mais parte dos livros textos, confirmando a presente regra. Regra que poderia ser entendida como a “luta contra obsolência didática”

### **Regra III. Articular o saber “novo” com o “antigo”.**

*“Entre os vários «objetos» do saber sábio suscetível a modernização e para diminuir à obsolescência, alguns são escolhidos porque permitem uma articulação mais satisfatória entre o «novo» que se tenta introduzir, e o «velho» já provado no sistema e do qual será necessário conservar alguns elementos reorganizados.” (Astolfi, 1997:183)*

A introdução de “objetos novos” de saber ocorre melhor se articulados com os antigos. O novo se apresenta como que esclarecendo melhor o conteúdo antigo e o antigo hipotecando validade ao novo. A introdução de elementos novos não pode negar ou refutar radicalmente os conteúdos antigos, isto se estes últimos ainda permanecerem nos livros textos. A negação radical de um dado conteúdo gera sentimento de desconfiança, de dispensável, de prescindível por parte do estudante, fazendo-o evitar esforços no seu aprendizado.

### **Regra IV. Transformar um saber em exercícios e problemas.**

*“A seleção vai ocorrer a partir da facilidade particular de certos conteúdos para gerar um número grande de exercícios ou atividades didáticas, até mesmo quando estes são nitidamente descontextualizados quanto a sua função, em relação ao conceito original.” (Astolfi, 1997:183)*

*“Na perspectiva renovadora, a admissão de um conceito novo é reforçada pela capacidade do elemento importado se integrar na economia didática do saber: deve indicar algo para ‘aprender’ e de exercícios para ‘fazer’. Quando uma noção responde a estas exigências, ela constitui ‘uma parte escolhida’, e a veremos nos livros textos, que correspondem aos novos programas, dedicarem freqüentemente um capítulo separado.” (Chevallard e Johsua, 1982)*

O saber sábio que oferece a possibilidade de organizar uma gama maior de exercícios é aquele que, certamente, terá preferência frente a conteúdos menos “operacionáveis” a título de exercícios, caso típico dos

exercícios/problemas de Cinemática, transformação de escalas termométricas, ou de circuitos elétricos. Certamente esta é a regra que reflete o maior grau de importância no processo transformador do saber, ao criar uma ligação muito estreita com o processo de avaliação. A organização do saber a ensinar, nos livros textos, é oferecida pela Transposição Didática em um ordenamento crescente de dificuldade – tecnicamente denominado pré-requisitos. A aquisição e domínio deste saber, por parte do estudante, deve ser confirmada pela sua habilidade na solução de exercícios e problemas, cuja resposta envolve um resultado numérico do tipo “certo ou errado”. Este procedimento desenvolve uma avaliação “neutra”, pois não há discussão sobre a resposta numérica. A resposta está certa ou errada, não havendo margem para discussões. Além de eliminar dúvidas de julgamento este tipo de exercício é de fácil correção, diminuindo a carga de tarefas do professor.

De fato, observa-se que os objetos de ensino que permitem a elaboração de exercícios e problemas, são mais valorizados no espaço escolar, em detrimento daqueles que ficam restritos à argumentação teórica.

#### **Regra V. Tornar um conceito mais compreensível.**

*“Um conceito (...) é visto como capaz de diminuir as dificuldades conhecidas como as que os alunos se encontram. (...) A “coisa” do professor é um texto do saber. É então ao texto do saber que ele devolve a etiologia (ciência das causas) o fracasso e, por conseguinte, será nas variações do texto do saber que irá encontrar uma arma terapêutica para as dificuldades encontradas. Podemos aqui medir o caminho do que vai da primeira justificação que introduz o conceito, tal qual como aparece nas instruções, ao interesse que leva conscientemente o professor (diferentes daquele do programa) este mesmo conceito”*(Chevallard e Johsua, 1982).

A Transposição Didática como processo transformador do saber, tem a função de diminuir as dificuldades na aprendizagem de conceitos. Muitos dos objetos do saber sábio se apresentam em uma linguagem ou jargão próprios dos cientistas e intelectuais, pois estão relacionados ou são construídos a partir de

outros objetos mais sofisticados. O saber a ensinar, desenvolve uma linguagem própria, compatível com o nível de entendimento do estudante. Neste processo são criados objetos didáticos que permitem inserir elementos novos e facilitadores do aprendizado, assim como utilizar uma matemática adequada para aqueles que estão sendo iniciados neste tipo de saber. Pode-se exemplificar por meio do conceito de força que substitui a derivada pelo “delta”.

#### 4. INTERPRETANDO O LABORATÓRIO DIDÁTICO À LUZ DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

O discurso pedagógico relativo à importância e aceitação do laboratório didático já foi discutido, assim como sobre o fracasso dos resultados esperados. Vimos também que a ênfase epistemológica predominante estava ligada a uma concepção de ciência indutivista ingênua. Os procedimentos, seqüências experimentais e metodologias adotadas também colaboravam para a manutenção dessa concepção, pela valorização de atitudes e tarefas propostas. Esta forma de inclusão do laboratório didático está diretamente ligada ao próprio processo de Transposição Didática quando de sua adaptação do saber sábio ao saber a ensinar. Eliminou-se o contexto epistemológico de sua produção, introduzindo a concepção empirista na sua reconstituição. O predomínio do empirismo é marcante no processo de Transposição Didática, revelando-se na forma como o saber sábio foi reescrito e na forma como se manifesta nos livros textos.

Um bom exercício é analisar como a maioria dos livros universitários inicia o estudo da Ótica Física. O tópico inicial é a discussão sobre a interferência da luz, acompanhada de uma breve introdução sobre a falência do modelo corpuscular da luz. Em seguida passa-se a descrever a experiência de Young e a partir dela, todo o resto é deduzido. Nada é suscitado ou discutido sobre os antecedentes da experiência de Young. Sejam aquelas referentes às restrições experimentais, sejam à hegemonia do modelo corpuscular ou o seu contexto histórico. Enfim, a quase totalidade dos livros de Física Clássica, mantém, no mínimo, um experimento por capítulo ou conteúdo, como referência para definir, justificar e organizar os componentes formais do referido conteúdo.

Outro exemplo, bastante conhecido na literatura sobre Transposição Didática, é a apresentação do Efeito Fotoelétrico nos livros franceses, comentado por Martinand (apud Astolfi, 1995). A maioria dos livros textos apresenta as leis experimentais antes da teoria, criando um cenário completamente falso e tendencioso sobre a produção do conhecimento. Esta apresentação inversa por sua vez favorece, valoriza e prestigia o trabalho

experimental. Vários tópicos fazem uso deste expediente: iniciar o conteúdo através de um “fato observado” em experiência. Podemos citar, por exemplo, o Empuxo, a Refração, Ondas em cordas, Dilatação dos sólidos, Magnetismo etc. Particularmente nos livros do ensino médio, a exposição do “fenômeno físico”, às vezes acompanhada de dados experimentais e com eventuais associações a situações do cotidiano, precede a discussão teórica. O desmonte epistemológico do saber sábio e sua reconstituição, demonstram claramente a valorização do empírico como sendo o primeiro passo para a construção teórica. O credo positivista se faz presente na seqüência do texto didático.

Os livros textos, por meio de descrições detalhadas, recuperam o trabalho experimental do cientista, dispensando a necessidade de “refazer o experimento científico”. Estes mesmos livros são escritos dentro de uma seqüência lógica e formal, refletindo uma concepção racional. No entanto, a linguagem utilizada apresenta o conteúdo como se ele fosse extraído da natureza, dos dados obtidos através do experimento ou seja, apresenta uma concepção empirista de ciência. O livro texto reflete uma espécie de simbiose literária entre as concepções racionalista e empirista, pois descrevem de forma racional os valores empiristas.

Do que acabamos de expor percebe-se uma hegemonia da concepção empirista manifestada nos livros textos, que divulga a imagem de que os dados experimentais fornecem as leis físicas ou científicas. É importante entender que a adoção da imagem empirista da produção científica é, em grande parte, ditada pelas práticas sociais de referência. Isto porque ela forma junto ao grande público uma imagem simplificada do complexo processo presente no saber sábio, onde as práticas laboratoriais tem um papel fundamental. É bastante difundida a concepção do laboratório como um “templo” onde acontecem as “revelações” da natureza.

Nesta mesma vertente, justifica-se a necessidade de inclusão do laboratório no processo de ensino, caso contrário haveria somente a divulgação retórica da importância do método experimental e nenhuma demonstração de sua força e poder no contexto da pesquisa científica. Ao introduzir o laboratório

didático, com o argumento de que para aprender a ciência é necessário (re)fazer a ciência, está se elegendo o método experimental como uma amálgama entre o discurso e a prática empírica. Na realidade, é o método experimental que está sendo promovido, pois é um procedimento necessário para a produção do saber sábio. Sendo o material de ensino direcionado para a formação de futuros profissionais, o método experimental, por extensão, se transforma em “**objeto do saber a ensinar**”. Ao se transformar em objeto de ensino, o método experimental se submete às regras da Transposição Didática. Para poder ser incluído em livros e manuais escolares se percebe que, além do próprio método experimental, alguns de seus atributos e procedimentos são mais valorizados, particularmente, aqueles que fornecem elementos passíveis de avaliação.

Admitindo a tese de que o laboratório didático tem por objetivo o ensino do método experimental, este último deixa de ser um processo de investigação, para se transformar em objeto de ensino. Assim sendo, é então possível submetê-lo às regras da Transposição Didática.

É claro que as regras da Transposição Didática estão sendo alvo de uma interpretação no ambiente do laboratório didático. Sua leitura tem por objeto o método experimental através das metodologias e procedimentos didáticos, processados por meio de suas montagens experimentais, equipamentos, instrumentos de medida, novas tecnologias...etc. Sua interpretação deve ser relativizada ao respectivo ambiente.

Podemos interpretar como atendimento à regra 1 (modernização do saber escolar) quando os instrumentos de medidas, utilizados nos experimentos padrões, são substituídos por instrumentos ou equipamentos modernos. Como exemplo, poderíamos citar a substituição dos antigos cronômetros por sensores eletrônicos conectados a computadores, no estudo de movimentos. Isto não implica, necessariamente, em novos experimentos tratando de “fenômenos novos”. As antigas montagens assumem nova roupagem permanecendo com a mesma seqüência didática. Se antes era feito o estudo dos movimentos com o carrinho do PSSC e os marcadores de tempo, hoje utiliza-se o colchão de ar com sensores de tempo.

A regra número 2 (atualização do saber) pode estar associada à introdução de novos instrumentos que demandam o domínio de novas habilidades e técnicas de uso e a retirada de instrumentos e procedimentos obsoletos. A Eletrônica, oferecendo novos instrumentos de medida, propiciou quase que uma revolução nos procedimentos de coleta e registro de dados experimentais. O domínio destas técnicas é importante para o trabalho de investigação científica nos laboratórios modernos e, por conseqüência, deve ser fazer parte da formação dos estudantes. A aquisição de habilidades no emprego da prática experimental não provoca alterações mais profundas do que as próprias técnicas em si. Termopares substituindo termômetros, fazem as antigas leituras diretas de temperatura ser coletadas por meio de relações indiretas de corrente elétrica. Isso implica que, além de saber ler, o aluno tenha conhecimento do funcionamento do instrumento para contornar desvios experimentais.

Por outro lado, esta situação mostra também que o laboratório abandona um tipo de instrumento (termômetro) e sua leitura, por se transformarem em um saber já agregado à cultura geral. A articulação do saber velho com o saber novo, prescrito pela regra 3, no espaço do laboratório está restrita à substituição de procedimentos experimentais. Os novos instrumentos e suas técnicas de uso, modificam a tomada de dados, isto é, procedimentos antigos, cujas variáveis eram obtidas de forma indireta, são agora substituídos pela possibilidade de medidas diretas. O método experimental permanece o mesmo, com a coleta, registro e interpretação de dados. A novidade é uma maior facilidade na aquisição dos dados. Notadamente, o uso do computador nas montagens experimentais veio substituir vários instrumentos e fornecer dados já relacionados por meio de gráficos ou tabelas. O resultado é o abandono dos antigos procedimentos e equipamentos.

Por certo, a regra 4, transformação de um saber em exercício, é aquela que se apresenta de forma mais clara. Sua relação com o processo de avaliação é estreita, assim como permite organizar um sistema de acompanhamento de aprendizagem através de exercícios. A exigência dos relatórios dos experimentos realizados pelos estudantes no laboratório didático, refletem esta



prática. O registro das “observações” do fenômeno em estudo; a emissão de hipóteses sobre as relações de causas e efeitos e a proposta dos procedimentos a serem adotados, são os itens descritivos exigidos. Por outro lado, a habilidade no uso de instrumentos de medida e nas leituras se revela nos dados experimentais registrados nas tabelas; a habilidade na construção de gráficos, diagramas, esquemas etc., se traduzem na precisão das “constantes” físicas ou valores experimentais solicitados. Enfim, todo experimento realizado no laboratório, permite um acompanhamento, com relativo grau de detalhamento, que o transforma em um exercício ou problema experimental e que ao final pode ser expresso na forma de uma nota.

A última regra, que trata da redução do grau de complexidade de um conceito, se adequa diretamente ao método experimental, quando se percebe simplificações nos procedimentos, no tratamento de dados e na apresentação de “receitas” a serem seguidas. Entretanto, ela também suscita uma interpretação e aplicação de forma diferente. Em lugar de apresentar artifícios didáticos que facilitem a aprendizagem de conceitos ou princípios do saber, as propostas de utilização do laboratório didático discutidas anteriormente se mostram incentivadoras e promotoras de diferentes proposições metodológicas para o ensino do método experimental. As diferentes iniciativas nada mais são do que formas diferenciadas de incrementar o ensino do mesmo método experimental, através da simulação de se autojustificar com o objetivo de facilitar o ensino de conceitos novos. As diferentes proposições metodológicas, basicamente, se referem aos mesmos experimentos e às mesmas práticas, sinalizando que somente em um número reduzido e determinado de conceitos, “**todos**” os alunos encontram dificuldade. Acrescente-se a isto o fato de que muito facilmente uma montagem experimental fica inoperante e é substituída por outra, que trata de um fenômeno físico diferente. A utilização do laboratório didático com sua estrutura tradicional, não está vinculada à preocupação de ser um redutor de complexidades conceituais. Não negamos a possibilidade de que diferentes metodologias empregadas no laboratório didático possam **auxiliar** no ensino e no aprendizado de conceitos. No entanto, a grande maioria dos objetos do saber é apenas tratada “teoricamente”, desmistificando a necessidade do laboratório didático no processo de ensino. Deve-se ter em mente que o objetivo inicial da

presença do laboratório didático é o ensino do método experimental. A eficiência que o laboratório didático pode ter na redução de dificuldades conceituais parece ainda não ter sido percebida. Lembrando da citação feita por Tamir (1991: 7) "Uma revisão cuidadosa da literatura até o começo dos anos 80 indicou que a pesquisa havia fracassado na tentativa de defender a eficiência do laboratório." Sem dúvida que esta afirmação vem corroborar com a nossa conclusão de que o método experimental é que foi o grande objeto de ensino no laboratório didático e não os conteúdos do saber. Acrescente-se esta conclusão à lista de deficiências detectadas por Tamir(1991) comum a todos os modelos praticados de laboratório didático.

A análise do laboratório didático por meio das regras da Transposição Didática, em particular a última delas, evidencia que o método experimental confirma seu transporte histórico de instrumento de pesquisa do investigador na construção do saber sábio para se tornar objeto de ensino na esfera do saber ensinado. Esta Transposição Didática do método experimental como um objeto de ensino, satisfaz a compreensão geral da ciência como processo indutivo. A noosfera, de certa forma, assimilou e transferiu ao processo de transposição, a forte imagem popular da produção científica associada à concepção empirista. Como consequência, o laboratório didático é colocado no contexto de ensino para valorizar o trabalho experimental, como imagem representativa da atividade desempenhada pelo investigador. O que, por sua vez, cria o consenso de que o laboratório didático é importante no processo de ensino, com uma aceitação quase dogmática.

Nesta perspectiva, a introdução do laboratório didático se torna necessária para o ensino do método experimental, mas não se justifica para o ensino dos demais conteúdo ou saber. A sua inserção ocorre de maneira a poder compatibilizar o ensino dos conteúdos e do método experimental. Os fenômenos didáticos da sala de aula, que lida com saberes, e os fenômenos didáticos do laboratório, relacionados com o método experimental, a princípio são independentes. Os fenômenos da sala de aula prescindem dos fenômenos do laboratório em todos os sentidos: sejam didáticos ou físicos. Isto significa dizer que existe uma "independência" dos acontecimentos da sala de aula e os do

laboratório. Estendendo ao exagero, a física da sala de aula é diferente daquela tratada no laboratório.

Em muitos cursos universitários existem “disciplinas experimentais” totalmente dissociadas das “disciplinas teóricas”. Isto confirma que o objetivo subjacente maior é o ensino do método experimental. *“Ainda assim os projetistas de atividades práticas de laboratório selecionam de uma ampla gama de opções, e apresentam aos alunos apenas um pequeno subconjunto de problemas e variáveis. (...) As atividades de laboratório são em geral limitadas por realidades escolares como a aula de 40 minutos, segurança, orçamento e recursos. O professor controla o equipamento do laboratório, o espaço, materiais e até o máximo de erro de medição que pode ser tolerado.”* (Lunetta & Hofstien, 1991:125) A possibilidade de escolha de “uma ampla gama de opções” demonstra uma dissociação entre a sala de aula e o laboratório. O controle total do professor, chegando ao limite em determinar o erro máximo aceito nas medições, denota que o objetivo do laboratório está dirigido ao ensino de procedimentos, técnicas e habilidades experimentais.

Não podemos esquecer o aspecto de puntualidade do laboratório, isto é, em cada aula é realizada uma prática que trata de um dado tópico do saber, cuja relação com outras atividades é de total independência. Em uma aula o estudante poderá estar realizando a calibração de uma mola e na outra, estar realizando uma prática sobre quantidade de movimento. Enquanto isto, na sala de aula o conteúdo tratado poderá ser relativo a colisões ou outro qualquer. Decorre que muitas vezes o tópico tratado no laboratório já foi discutido na aula teórica. Esta falta de ressonância entre os saberes tratados em sala de aula e o laboratório reforça nossa crença de que o objeto de ensino do laboratório é o método experimental, não o saber físico.

Acrescente-se ainda o fato de que, na maioria dos cursos do Ensino Médio o laboratório simplesmente não existe, demonstrando que sua participação no processo de ensino-aprendizagem do saber, é considerada totalmente prescindível.

Do ponto de vista formal e teórico, a função do laboratório didático não tem justificativa no ensino dos saberes da Física. No entanto, explica sua presença devido a uma interpretação equivocada da transposição de sua função da esfera de construção do saber sábio para a esfera do saber ensinado. Equívoco originado na concepção de ciência - indutivismo ingênuo - assumida pela noosfera e que se impôs na elaboração dos textos do saber a ensinar.

Se equivocada ou não a concepção epistemológica adotada é um fato e está presente no espaço escolar com o laboratório didático. Não considerando seu acervo físico, representado pelas diferentes montagens experimentais e correlatos, existe o acervo didático constituído pelas inúmeras investigações, sugestões e alternativas metodológicas produzidas ao longo de vários anos. É um legado nada desprezível e, por certo, deve ter tomado um tempo enorme e ter sido necessário um esforço de trabalho considerável de seus idealizadores. Mas o que fazer com todo este material físico e didático, se sua finalidade não se adequou ao ensino do saber e ainda não se fez eficiente no ensino do método experimental?

Algumas ponderações ainda se fazem necessárias a respeito do que discutimos até aqui. A primeira, é que o laboratório didático não se mostrou como “a” solução para o ensino do saber físico; a segunda, sua presença é reconhecida e necessária, ao menos no discurso dos investigadores e professores, mesmo não mostrando a eficiência esperada; terceira, que há um potencial a ser exercido por ele no processo de ensino do saber; quarta, decorrente da anterior, para desempenhar este papel ele deverá ser transformado em instrumento de ensino, como uma espécie de mediador entre os saberes; quinta, será necessária uma Transposição Didática. que abandone a concepção empirista ingênuo para adotar uma concepção mais adequada e próxima a construção do saber.

Se tais ponderações se tornarem premissas, será admissível fazer uma inserção do laboratório didático mais efetiva e justificada no processo de ensino-aprendizagem. Além disso, poderá determinar algumas possibilidade de

aproveitamento do acervo acadêmico e prático já elaborado sobre o laboratório didático, respeitando as alterações se que se fizerem necessárias.

## BIBLIOGRAFIA

- AMARAL I.A. *Conhecimento formal, experimentação e estudo ambiental. Ciência & Ensino*. 3. Dez. 10-15.1997.
- ASTOLFI, J.P. & DEVELAY, M. *A didática das ciências*. São Paulo: Papirus, 1995.
- ASTOLFI, J.P. et al. *Mots-clés de la didactique des sciences*. Pratiques Pédagogiques. De Boeck & Larcier S.A. Bruxelles/Belgique, 1997.
- BROUSSEAU, G. *Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. Recherches en didactique des mathématiques*, 7(2).1986.
- BUNGE, M.. *Teoria e Realidade*. São Paulo: Perspectiva, 1974.
- CANTOR, G. *The rhetoric of experiment*. In GOODING, D., PINCH, T. & SCHAFFER, S. *The uses of experiment – Studies in the natural sciences*. Cambridge University Press, 159-180.1993
- CAWTHORON, E. R. & ROWELL, J. A. *Epistemology and science education. Studies Science education*, v 5, p 31-59, 1979.
- CHEVALLARD, Y. & JOHSUA, M-A, *Un exemple d'analyse de la transposition didactique – La notion de distance. Recherches en Didactique des Mathématiques*. 3-2, p. 157-239, 1982.
- CHEVALLARD, Y. *La Transpostion Didactique- du savoir savant au savoir enseigné*. La Pensée Sauvage Éditions. Grenoble. 1991.
- DEVELAY, M. *A propos de la transposition didactique en sciences biologiques. Annales de Didactiques des Sciences*. 4, 119-138.1987.
- DRIVER, R. *Psicologia cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos . Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 291-296, 1988.
- DRIVER, R. *Pupils' alternative frameworks in science. European Journal of Science Education*, 3, 1, 93-101, 1981.
- DUHEM, P. *Algumas reflexões acerca da física experimental. Ciência e Filosofia*, São Paulo (4) 87-118, 1989.
- GOODING, D., PINCH, T. & SCHAFFER,S. *The uses of experiment – Studies in the natural sciences*. Cambridge University Press, 1993.

- HODSON, D. *Philosophy of science, science and science education. Studies in Science Education*, New York, no. 12, p. 25-57, 1985
- JOHSUA, S. & DUPIN, J-J. *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. PUF, Paris, 1993.
- KNELLER, G. *A ciência como atividade humana*. Rio de Janeiro : Zahar; São Paulo, EDUSP, 1980.
- LARCHER, C. *La physique et la chimie, sciences de modèles. Du mond réel aux connaissances scientifiques, en passant par la modélisation. In : Didactique appliquée de la physique-chimie*. Éditions Nathan, Paris, 1996.
- LUNETTA, V. & HOFSTEIN, A. *Simulation and laboratory practical activity. In: WOOLNOUGH, B. Practical Science - The role and reality of practical work in school science*. Open University Press, Celtic Court, Buckingham, 125-137, 1991.
- MARTINAND, J.L. *Connaître et transformer la matière*, Peter Lang, Berna, 1986.
- MILLAR, B. *A means to an end: the roel of process in science education. In WOOLNOUGH, B. Practical Science - The role and reality of practical work in school science*. Open University Press, Celtic Court, Buckingham, 43-52 1991.
- MILLAR, B. Towards a role for experiment in the science teaching laboratoring *Studies in Science education*, v 14, p 109-118, 1987.
- MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem* São Paulo: EPU, 1999.
- PIAGET, J. & GARCIA, R. *Psicogénesis e historia de la ciencia*. México. Sieclo Veintiuno, 1982.
- PINHEIRO, T.F, PINHO ALVES, J & PIETROCOLOLA, M. *Modelização de Variáveis: uma maneira de caracterizar o papel estruturador no conhecimento científico. In. PIETROCOLA, M. (Org.) Rompendo a dicotomia teoria-prática nos`curso de formação continuada de professores de física: o projeto Pró-Ciências de Física da UFSC* . (Submetido)
- PINHEIRO, T.F. *A transposição dos modelos da Física para o ensino da Física*. II Seminário de Pesquisa da Região Sul- ANPEDSUL. Ata Eletrônica. Curitiba, PR, 1999.

- PINHEIRO, T.F. Aproximação entre a ciência do aluno na sala de aula da 1ª série do 2º grau e a ciência dos cientistas: uma discussão. Dissertação de Mestrado. CED/UFSC, Florianópolis, SC. 1996
- PINHO ALVES, J., PINHEIRO, T.F & PIETROCOLA, M. Eletrostática como exemplo de Transposição didática. In. PIETROCOLA, M. (Org.) Rompendo a dicotomia teoria-prática nos curso de formação continuada de professores de física: o projeto Pró-Ciências de Física da UFSC. (Submetido)
- SALTIEL, E. *Kinematic concepts and natural reasoning: Study of comprehension of Galiean frames by science students*. Doctoral Thesis, Department of Physics, University of Paris VII, France, 1978. Eur. J. Sci. Educ., 3(1), 110, 1981.
- TAMIR, P. *Practical work in school science: an analysis of current practice*. In WOOLNOUGH, B. Practical Science - The role and reality of practical work in school science. Open University Press, Celtic Court, Buckingham, 13-21. 1991.
- TAMIR, P. & LUNETTA, V.N. *Inquiry related tasks in high school science laboratory handbooks* Science Education, 65, 477-484, 1981.
- VIENNOT, L. *Spontaneous reasoning in elementary dynamics*. Eur. J. Sci. Educ. 1(2), 205-222, 1979.
- VYGOSTKY, L.S. A formação social da mente. São Paulo: Martins Fontes. Paidós. 1988.
- WOOLNOUGH, B *Practical science a Holistic Activity*. In: Practical Science - The role and reality of practical work in school science. Open University Press, Celtic Court, Buckingham, 178-181, 1991.
- ZYLBERSZTJN, A Resolução de problemas: uma perspectiva kuhniana Ata Eletrônica do VI EPEF. Florianópolis, SC. 1998.

## CAPITULO 5

### *ATIVIDADE EXPERIMENTAL : UMA ALTERNATIVA NA CONCEPÇÃO CONSTRUTIVISTA*

#### 1. INTRODUÇÃO

A Transposição Didática permitiu elaborar uma argumentação onde o laboratório didático se apresenta com a função precípua de ensinar o método experimental transformado em objeto de ensino. Ainda dentro desta argumentação, percebe-se que a concepção empirista era norteadora dos textos didáticos, ainda que o discurso literário se organize em um formato racionalista. O formato do discurso não é impedimento para que o ensino seja transmitido em um discurso didático de concepção empirista, fortalecendo aspectos factuais da ciência, se impondo dentro de características dogmáticas, lineares e acumulativas.

Há alguns anos, a concepção empirista de ensino começou a ser alvo de críticas. Atualmente, quando se fala em um processo ensino-aprendizagem, não se está pensando no processo tradicional, que caracterizava o aluno como “tábula rasa”, isto é, entendia sua mente como sendo um depositário fiel dos saberes ou conhecimentos transmitidos, oferecidos ou apresentados pelo professor.

Na perspectiva de reverter este quadro de imprecisão epistemológica, seria urgente adotar uma nova concepção de ciência no discurso didático. Uma concepção que considere o estudante como alguém com uma história de vida recheada de experiências pessoais e portadora de um conjunto de explicações construído, que procura dar conta de suas relações com o mundo em que vive.

Atualmente os educadores e os mais diferentes didatas, em sua maioria, defendem que a educação é resultante de um processo interativo e não de um



processo unilateral. Esta concepção tornou-se mais difundida nas últimas décadas, graças à divulgação dos trabalhos de Piaget, Kelly e Vygotsky, Ausubel, entre outros que através de estudos em psicologia cognitiva, forneceram recursos para análises teóricas a respeito do ensino. Por outro lado, a epistemologia também marca presença com os epistemólogos modernos, entre eles Popper (após 1930), Kuhn (década de 60), Lakatos e Feyerabend (pós 1970) e Bachelard (1938), fortalecendo a concepção construtivista, criticando a imagem empirista-indutivista impregnada na cultura pedagógica tradicional.

É difícil não aceitar a concepção construtivista como construto teórico plausível, em função da argumentação organizada e coerente apresentada por seus autores. Sua adoção como referência implica aceitá-la nas diferentes esferas do saber. Desde o processo de construção do saber sábio (domínio específico da atual epistemologia), passando pelo processo transformador deste para o saber a ensinar (domínio da teoria dos currículos), até o espaço escolar onde ocorre a transposição do saber a ensinar para saber ensinado (domínio das teorias didáticas) e, por que não, para o saber aprendido (domínio das teorias cognitivas).

Com a mudança de paradigma educacional e de concepção epistemológica, se faz necessário partir do saber sábio e, através de novas Transposições Didáticas (interna e externa), fazer com que o laboratório didático não seja incluído por equívoco de interpretação, mas por necessidade imposta pelo processo de construção do saber em qualquer uma das esferas.

Admitindo a necessidade de realizar uma nova Transposição Didática de imediato, do saber sábio para o saber a ensinar, sob a ótica construtivista, estaremos provocando uma situação de crise e conflito. Crise, por exigir um trabalho hercúleo, pois seria necessário “reconstituir” todos os textos de Física dentro dos parâmetros construtivistas. Conflito, porque seria necessário optar por tais parâmetros norteadores, pois se sabe que existem divergências pedagógicas relativas à concepção construtivista, quando levadas ao plano do processo de ensino-aprendizagem. Fugindo de maiores polêmicas, torna-se

inevitável aceitar a impossibilidade de uma nova Transposição Didática nesta esfera imediata.

De outro lado, o acervo das publicações sobre as investigações na área de ensino de Física é considerável, mas ainda insuficiente para oferecer respostas mais objetivas aos “consumidores”. Isto é, os dados, relatos e interpretações ainda que em grande quantidade e de alta qualidade, se apresentam no formato de relatórios científicos ou artigos. Não ocorreu uma Transposição Didática que transformasse tais investigações em produto instrucional disponível para o trabalho em sala de aula. Iniciativas pontuais existem, mas não conseguem abranger todos os objetos didáticos, frutos das investigações da linha construtivista. Materiais que enfatizem as diversas correntes e categorias didáticas de concepção construtivista ao mesmo tempo certamente irão demorar a ficar à disposição do público.

Enquanto aguarda-se com expectativa novos materiais que contemplem a concepção construtivista, ficará a cargo do professor no espaço da sala de aula a tarefa de mudança do paradigma epistemológico, de empirista para construtivista. Mas o que ocorreria com o laboratório didático em um contexto dessa ordem?

*“Estamos, portanto, nitidamente diante de um momento histórico de emergência de um novo paradigma curricular para o ensino de Ciências. Os princípios e diretrizes curriculares e metodologias que vêm sendo preconizados, e fundamentados ao longo dos últimos anos, tem sido enunciados e aplicados de forma geralmente isolada, independentes uns dos outros, carecendo de uma unificação geral coerente e consistente, de maneira a configurar efetivamente um novo modelo ou paradigma, alternativo aos modelos clássicos.” (Amaral, 1997:13)*

Tudo indica que, do ponto de vista operacional, a Transposição Didática mais acessível para uma intervenção é aquela que ocorre no processo transformador do saber a ensinar ao saber ensinado. Isto significa atuar no espaço escolar e junto a seus personagens. Será indispensável que a concepção

construtivista sobre a produção de Ciência seja assumida pelos responsáveis pela Transposição Didática correspondente e que também haja a adoção da mesma concepção para o processo de ensino-aprendizagem. Estas duas condições devem ser satisfeitas pois, caso contrário se estabelecerá uma situação de conflito epistemológico, não oferecendo condições para que se realize uma Transposição Didática adequada aos objetivos de introduzir o laboratório didático no processo de ensino, na condição de elemento mediador para ensinar os conteúdos de Física e não mais o método experimental.

Nosso objetivo, já mencionado, está dirigido à presença do laboratório didático no processo de ensino-aprendizagem de Física na escola média. Reveste-se de importância caracterizarmos este ambiente escolar, cuja dinâmica, jogo de interesses e relações entre seus personagens compõem um nicho epistemológico próprio. Neste espaço, determinados valores são permanentes e devem ser preservados conforme a tradição local ou da comunidade, outros acompanham ou são ditados pelos movimentos sociais e modismos temporários. Ao utilizar-se da Transposição Didática como instrumento, devemos ter sempre presentes as práticas sociais de referência, que refletem os anseios e costumes dos diferentes grupos sociais que compõem a respectiva esfera. Chama-se atenção a este fato pelo motivo de que se está tratando de ambientes escolares e, estes são extremamente sensíveis quando submetidos a estímulos externos. Respostas a estes estímulos podem se diferenciar entre escolas, o que deve ser respeitado e levado em conta, mesmo do ponto de vista teórico, pois influenciam o processo de Transposição Didática. Para efeitos do presente trabalho vamos abandonar situações singulares, procurando descrever e trabalhar em uma situação genérica, mas que represente um ambiente escolar padrão.

Dos personagens da esfera do saber ensinado, o professor é o mais exposto e mais importante, pois é o responsável que executa ou concretiza, com sua prática na sala de aula, os objetivos e finalidades a que se destina o espaço escolar. As demais forças presentes nesta esfera, após o estabelecimento das regras mais gerais, não interferem em demasia no trabalho didático-pedagógico do professor, exceto se o mesmo foge em demasia dos contratos iniciais. Ao

professor competem tarefas que podem apresentar desde grau considerável de complexidade até a simplicidade da mera rotina. Entre as primeiras estariam, por exemplo, a elaboração de currículo ou programas disciplinares ou ainda a decisão de escolha de livros textos.

Os fortes interesses editoriais executam, uma intensa distribuição de livros junto aos professores do ensino médio, objetivando difusão de seus “produtos”, o que leva grande número de professores de Física/Ciências a ficarem presos somente a esta bibliografia. Livros universitários, paradidáticos e outros, praticamente não são consultados para a preparação das aulas. Por isso a bibliografia básica de referência para o ensino médio, tanto para professores como para os alunos se limita, em grande parte das escolas, aos livros “distribuídos”. Estes livros herdam a concepção empirista em sua estrutura didática, fazendo uso de uma linguagem escrita e matemática simplificada. Atualmente existem algumas publicações que fogem um pouco da estrutura tradicional e apresentam uma composição diferenciada, mas nada que as caracterizem como resultado de uma Transposição Didática radicalmente diferente das demais publicações.

Ao professor é quem cabe, e continuará cabendo, o papel final de executor da Transposição Didática entre o saber a ensinar e o saber ensinado, seguindo as práticas sociais de referência de sua escola e comunidade. Mudanças no processo de ensino-aprendizagem sempre verão o professor como o grande alvo de qualquer campanha inovadora, pois antes de tudo, é necessário convencê-lo dos objetivos da campanha e obter seu comprometimento e parceria. Vale lembrar que o corpo docente é um tanto avesso às “reformas ou proposições” quando impostas “de cima para baixo”. Este é um fato cultural em nosso país que, correto ou não, deve ser levado em conta. Práticas sociais são componentes aceitáveis que devem ser conhecidas e entendidas, na expectativa de permitir negociações e mudanças futuras. Isto implica em fazer do professor parceiro e divulgador do objeto da campanha inovadora do processo ensino-aprendizagem.

## 2. O LABORATÓRIO NA CONCEPÇÃO CONSTRUTIVISTA

Investigações realizadas, após o período áureo dos projetos, por diferentes autores (Luneta e Hofstien,1991; Millar, 1987 e' 1991; Tamir e Lunetta, 1978 e1981, Hodson, 1986, Woolnough,1991, Cantor,1993) e mais recentes como Arruda e Laburu (1996), Borges (1997), apresentam os motivos do laboratório didático tradicional de Física, não estar respondendo as expectativas dele esperada, ao mesmo tempo que apontam para um conjunto de razões que o justificam no processo de ensino.

Tamir (1991) constrói o que achou conveniente denominar das “*cinco principais razões que podem ser oferecidas como motivo para o laboratório de ciências na escola.*” (grifo nosso), reunindo argumentos de diferentes autores. Tamir (1991:14) cita (1) a necessidade do concreto, pois certos alunos teriam dificuldade de aprendizagem. “*As experiências práticas são especialmente eficientes para induzir mudanças conceituais.*” Em Schwab (1960) encontra o componente essencial à aprendizagem de ciências, que é (2) a participação do aluno em um processo de investigação real, por utilizar e desenvolver o conhecimento de procedimentos relativos a habilidades, pois se torna um “*comportamento essencial do aprendizado de ciências como questionamento*” (grifo nosso). O autor reforça esta razão (em Ausubel e Bruner) quando afirma que o laboratório “*dá aos alunos oportunidade de apreciar o espírito científico da ciência, e promove habilidade analítica de resolução de problemas*” e ainda “*permite ao estudante que atue como um verdadeiro cientista.*” (Tamir:1991:14). Sua terceira (3) razão fundamentada em Gagné (1970), justifica o laboratório e suas práticas pelo desenvolvimento de habilidades e estratégias com um largo espectro de efeitos generalizáveis.

A (4) quarta razão é fruto de investigações mais recentes que consideram as idéias prévias<sup>1</sup> dos alunos. O laboratório é visto como o local que “(...)

---

<sup>1</sup> A denominação de “idéias prévias” é para não caracterizar nossa opção por este ou aquele autor. Pequenas nuances de interpretação, fizeram com que diferentes autores as denominassem de maneira diferente. Entre as denominações mais conhecidas encontramos: “esquemas”, “teorias ingênuas”, “ciência dos pequenos”, “preconcepções”, “concepções alternativas”, “concepções espontâneas”, utilizadas por

*oferece oportunidades únicas de identificar, diagnosticar e suprir as concepções alternativas dos alunos.” (Driver & Bell,1985). Como quinta (5) e última razão “(...) os estudantes em geral gostam das atividades e do trabalho prático, e quando têm chance de experimentar experiências significativas e não triviais, eles se tornam mais motivados e interessados em ciência.”*

A transformação do laboratório didático como um instrumento que oferece objetos concretos de mediação entre a realidade e as teorias científicas, está-se radicalmente opondo aos exercícios comprobatórios do laboratório tradicional. Além disso, reduz as interpretações ambíguas dos estudantes, devido à descrição expositiva de um fenômeno. Permite o compartilhar de um mesmo fenômeno e o negociar de uma mesma linguagem, estabelecendo “universais de mesmo significado científicos” evitando as ilusões perceptivas descritas pela Psicologia da Gestalt<sup>2</sup> que podem ser minimizadas quando todos podem ver a mesma “coisa” concreta.

A participação ativa do aluno em situação de investigação real, proposta na forma de desafio, o instigará na busca de uma resposta correta, entendendo o correto como exercício de um procedimento que se baseia em uma hipótese teórica para a resolução de um problema científico.

A liberdade de testar hipóteses presente no exercício experimental como tentativas de soluções dos desafios propostos, dá a chance de propor diferentes meios ou caminhos para chegar ao resultado desejado. Diferentes exercícios e diferentes caminhos para a solução oferecerão condições ao estudante no desenvolvimento de táticas e estratégias que possam ser utilizadas em outras situações.

Uma das principais razões que justificam o laboratório didático certamente é o “tratamento” das idéias prévias. Por meio do laboratório didático, se torna possível, através de um diálogo questionador, perceber quais

---

Viennot (1979); Saltiel (1980), Watts e Zylberstajn (1981), Di Sessa (1982) e Driver (1983 e 1988), entre outros.

<sup>2</sup> Estas percepções são também conhecidas vulgarmente por “figuras de gestalt”.

as argumentações utilizadas pelos estudantes para explicar o fenômeno envolvido. As diferentes argumentações permitirão ao professor mapear quais os equívocos de interpretação. Cria-se, então, uma oportunidade importante para o professor, que pode discutir tais idéias prévias, colocando-as em cheque concretamente.

O último motivo ou razão fica por conta da motivação e do ambiente mais descontraído que envolve a realização de atividades que fogem do formalismo da aula expositiva. Este ambiente mais descontraído é vital para que os estudantes sintam liberdade de expor suas concepções, sem o receio de julgamento ou avaliação.

Pode até parecer, que as razões apresentadas estejam muito próximas ou sejam parecidas com as do laboratório tradicional: o trabalho de manipulação em material concreto, o desenvolvimento de habilidades, a transferência do aprendizado e a motivação pelo trabalho prático. Entretanto, vale notar, a epistemologia norteadora está implícita no laboratório tradicional enquanto que, no laboratório construtivista se faz explícita, valorizando aspectos diferentes daqueles que envolvem a concepção empirista na sua prática.

### 3. AMBIENTE ESCOLAR E SUAS RELAÇÕES

Para que o novo “laboratório didático” seja partícipe do fenômeno didático é interessante conhecermos a esfera particular do ambiente escolar, para localizar sua estrutura de funcionamento e seus personagens, de modo que os ocasionais pontos que possam “resistir” à mudança sejam contornados.

A instituição escolar, particular ou oficial, está submetida à legislação própria de suas instâncias legais. Não entrando nos detalhes de maior ou menor interferência desta legislação, elas determinam desde as rotinas escolares até os projetos político-pedagógicos, etc. Por tudo isto seus personagens reagem a novidades legais ou pedagógicas demonstrando, muitas vezes, uma resistência silenciosa as eventuais modificações que possam alterar em demasia a “tradição escolar”. Os personagens que compõe a esfera de influência no entorno escolar se caracterizam por diferentes interesses. *“Para ele concorrem mais acentuadamente os grupos da noosfera vinculados à comunidade escolar, como a direção de escolas públicas, proprietários de estabelecimentos de ensino, os supervisores e orientadores educacionais, a comunidade dos pais e os professores. São inúmeros os aspectos que concorrem para a definição do saber a ser ensinado, mas podemos identificar que ele é definido pela possibilidade de um controle social e legal da aprendizagem”.* (Pinheiro, 1996:46)

A Direção, supervisores e orientadores têm mais de perto a responsabilidade pelo cumprimento da legislação e pela demonstração de (uma certa) eficiência da escola através de um percentual significativo de “aprovações”. Aos pais cabe a pressão por um “bom ensino” e pela aprovação dos filhos. Finalmente, na sala de aula tem-se o professor, o estudante e conhecimento, espaço do saber ensinado em sua última instância (a Transposição Didática interna), cuja relação é mais complexa pela necessidade da existência do diálogo didático e diversidade de interesses.

O professor exerce uma tarefa, um trabalho ou uma competência profissional, e o faz por opção própria, por gosto ou outra razão particular. O



alunado está na escola pelas mais diversas razões e com os mais diferentes níveis de expectativa que um ser humano possa almejar ou sonhar. Afinal são pré-adolescentes e adolescentes, e o mundo se torna objeto de descobertas e nem sempre as oferecidas pela escola são as mais atraentes ou mais prioritárias em suas vidas. Alie-se a isto o fato, não só em nosso país, de que, em sua grande maioria não apresentam muita afinidade com as Ciências em geral, o que dirá pela Física. A demarcação deste conflito de interesses sugere a importância de ser promovido um diálogo que procure amenizar a renitência dos estudantes, ao mesmo tempo que dê significado ao conhecimento físico.

Se o aluno é o grande arquiteto de seu aprendizado, o professor é o engenheiro do processo de ensino. No diálogo construtivista entre professor e estudantes, é essencial que fiquem claras as características cognitivas dos personagens envolvidos neste cenário. De um lado tem-se a figura do professor com sua bagagem cultural e científica, em condições de exercitar ao máximo suas estruturas e funções cognitivas. Seu domínio do conteúdo lhe dá autoridade formal de lecionar e exercer o direito de julgar (avaliar) a aprendizagem, emitindo juízo do aproveitamento escolar. De outro lado, os estudantes, em sua maioria adolescentes, sob uma ótica piagetiana, estão na fase de desenvolvimento das operações formais, sendo que *“A principal característica deste período é a capacidade de raciocinar com hipóteses verbais e não apenas com objetos concretos. É o pensamento proposicional, por meio do qual o adolescente, ao raciocinar, manipula proposições. O ponto de partida é a operação concreta, porém o adolescente transcende este estágio: formula os resultados das operações concretas sob a forma de proposições e continua a operar mentalmente com eles”* (Moreira, 1999:98). Esta demarcação das diferenças cognitivas se faz importante, em particular para o professor, para que esteja atento à proposição de atividades didáticas que permitam um compartilhar coletivo e facilitem a transcendência das operações cognitivas envolvidas. Ao estudante que, por algum motivo, ainda se vê ou se sente um pouco preso às operações concretas, deve ser oferecida a oportunidade de superá-las, iniciando o pensamento proposicional.

Como resultado do próprio processo de ensino-aprendizagem de construção cognitiva, é de se esperar que haja uma transformação nas estruturas cognitivas do estudante. Espera-se que concepções pessoais que não foram abandonadas e substituídas pelas concepções formais ou científicas, pelo menos passem a coexistir com as mesmas. Isto quer dizer que os significados anteriores (os pessoais) já foram alvo de algum tipo de transformação, mínima ao menos, resultando em uma alteração no espectro do conhecimento anterior. Esta transformação passa a se constituir em uma espécie de substrato intelectual, compondo uma base para a construção de novos conhecimentos e assim sucessivamente.

Tais aspectos apontam para uma ou mais atividades didáticas que auxiliem a montagem de um cenário histórico, sob o ponto de vista didático, que criem condições e favoreçam a indução de um diálogo construtivista na sala de aula. A dosagem dos tempos didático (Chevallard, 1991; Johsua e Dupin, 1993) e de aprendizagem nos processos de re-personalização, re-contextualização e ressincretização, caminho inverso da Transposição Didática, será essencial para um ensino mais significativo e mais próximo de uma realidade histórica.

Convém lembrar que sempre estamos nos referindo ao espaço didático do ensino médio, onde os estudantes estão sendo apresentados à Física, e que este primeiro contato determinará as relações de afetividade e empatia (Pietrocola & Pinheiro, 2000) com a disciplina. Isto implica que a Transposição Didática do saber ensinado, dirigida por uma concepção construtivista, não pode se furtar de trabalhar com a História da Física. Além de expor o contexto epistemológico da elaboração do saber sábio, deverá fornecer subsídios relativos aos eventuais obstáculos epistemológicos (Bachelard, 1968) e à origem de idéias prévias, oferecendo toda a possibilidade de organizar um cenário didático agradável, motivador e significativo.

#### 4. ATIVIDADE EXPERIMENTAL: UMA PROPOSTA NA CONCEPÇÃO CONSTRUTIVISTA

A adoção do paradigma construtivista fará com que sejam abandonados o laboratório didático tradicional e suas práticas experimentais? Independente do enfoque ou metodologia que as justifiquem pois, de uma forma ou outra, todas têm o método experimental como objetivo subjacente de ensino. A concepção de um laboratório didático, na aceção de ambiente físico próprio, não mais terá significado. As novas atividades devem estar intimamente ligadas ao fenômeno didático que, sob orientação do professor, irá desencadear e mediar o diálogo construtivista na sala de aula. Fenômeno didático é entendido aqui como a dinâmica da mediação planejada pelo professor e sua execução, de forma induzida, por meio do diálogo construtivista na elaboração do conhecimento científico na sala de aula.

Esta nova atividade será denominada “*atividade experimental*” (AE), não com a mera intenção de renomear coisas sabidas, mas para deixar explícito que sua orientação é construtivista, além de diferenciá-la da “experiência” do cotidiano e da “experimentação” do cientista (Capítulo 3). Seu papel no contexto escolar é oferecer a oportunidade ao estudante de conscientizar-se de que seus conhecimentos anteriores são fontes que ele dispõe para construir expectativas teóricas sobre um evento científico. Isto significa que a AE deve se constituir de tarefas que permitam gerar uma negociação<sup>3</sup> sobre conhecimento, na constituição de valores coletivos para a construção do saber físico.

A **atividade experimental** deve ser entendida como um **objeto didático**, produto de uma Transposição Didática de concepção construtivista da experimentação e do método experimental, e não mais um **objeto a ensinar**. Como **objeto didático** sua estrutura deve agregar características de

---

<sup>3</sup> Entendemos negociação no mesmo sentido de Fourez (1994), para quem esta palavra significa a utilização e incorporação de saberes que forneçam ao estudante condições de negociar suas decisões diante de situações sociais e naturais. O exercício da negociação tem por consequência a aquisição de autonomia para futuras decisões.

versatilidade, de modo a permitir que seu papel mediador<sup>4</sup> se apresente em qualquer tempo e nos mais diferentes momentos do diálogo sobre o saber no processo ensino-aprendizagem. E, principalmente, é um objeto de ação que, manipulado didaticamente pelo professor, irá se inserir no discurso construtivista facilitando a indução do fenômeno didático que objetiva o ensino de saberes.

Na condição de objeto didático de mediação, é mister sua participação no processo de Transposição Didática do saber ensinado de concepção construtivista.

Sua mediação ocorre no espaço entre a experiência do cotidiano e a experimentação do cientista, permitindo mostrar que a mesma “realidade” assume explicações diferentes dependendo da ótica adotada. A visão de mundo construída ao longo da vida (Pietrocola, 1999) pode ser colocada frente à concepção científica estabelecida. A ação mediadora permitirá negociações, relativas às causas e efeitos de um dado fenômeno físico “presente” na sala de aula, facilitando<sup>5</sup> o diálogo didático entre estudantes e professor na construção de “saber compartilhado”. Significa dizer que, a todo e qualquer momento do diálogo didático da sala de aula, a atividade experimental poderá ser solicitada para configurar os conhecimentos prévios dos estudantes, para gerar conflitos de interpretação acerca de uma dada situação ou ainda como decorrência de uma problematização inicial (Delizoicov & Angotti, 1991).

Neste diálogo que agora se institui no espaço da sala de aula, é preciso que fique claro que qualquer que seja a atividade experimental proposta, ela não mais subsistirá isoladamente no processo ensino-aprendizagem. Deverá estar presente no momento em que se fizer necessária uma apropriação junto à natureza de eventos ou fenômenos que, manipulados artificialmente por meio do trabalho cognitivo e dos parâmetros já negociados coletivamente, permitam construir uma teoria que dê conta dos objetivos iniciais. O arsenal intelectual

---

<sup>4</sup> O termo mediação, tomado no sentido vygostkiano, pode ser entendido como uma intervenção programada e induzida pelo professor no espaço didático, na forma de questionamentos, desafios, estímulos para discussões, etc. A mediação é o criar de condições para que os alunos se apropriem da forma de pensar (Vygotsky, 1991).

que se amplia a cada ação cognitiva do sujeito cognoscente, potencializa-o a solicitar novas atividades experimentais, não mais com a função primária de explicitar concepções prévias ou gerar conflitos. Estas novas atividades experimentais assumem a função de auxiliar na elaboração de relações formais que expressem as regularidades construídas a partir da observação dirigida pelas expectativas teóricas propostas a priori. Para que as atividades experimentais produzam e forneçam os elementos desejáveis à configuração teórica preestabelecida, se faz necessária a utilização de práticas coletivas compartilhadas como meio de construção e validação do conhecimento em questão.

As práticas coletivas negociadas em sala de aula, relativas aos parâmetros envolvidos em determinado fenômeno Físico, marcam a necessidade de uma nova negociação que deverá resultar em um processo comum para a coleta, registro e no tratamento de dados a respeito desses parâmetros. A cada atividade experimental, o método experimental é reconstruído, não mais na acepção de ser explicitamente um objeto a ensinar, mas um meio que permita questionar o fenômeno físico focado. Neste contexto, o estudante não se limita a “imitar o cientista” de forma caricatural e artificial, mas através do envolvimento e do desafio de checar suas próprias hipóteses.

Isto quer dizer que o método experimental não deve ser desprezado ao longo do processo de ensino de Física e que tudo deve girar em torno de atividades experimentais que estejam de acordo com os cânones construtivistas. Não estamos negando a importância do método experimental, mas este pode ter espaço e procedimentos específicos para ser ensinado através de atividades experimentais próprias e didaticamente explicitadas. Na seqüência didática poderá ser aberto um espaço para exercícios experimentais de caráter comprobatório, isto é, novas situações físicas ou do cotidiano que respondem à mesma estrutura teórica. Isto favorecerá a generalização de estratégias para solução de problemas, na linguagem de Gagné, como também revelará o potencial do método experimental. Entretanto, é preciso ter clareza de que se

---

<sup>5</sup> Lembrar da regra da Transposição Didática, diz o objeto de ensino deve facilitar o ensino de conceitos, tratado no capítulo 4.

trata de um **exercício**. Como exercício pertinente a envolver e enfatizar as diferentes contribuições e procedimentos que envolvem o método experimental. Portanto, podem ou devem ser propostos desafios experimentais na expectativa de imputar ao estudante uma simulação didática, onde possa vivenciar o papel do investigador e seus procedimentos de trabalho, sem maiores constrangimentos ou pudores didáticos.

Em suma, a atividade experimental deve ser interpretada como um instrumento didático, como o livro-texto ou outro meio a ser utilizado quando do diálogo construtivista entre professor e estudante. Através dela, a negociação se faz presente ao concretizar ambientes didáticos mostrar in loco, a acomodação ou o amoldamento da teoria aos fatos e as limitações teóricas envolvidas. Descarta o dogmatismo e o determinismo teórico que se mostra nos livros-texto, onde a natureza parece se adaptar aos Princípios Físicos e não o contrário.

## 5. OPERACIONALIZANDO A ATIVIDADE EXPERIMENTAL

Um processo de ensino que se inspire na concepção construtivista, não terá como justificar um papel passivo do estudante quando da realização de uma atividade experimental. A introdução se constituiu na razão de movimentos inovadores no ensino de ciências na década de 60 (vide capítulo 1), exercícios do laboratório didático. No entanto, sua participação ativa, deve ser entendida não apenas quando é exigida alguma tarefa motora, mas também no processo de negociação do saber. Uma possibilidade de agir no processo de negociação do saber é a característica mais importante dentro de um visão construtivista.

A atividade experimental, manipulada didaticamente pelo professor no decorrer do seu discurso de sala de aula, na ocasião do fenômeno didático, inspirado em uma Transposição didática do saber ensinado de concepção construtivista. O fenômeno didático por restrições temporais, admite no processo transformador do saber ensinado uma ação indutiva, por parte do professor, na organização de seu discurso didático. Não estamos com isto que o conhecimento físico seja fruto de um processo indutivo. Aqui a indução é atributo dos procedimentos didáticos, relacionados a limitações determinadas pelas práticas sociais de referência escolares.

Em nenhum momento é nossa intenção propor ou apresentar **prescrições** detalhadas relativas ao uso de atividades experimentais, tal como os antigos roteiros. Isto porque, se o fenômeno didático se fundamenta em um “diálogo construtivista em sala de aula”, de certo modo, é impossível prever as inúmeras possibilidades e ramificações que o mesmo pode assumir. Qualquer tipo de receita prescritiva que venha a se pensar, irá barrar a espontaneidade do processo, fazendo-o retomar o dogmatismo tradicional. Em uma situação idealizada, seria de esperar disponibilizar ao professor um acervo para os possíveis encaminhamentos do diálogo didático. A impossibilidade de prever estas diferentes alternativas e suas conseqüências, justifica o induzir didático do professor. Sua “vivência” profissional, permitirá uma análise das necessidades da situação, encaminhando-a na busca de “experiências pessoais” dos estudantes, que desemboquem em alternativas previsíveis e didaticamente

controladas. Conforme a alternativa que se apresente poderá então fazer uso da atividade experimental mas a adequando à situação.

Não é necessário saber quem é o agente ativo de uma atividade experimental, o importante é a sua presença no fenômeno didático. Uma atividade de compartilhamento (será discutida mais adiante), por exemplo, poderá ser trabalhada apenas pelo professor se o tempo didático for reduzido, caso contrário, poderá ser realizada pelos estudantes. O que deve ser considerado necessário no fenômeno didático, é a presença da atividade experimental na Transposição Didática do saber ensinado. Ao professor caberá a tarefa maior de perceber qual atividade experimental deverá escolher e como será trabalhada. Fenômenos didáticos diferentes farão uso de atividades experimentais diferentes, sejam elas justificadas pelos diferentes conhecimentos físicos envolvidos, sejam pelos diferentes grupos de estudantes.

Nas atividades experimentais, a figura do tradicional relatório não tem mais o significado e a forma tradicionais. As atividades experimentais não são alvo de um roteiro prescrito passo a passo, mas estão ligadas às dinâmicas do diálogo construtivistas da sala de aula. Neste diálogo o professor organiza, a recontextualização do saber, que do ponto de vista didático é a reconstituição do cenário da descoberta. Neste momento o que pode caber são registros dos mais variados, isto é, desde a listagem de atributos, possíveis hipóteses das relações causa-efeito, propriedades já conhecidas, listagem de variáveis negociadas, relações causais...etc., frutos do diálogo de sala de aula.

Estes registros quando, posteriormente, submetidos ao processo de organização do saber na formalização das relações causais ou das relações funcionais entre as grandezas físicas, fornecerá condições para que o estudante seja o agente construtor de seu conhecimento e possibilite também a sua apresentação por escrito. A produção escrita do estudante, em geral não deverá ter a configuração de um relatório descritivo, mas a de um novo saber construído por ele estudante. Um texto elaborado na forma de um “contexto da reconstrução do saber” e não da justificativa, como aquele dogmatizado pelo saber a ensinar. -



Os registros experimentais, substituindo a receita dos antigos relatórios, poderão contemplar com maior destaque o relato do estudante, na tentativa de expressar por escrito, como entende o evento físico que está sendo estudado. É um procedimento que deve ser iniciado de forma lenta, pois os estudantes ao ingressarem no ensino médio, de maneira geral, apresentam inúmeras deficiências relativas a redação e formas de expressão. Ao cabo de algumas atividades experimentais é presumível que, além do aprendizado de Física, tenha havido também um aprendizado na forma de anotar e elaborar os “registros experimentais” (além do português!). A principal idéia é promover a máxima participação do estudante quando da atividade experimental, independente da forma que seja feita. Ao mesmo tempo, oferecer condições e incentivar o estudante na elaboração de um produto que reflita sua aprendizagem, como também auxiliar ao professor com um bom instrumento de avaliação<sup>6</sup>.

Atividades experimentais que veiculam a característica comprobatória, elaboradas e empregadas explicitamente para enfatizar o método experimental, certamente terão mais êxito se dirigidas didaticamente. Deve-se enfatizar que tais atividade o que importa é que fique claro ao estudante que nesta atividade, seu papel é do aprendizado de alguns procedimentos adotados pelos cientistas. Deverá conhecer e trabalhar com as diferentes técnicas experimentais, desenvolvendo habilidades de manipulação em equipamentos e instrumentos de medida. São atividades experimentais, que por meio de qualquer saber, se destina a ensinar o método experimental, suas vantagens, suas limitações, seus procedimentos, coleta e registro de dados experimentais, construção de gráficos, análise de resultados etc. O que deve ser abolido, é o pensamento de que atividades experimentais do tipo comprovação são suficientes para estabelecer um dialogo didático a luz do construtivismo. Se a atividade experimental é de comprovação, só poderá ser utilizada após o domínio do saber formal como exercício.

---

<sup>6</sup> A regra de número quatro da Transposição Didática.

Muito foi falado do diálogo didático, negociações e compartilhamentos no espaço escolar. Estes fenômenos didáticos concernem à presença de três personagens: o estudante, o professor e o conhecimento. Todos já foram referenciados, mas resta colocar que cabe ao professor a maior atribuição para provocar um diálogo didático conseqüente. Também já nos referimos a ele como responsável pela implantação de uma nova concepção de ensino e do gerenciamento do tempo didático e engenheiro do processo de ensino. De certo modo, o professor é o “representante” mais próximo da noosfera e, como decorrência, carrega todo o estigma que acompanha a mesma. Na realidade queremos nesta discussão, justificar a necessidade de transcender o discurso acadêmico de análise e proposições teóricas aliado ao aliciamento intelectual em direção a novas concepções epistemológicas. Queremos que o professor esteja municiado com sugestões o ajude a direcionar seu diálogo construtivista em sala de aula, ao invés de algumas receitas sobre atividades experimentais. E dentro dessa perspectiva serão oferecidas algumas alternativas de como atividades experimentais podem participar no processo de ensino de Física. Dizemos participar pois, a presença das mesmas durante o ato de ensinar, será resultado das contingências e estimulação do diálogo construtivista entre estudantes, professor e conhecimento. Portanto, o arsenal de atividades experimentais precisa se apresentar com diferentes formatações, pois seu uso será determinado pelas circunstâncias.

Finalmente, quanto ao material experimental para organizar as diferentes atividades experimentais não será motivo de discussões maiores, pois quaisquer tipos e formas de objetos, artefatos, equipamentos e instrumentos de medidas, de origem industrial ou alternativo, ou ainda de simples improvisação, podem e devem ser utilizados. Não há imposição restritiva ao uso dos equipamentos ou montagens prontas do acervo dos “laboratórios didáticos tradicionais”. Tudo deve ser aproveitado nas mais variadas atividades experimentais, sempre tendo em mente que, sua função primeira é mediar o fenômeno didático.

## 6. CATEGORIAS DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS.

Pretendemos neste item associar ao universo de possibilidades dos diferentes momentos do diálogo construtivista professor-aluno, passíveis de ocorrer na sala de aula, atividades experimentais mais pertinentes ou relacionadas ao contexto deste ou daquele diálogo. Como já comentamos, o professor ao dominar os objetivos de seu ensino tem condições de dar a direção deste diálogo. Tal condição lhe permite fazer aflorar a bagagem intelectual que seus estudantes utilizam para se exprimir acerca de fatos da natureza. O mapeamento dessas idéias lhe fornecerá os subsídios necessários para escolher uma atividade experimental mais adequada para mediar aquela situação de ensino. A proposição da atividade experimental será **induzida didaticamente**, de modo a manter a autonomia do professor na condução do fenômeno didático, o que de modo algum invalida ou restringe a autonomia dos estudantes em propor outras atividades. Sejam elas decorrentes da inicialmente apresentada ou outras que venham ao encontro do conteúdo tratado.

Queremos assumir a ousadia de auxiliar o professor, não na prescrição detalhada de atividade experimental, assumido acima, mas em categorias de atividades que se fazem adequadas a determinados momentos do diálogo didático ou de seu encaminhamento em sala de aula. Estas categorias são amplas e abrangentes e tem por finalidade orientar aqueles aspectos que um ensino construtivista deve contemplar. Pretende-se apresentar a “sinopse” do roteiro didático e não os “scripts” do discurso didático. Significa entender que para uma turma de alunos, o andamento da aula ocorre de uma certa forma, enquanto que para outra turma o andamento será diferente. Mesmo que se leve em conta o poder de indução do professor para direcionar a sua aula, ao se respeitar às idéias prévias ou outro tipo de componente, significa que a história didática de cada grupo de estudantes é diferente. Fazendo uma analogia literária, ter-se-ia em todas as turmas o mesmo final da história, mas o enredo de cada uma será diferente. Os diferentes enredos didáticos exigirão do professor atenção na escolha da atividade experimental que mais se adeque a situação de ensino que ora se apresenta. As categorias ou formatações, estão dirigidas ao momento didático, isto não significa que uma mesma atividade não possa fazer parte ou

ser utilizada em outra categoria. Ou ainda, uma atividade pode ir se transformar de uma categoria para outra no decorrer de uma aula.

Como já nos referimos acima, não é nossa intenção classificar as atividades experimentais através de mera classificação denominação, arbitrada sem maiores significados ou associada a metodologias de ensino.

As classes de atividades tem como objetivo facilitar ao professor a opção por aquelas que, por seus atributos ou qualificações, melhor satisfaçam necessidades para uma situação de ensino em questão. Em outras palavras, a classe de atividades está relacionada aos diferentes momentos de um processo de ensino aprendizagem, fornecendo os indicativos de seus atributos ou qualificações.

### **6.1- Atividade experimental histórica**

Grande parte dos conteúdos estudados em Física, tem sua contextualização histórica omitida por razões ditadas no processo da Transposição Didática no “tempo lógico”. Onde encontrar (por exemplo), em textos escolares elementos históricos sobre o estudo da dilatação dos corpos? No processo de transposição ocorreu a perda do contexto histórico original em que o respectivo saber foi elaborado. Isto não significa que todo o saber a ensinar deve ser privado explicitamente de situações históricas associadas à sua produção. Tais situações, no entanto, são raras nos livros textos de Física, o que implica na necessidade vasculhá-las na História, o que sempre é fácil. No processo de Transposição Didática do saber ensinado é vital a recontextualização histórica, visando diminuir ao máximo as características dogmáticas contidas no saber a ensinar. Em outras palavras, é preciso que o professor faça a aproximação entre os tempos “real” e “lógico” da maneira mais didática possível, reconstituindo o “contexto da descoberta”.

A possibilidade de reconstituir o cenário histórico ligando um determinado saber sábio através de uma atividade experimental, valoriza o contexto histórico permitindo ao professor trabalhar ensinar de forma menos

dogmática. No entanto, uma ressalva se faz necessário: que o uso da História da Ciência não ocorra com conotação de anedota (maçã de Newton) ou bibliográfico ou cultural (estilo, você sabia que...). A História da Ciência deve inspirar um cenário próprio para uma recontextualização epistemológica, caso contrário não tem sentido o fenômeno didático.

Pietrocola (1993) reforça nossa posição quando chama a atenção para o fato de que raramente são considerados os processos de obtenção do conhecimento e os contextos históricos nos quais eles se desenvolveram. *"Assumindo o conhecimento da Física como a-histórico, nega-se qualquer tentativa de inseri-lo dentro de um contexto de construção, onde a estrutura atualmente aceita das teorias seja o fruto de um processo lento de maturação e adequação aos fenômenos naturais estudados ( ... ) cria-se o mito da relação direta entre o conhecimento Físico e a realidade natural, onde a função humana é a de mera coadjuvante"* (Pietrocola, 1993, 8).

Um bom exemplo do que estamos comentando é a construção da pilha de Volta, que trás todos os ingredientes históricos e humanos, para ser entendida como uma atividade experimental histórica. Favorece a discussão sobre os métodos de investigação, as “observações” intencionadas, as respectivas interpretações, os conflitos científico e pessoal entre seus personagens (a grande polêmica com Galvani). Apresenta ainda, em nosso entendimento, aquilo que, acreditamos ser de grande importância, que são os objetivos da investigação científica básica que busca a resposta de um fato e, quando obtida, oferece como “subproduto” dessa pesquisa, um dispositivo novo – **a pilha elétrica**. Mostra que Volta não estava pesquisando a pilha, mas procurando uma resposta aos argumentos de Galvani sobre o movimento das pernas de uma rã que fazia parte de um “circuito” elétrico. Como elemento de “formação” ao estudante, oportuniza um discurso sobre a importância da pesquisa básica e o que significa pesquisar “coisas” que no momento não tem uma aplicação imediata, mas respondem a problemas específicos do saber sábio e no futuro poderão ser partes de respostas mais amplas ou aplicações tecnológicas.

Outro exemplo explícito de um “momento histórico” que se apresenta um tanto solto nos livros didáticos, com forte intenção motivacional e folclórica é a experiência de Oersted. Em alguns livros textos é descrita em poucas linhas acompanhadas de gravuras de um fio e uma bússola e noutros quase como nota de rodapé. O nome de Oersted, quando mencionado, é acompanhado das datas nascimento e morte, nacionalidade, etc. Outros textos dedicam algumas linhas a mais, valorizando as circunstâncias “do acidente científico”. Comentam que o resultado observado é produto de um feliz “acaso” e, muitas vezes, é o assistente de Oersted quem leva os louros pelo acidente experimental do movimento da bússola.

Um olhar mais atento sobre o que representou a “Experiência de Oersted” no conjunto das investigações do Eletromagnetismo mostrará que é de extrema riqueza didática. É importante lembrar que o grande problema da Eletrostática era relacionar a origem das centelhas de uma máquina eletrostática com as descargas atmosféricas (raios) Enquanto que o problema do Eletromagnetismo era mostrar a possibilidade de obter efeitos magnéticos através da corrente elétrica, inspirados pelas observações de que bússolas sofriam deflexões na presença dos mesmos raios. Isto só foi possível de ser pensado depois da existência da pilha elétrica. Sem dúvida, este foi um dos grandes problemas de pesquisa dos investigadores ligados a Eletricidade no início do século XIX e deve ser valorizado pois foi um marco tanto científico como nas relações de trabalho do homem, com a invenção do motor elétrico.

No processo de Transposição Didática do saber ensinado, o atributo da recontextualização histórica permite criar um cenário didático rico e diversificado. Ao contextualizar a presença de um problema presente na comunidade científica é possível reforçar os comentários relativos aos mecanismos de produção do saber sábio. Deixar em evidência que o fato da corrente elétrica produzir efeitos magnéticos era preocupação e estava presente no trabalho de vários pesquisadores e não só de um. Ou seja, que mais cedo ou mais tarde seria encontrada a solução. Este discurso didático antecipa que a descoberta de Oersted não foi um acaso e nem se ajusta em uma visão folclórica da ciência.

Outro aspecto que mostra a riqueza deste momento histórico é a possibilidade do professor utilizar o texto original de Oersted<sup>7</sup>. Uma atividade experimental seria a reconstituição, pelos estudantes, do trabalho de Oersted baseada em seus próprios escritos. Seria uma das raras situações em que ocorreria diretamente uma Transposição Didática do saber sábio para o saber ensinado.

O envolvimento do estudante nesta reconstituição experimental, mostrará as dificuldades e os cuidados experimentais envolvidos na experiência e que a observação, nesta situação, era o “instrumento” que possibilitava verificar as eventuais alterações da agulha da bússola. É importante a ênfase na observação, pois esta se faz presente devido a uma proposição inicial: a correlação entre os efeitos da corrente e o magnetismo (pré-teoria). Chama-se atenção a este fato, pois a observação é desvirtuada nos livros textos pela insistência de um acidente experimental e leva a fortalecer a concepção empirista da ciência

## **6.2- Atividade experimental de compartilhamento**

A construção do saber sábio implicou em negociações, para que os mesmos fenômenos fossem analisados pela mesma ótica. As variáveis de análise e a métrica adotada devem ser compartilhadas pelos diferentes sujeitos, possibilitando a comunicação por meio de uma linguagem comum e interpretações dentro do mesmo quadro teórico.

Transpondo para o campo didático, a negociação e o compartilhamento poderia ser entendido como a adoção da mesma gestalt. É o momento em que os estudantes frente à dada situação, passem a “vê-la da mesma maneira ou ver as mesmas coisas”. Para isto é necessário que a referida situação seja posta à vista de todos e o professor induza o “olhar” dos estudantes para os elementos, possíveis relações ou variáveis de interesse. Este processo pode ser entendido

---

<sup>7</sup> “*Experiências sobre o efeito do conflito elétrico sobre a agulha magnética*”. *Cadernos de história e Filosofia da Ciência* 10 (1986), pp.115-122. Tradução de Roberto de Andrade Martins. No mesmo número desta revista se encontra um artigo de Roberto de A. Martins, intitulado “*Oersted e a descoberta do Magnetismo*” [pp 89-114.] que analisa criticamente o significado do trabalho de Oersted e suas implicações à época.

como o equivalente no fenômeno didático, da negociação de noções compartilhadas, indispensáveis para a construção do conhecimento formal.

Muitos das dificuldades e entraves que ocorrem no processo de ensino-aprendizagem, tem sua origem nas diferentes interpretações que os estudantes elaboram a sobre o vêem. Nossa prática como professor tem mostrado que os estudantes, relutam em perguntar os significados das coisas, em particular o significado de palavras desconhecidas. Alia-se a isto o pouco hábito de consultar o dicionário por conta própria, originando interpretações na maioria das vezes totalmente fora de sentido. Por vezes as “descrições” do professor levam o estudante **imaginar** coisas desvirtuadas do objeto focado.

Tais indicativos determinam que o professor precisa considerar estas condições para trabalhar a Transposição Didática do saber ensinado. Suas aulas necessitam oferecer situações que dêem oportunidade aos estudantes de suprirem tais deficiências, sem esquecer do objetivo de estabelecer uma linguagem de significados. Uma resposta didática que satisfaz aos comentários acima, pode ser encontrada em uma atividade experimental que, favoreça uma apresentação coletiva, facilitando a indução didática na direção de que todos passem a ver e interpretar “a mesma coisa da mesma forma”, ou seja se impõe a mesma gestalt.

Do ponto de vista técnico este tipo de atividade experimental deve permitir a visualização real das diferentes partes que irão compor o conjunto de variáveis físicas do evento. As relações de causa e efeito devem ser tão visíveis quanto possíveis, facilitando quando do início da fase de formalização das grandezas físicas. Neste primeiro momento, a ênfase deve ser dada à linguagem, isto é, a valorização do qualitativo pela descrição correta das variáveis e suas possíveis relações de causas e efeitos.

Vamos exemplificar com uma atividade experimental bastante simples. Escolhemos como Saber Ensinado a unidade Ondas, admitindo ser o primeiro contato dos alunos com este assunto. A quantidade de grandezas envolvidas no movimento ondulatório e a denominação específica para referir-se a



determinados pontos ou posições de uma onda, em geral causam muita confusão e uma variedade de interpretações. A atividade proposta poderia ser realizada com auxílio de uma corda apoiada no chão onde se produz oscilações, permitindo aos estudantes associar grandezas físicas às diferentes formas e pontos da corda como possíveis de serem medidas. Nunca podemos esquecer o papel do professor promovendo a respectiva indução didática, aceitando as proposições livres dos alunos e orientando o diálogo na direção de proposições mais universais e de aceitação coletiva. Na corda vibrante, elementos fundamentais para o estudo de ondas, como nós, ventres, cristas, alongação, amplitude, etc. podem ser compartilhados com mais facilidade e mais fortemente aceitos se mostradas e manipuladas pelos estudantes que os tradicionais “esquemas ou desenhos” no quadro de giz.

Atividades de compartilhamento seriam aquelas que permitem acentuar as variáveis envolvidas em um fenômeno, eventuais relações de causa e efeito sob a *ótica qualitativa*. Pode ser interpretada como a localização de variáveis e o batismo das grandezas físicas.

### **6.3 - Atividade experimental modelizadora**

Devemos lembrar que a Física como ciência se estrutura em teorias que permitem a construção de modelos, cuja vida média está ligada ao poder de resposta adequada e aceita pela comunidade científica, na esfera do saber sábio. Isto implica que o modelo é uma construção arbitrária e provisória, e será substituído no momento em que se mostrar inepto para explicar um conjunto maior de eventos. A importância de modelos não está só junto aos cientistas mas também aos investigadores da área de ensino. “(...) *se as práticas dos cientistas envolvem elaboração de modelos, então é necessário que a educação em ciências trate também do tema modelos, seja em suas investigações, seja em suas práticas pedagógicas, formais ou informais.*” (Colinvaux, 1998:9)

O texto de Colinvaux (1998) demonstra claramente a preocupação dos investigadores em ensino quanto ao papel do modelo, além de uma revisão bibliográfica, facilita o entendimento do que é modelo, como são formados e

usados, formas de aprendizagem de modelos e tipos de modelos. Enfim, justifica sua importância e seu papel didático, junto com o cuidado que deve ser tomada quando trabalhados didaticamente. Por facilidade, no momento vamos empregar a classificação de Kneller (1980), já utilizada por nós em outro trabalho (Pinheiro, Pinho e Pietrocola, 1999). Para Kneller existem três categorias de modelos: (a) representacional; (b) imaginário e (c) teórico. A primeira categoria, também é conhecida como maquete, se refere a representações que se utilizam dispositivos e material concreto para construir miniaturas daquilo que intenta explicar. Como exemplo, pode-se citar sistema solar, estrutura molecular através de esferas, etc.

Esta preocupação dos investigadores é real, porque os livros textos apresentam os modelos físicos ou científicos em uma linguagem tal, que os estudantes passam a aceitá-los como se fossem reais, isto é, como se a natureza fosse realmente aquela descrita pelas propriedades anexadas ao modelo. Em alguns casos, o poder de adoção do modelo científico que faz dele um retrato fiel da realidade tão forte no estudante, que este passa a imaginar que o modelo determina o comportamento da natureza. O modelo se torna a fotografia formal da natureza e determina como ela deve se comportar e responder as relações formais. A frase "*A teoria é uma e a prática é outra*", tem muito que ver com as respostas previstas pelo modelo. O tom enfático e dogmático exibido no discurso literário do saber a ensinar através dos livros textos, incentiva este tipo de interpretação por parte do estudante.

É no processo da Transposição Didática do saber ensinado que deverá ser realizada a intervenção para eliminar, pelo menos diminuir, o pragmatismo do discurso do saber a ensinar. Para tanto, será necessário conduzir o fenômeno didático para fazer uso da modelização, entendida como "*...um processo que consiste na elaboração de uma construção mental que pode ser manipulada e que procura compreender um real complexo.*" (Pinheiro, Pinho & Pietrocola, 1999).

Quando uma explicação oferecida pelo professor não se fizer bastante clara para a compreensão de um certo saber, fundamentado nas possíveis

relações causais do evento físico com o objetivo de construir um modelo, o processo de modelização possibilitará a sua elaboração facilitando sua compreensão e aquisição. Isto serve para qualquer momento do processo de ensino, pois para Larcher (1996) a modelização no ensino, pode ser utilizada tanto em situações gerais, de novos saberes, ou para situações particulares quando o aluno já dispõe de algum conhecimento. Além do que “*Um modelo pode então ser visto como um intermediário entre as abstrações da teoria e as ações concretas da experimentação [atividade experimental]; e que ajuda a fazer previsões, guiar a investigação, resumir dados, justificar resultados e facilitar a comunicação.*” (Colinvaux, 1998:17) . O modelo, portanto, pode se mostrar como uma estrutura hipotética que guia a observação experimental, isto é, como uma pré-teoria acerca de um dado fenômeno físico.

Não queremos nos alongar nem entrar em maiores detalhes sobre modelos, mas deixar registrado sua importância e preocupação junto ao processo didático. Isto vem ao encontro de nossa proposição de atividades experimentais de modelização. Sem dúvida, para o ensino médio com sua população predominantemente adolescente, as atividades experimentais demonstram ser uma excelente forma de modelização. Astolfi (1995) diz que o trabalho didático sobre a modelização pode ser desenvolvido através de um trabalho experimental. Pinheiro (1996:99) também valoriza o potencial da atividade experimental quando afirma que “*Acreditamos que as atividades experimentais podem funcionar como situações onde os alunos atuem como modelizadores e que, desse modo, compreendam a utilidade relativa dos modelos.*” Mais adiante a mesma autora propõe “*...uma unidade de ensino que consiste numa seqüência didática na qual se promove a modelização de variáveis*” (Pinheiro, 1996:101). Nesta seqüência didática, a autora, propõe oito atividades, realizadas pelos alunos com material de baixo custo, objetivando a modelização matemática de funções. Uma destas atividades, onde são utilizadas peças de um jogo de dominó, são detalhadas por Pinheiro, Pinho e Pietrocola (1999), reforçando a categoria das atividades experimentais modelizadoras.

A Transposição Didática do saber ensinado que fizer uso do processo de modelização através de atividades experimentais deverá considerar que tal

procedimento não é geral, pelo contrário, é restritivo. Este processo só terá significado naqueles modelos físicos onde é possível distinguir dois aspectos complementares que, necessariamente, devem ser encontrados presentes no processo de modelização: o modelo teórico e o modelo empírico. O modelo teórico está relacionado ao caráter hipotético e o modelo empírico é resultado de um tratamento de dados, tendo por base o modelo teórico.

#### **6.4- Atividade experimental conflitiva**

O fenômeno didático que não respeitar as idéias prévias dos estudantes, não poderá ser considerado de concepção construtivista. Estas idéias ou concepções que os estudantes apresentam, alvo de farta investigação nos últimos anos por diferentes autores já citados (Viennot, Saltiel, Driver), indicam que tem origem na interação sócio-ambiental. Tais relações concretizadas por meio de experiências, desencadeiam uma espécie de processo de produção e acúmulo de informações, baseadas nos sentidos, estabelecendo algumas estruturas mentais que permitem construir suas explicações sobre o mundo. Elementos com valores individuais e coletivos serão também agregados como ingredientes na construção individual. Pietrocola (1999) detalha este coletivo, chamando à sua participação instituições como a família, a comunidade onde o indivíduo vive, com seus padrões de comportamento e valores. Ao mesmo tempo, os padrões individuais por manterem elementos comuns entre os diferentes sujeitos pela necessidade de comunicação, passam a compor uma supra-estrutura, que é o senso comum.

Quando no processo didático o professor solicita alguma explicação aos estudantes, relativa a determinado evento físico, não raras serão as explicações que se farão com base nas idéias prévias concebidas por eles no ambiente extra escolar. A literatura é rica em exemplos de situações onde as concepções dos estudantes entram em conflito com as concepções formais da ciência. A título de exemplo podemos citar trabalhos que tratam sobre força (Viennot, 1979); leis de conservação (Carvalho e Villani, 1996); fenômenos eletrostáticos (Furió, Guisasola & Zubimendi, 1998) e eletrodinâmica (Johsua, 1983; Closet 1983)

A proposição de uma atividade experimental conflitiva está em propiciar ao professor elementos que permitam por em cheque as concepções não formais dos estudantes. Viabilizando o conflito, vai direcionando o diálogo construtivista no sentido de mostrar a inadequação e limitação de suas explicações pessoais. O desejado é que o estudante passe a aceitar e dominar a concepção científica pela reestruturação de suas idéias prévias e não obrigado pelas regras do sistema escolar. Mesmo assim, não se pode deixar de levar em conta que, a aceitação de novas concepções signifique abandono das anteriores. Ambas concepções podem coexistir, devido a forte resistência do sujeito de abandonar suas explicações originadas do senso comum.

Uma atividade experimental em um processo de Transposição Didática deste tipo permitirá ao estudante agregar, no conjunto de suas experiências pessoais, uma “experiência” diferente que, certamente, servirá de padrão ou referência para futuras construções mentais. Em outros momentos em que estiver participando de um processo de ensino-aprendizagem, esta atividade servirá de subsídio para seu novo aprendizado.

Particularmente no ensino médio, a presença da atividade experimental como mediadora em um fenômeno didático que trata com o conflito entre as idéias prévias e concepções científicas, são de extrema importância. O ensino tradicional que não considera as idéias prévias, fundamentado na transmissão oral dogmática, além de não cumprir sua finalidade, deixa “seqüelas” intelectuais difíceis de serem removidas. E mais importante ainda, a grande maioria desses estudantes nunca mais estudará Física, o que de certa forma, pode perpetuar as idéias prévias como estruturas mentais para construir explicações relativas aos eventos do mundo.

Tais atividades experimentais devem oferecer oportunidade de eliminar as diferentes gestalt, que possam surgir no evento em estudo e, ao mesmo tempo, permitir ao estudante checar suas concepções ou “hipóteses”.

Outro tipo de conflito, de diferente origem e não muito comum poderá ocorrer em sala de aula. Vamos supor que ao iniciar o conteúdo de Cores, o

professor faça a pergunta: “Misturando todas as cores , qual é a cor resultante?”. A resposta para a grande maioria, será “É o branco”. Segue o professor: “Esta afirmação é válida para qualquer mistura?” Obviamente este diálogo é direcionado e se compõe de meias informações no sentido de criar impacto. Com isto dá condições ao professor para criar um cenário e oferecer uma atividade experimental que estabeleça um conflito de interpretação. Ao exibir o resultando da mistura de fontes luminosas de diferentes freqüências e a mistura resultante de um grande número de pigmentos utilizados para pintura, os resultados certamente falarão por si.

### **6.5 - Atividade experimental crítica**

É uma atividade experimental de formatação muito próxima a da categoria conflito, mas parte de outro contexto. As idéias prévias também se mostram presentes, só que de forma diferente.

Em Física existem alguns conceitos ou definições, que guardam entre si uma diferença que é extremamente sutil, do ponto de vista científico. Por outro lado, a linguagem diária faz uso de uma ou outra, definições ou conceitos, para as mesmas situações de forma indiscriminadas.

Sem dúvida nenhuma, não haverá professor que negue a dificuldade dos estudantes diferenciarem calor e temperatura. Não vamos aqui discutir sobre as confusões cotidianas, do tipo ”o dia está quente”, “estou com calor”, etc., pois todo professor de Física sabe que esta confusão permanece, mesmo que as respostas às questões das provas e avaliações, estejam formalmente corretas. No senso comum existe uma certa paridade de interpretação ao que se entende por calor e temperatura, que não incomoda nenhum dos interlocutores. Já na Física representam conceitos bem estabelecidos e diferentes, onde a eventual troca acarreta conseqüências de interpretação ou de resolução de um problema.

Ao trabalhar com conteúdos relativos a calor e temperatura, é fundamental que o professor consiga êxito no fenômeno didático, de maneira que o estudante aprenda a diferenciar um do outro. Não seria falso afirma que,

para o aprendizado dos conteúdos de Termologia e correlatos, é crítico o aprendizado dessas “variáveis”. Se historicamente também houve certa dificuldade na definição dessas grandezas, não seria de estranhar que o mesmo ocorra em sala de aula.

Esta é o tipo de situação de ensino que exige uma atividade experimental muito particular, pois é preciso que consiga mostrar explicitamente as diferenças entre as grandezas envolvidas de forma mais clara possível. Daí denominarmos este tipo de atividade crítica pois ela é de vital importância no diálogo construtivista. Para o nosso exemplo, calor e temperatura, a atividade sugerida é simplesmente colocar a água a ferver acompanhando o aumento da temperatura da água com um termômetro e o fornecimento de “calor” pela fonte. A variação do calor, para mais ou para menos, após a água ferver deixa claro que o “gasto de energia” da fonte não leva ao aumento da temperatura. Nesta ocasião o professor tem a oportunidade de induzir um diálogo que leve a diferenciar as grandezas envolvidas na situação física em questão e oferecer condições aos estudantes de trabalharem os conceitos envolvidos. Outros conceitos de relativa proximidade, por exemplo, seriam resistência elétrica e resistividade; calor específico e capacidade calorífica e outros mais.

#### ***6.6 - Atividade experimental comprovação***

Provavelmente seja esta um tipo de atividade experimental que não traga nenhuma ou quase nenhuma novidade à tradição escolar, visto que seu objetivo é comprovar leis físicas, verificar previsões teóricas e exercitar o método experimental. As críticas feitas anteriormente se detinham no fato de que este tipo de atividade era predominante e estava atrelada a uma concepção de ensino empirista,. Isto não implica que a atividade em si deva ser rejeitada. Em uma concepção de ensino construtivista, onde já tenha ocorrido o processo de ensino aprendizagem com o compartilhamento de variáveis, construção de modelos, estabelecimento de leis, conceitos etc. se faz importante um espaço para confirmação da teoria elaborada em outras situações.

Assegurado a construção do saber ensinado, uma atividade experimental desse tipo funciona como um exercício tradicional só que mais rico, pois adiciona a manipulação e o procedimentos do método experimental. O fenômeno físico, objeto de trabalho desta atividade, não deve ser novidade ao estudante mas deve atuar como suporte fenomenológico para dar validade e comprovar a teoria aprendida em situações novas. Essas atividades podem explorar, de maneira concomitante, o método experimental, pois as relações de causa-efeito já estão aprendidas e com isto abre-se espaço para enfatizar o método experimental como um instrumento de investigação. Nada impede, pelo contrário, que após a aquisição de habilidades e técnicas relativas ao método experimental, deva ser incentivado o desafio de solucionar problemas mais abertos, que necessitam de novos procedimentos experimentais para serem resolvidos. Neste tipo de desafio, deve ficar claro ao estudante que ele deverá se comportar como se fosse um cientista resolvendo seus problemas, como já discutimos amplamente.

Vamos nos abster de exemplificar essas atividades por sua formatação ser bastante conhecida. O repertório de tais atividades é mais ou menos comum nos mais diferentes livros ou textos que recomendam experimentos. Em uma interpretação livre, já mencionada, poderíamos dizer que elas compõem um conjunto análogo ao conjunto de exemplos resolvidos e problemas padrões dos livros textos.

### ***6.7 - Atividades experimentais de simulação***

Vimos que as atividades experimentais modelizadoras são próprias para o tratamento de modelos que conjugam os elementos hipotético e empírico. Para tais modelos existe uma certa facilidade de obter materiais experimentais adequados para o planejamento de atividades pertinentes ao saber em discussão. No entanto, em Física não existem somente modelos que agregam o hipotético e empírico. Nas atividades modeladoras, tivemos oportunidade de apresentar a classificação de Kneller (1980), que contempla três grandes tipos de modelos, entre eles os modelos teóricos. Bunge também explicita o papel desempenhado pelos modelos teóricos (Pietrocola, 1999)



Pelo fato de não conter elementos hipotéticos e empíricos em geral que permitam o manuseio pelo estudante, o modelo teórico é aceito como fato dado. Dificuldades práticas relativas a uma modelização adequada do mesmo, ao uso e manipulação do próprio modelo, concorrem para a visão dogmática, *“No entanto, é apropriado identificar atividades de laboratório que consomem muito tempo e não oferecem experiências eficientes de aprendizado e, converter estes laboratórios, ou elementos dele, em atividades melhoradas de simulação.”* (Lunetta e Hofstein, 1991:126). Os autores se referem às simulações realizadas por computador ou com uso de vídeos. Queremos aqui demarcar que nossa concepção de atividades experimental de simulações é aquela realizada via mídia (computador, vídeo etc), onde estão ausentes as montagens, instrumentos e ou outros objetos concretos. A atividade experimental de simulação está restrita ao uso de equipamentos de mídia e dos respectivos softwares.

O número de modelos teóricos que o estudante do ensino médio está sujeito não é pequeno e, muitos, com grau de complexidade significativa. Tomando apenas como exemplo mais conhecido, citamos o modelo atômico, que além dos elementos Físicos, a Química amplia-no com números quânticos, orbitais, níveis e subníveis. É de se concordar que esta complexidade que envolve o modelo atômico, sem uma modelização adequada, certamente acarretará a aceitação dogmática. Existem tentativas de representações (modelo maquete ou representacional) mas são estáticas, como fotografias que registram um determinado estado do átomo, esquecendo que o importante é a dinâmica que envolve o processo, objeto de explicação do modelo teórico. Lunetta e Hofstein (1991) confirmam que simulações no ensino do modelo de Bohr, de reações nucleares ou químicas, o modelo cinético molecular ou ainda relativo ao a corrente elétrica (fluxo de cargas) podem melhorar a compreensão conceitual. Os autores justificam que *“Simulações de computador e vídeo são, particularmente, apropriadas quando os experimentos são difíceis, longos, ou perigosos de se realizar quando os equipamentos necessários são muitos grandes .”* (Lunetta e Hofstein, 1991:128)

Se no passado havia restrições da apresentação ao estudante de situações estáticas, algo como “fotografias”, que tentavam sugerir entre uma foto e outra a dinâmica que o modelo teórico concebia, hoje em dia tal restrição está superada. Atividades experimentais que fazem uso de programas de simulação, podem auxiliar o professor na organização de momentos didáticos que vão introduzindo, senão todos, mas alguns dos elementos de um modelo teórico de forma dinâmica. A escolha de objetos compartilhados, a associação de propriedades necessárias para o momento, às articulações entre as propriedades por meio de suas variáveis e, finalmente, a estrutura generalizante do modelo.

O estudo da Teoria dos Gases, modelo atômico, oscilador harmônico são, entre outras já citadas, situações físicas extremamente ricas para fazer uso de simulações. Modificações nas variáveis envolvidas nas relações de causa e efeito no modelo proposto, podem ser facilmente percebidas de imediato. Cuidados são necessários para não agregar em certos objetos, propriedades outras que os mesmos não possuem, induzindo o estudante a passar enxergar a realidade como se fosse organizada com aqueles objetos, se comportando com aquelas propriedades a eles atribuídas. Além do que, muitas dessas propriedades já são construções teóricas que necessitam, por sua vez, um domínio prévio. Neste contexto teórico é previsível uma certa resistência por parte do estudante de aceitar o modelo proposto e, mais, entendê-lo como forma representativa de uma concepção humana.

As simulações nos dias atuais por força da tecnologia, uma tentação aos mais desavisados para fazer dela a alavanca “moderna” do ensino. O simples domínio de uma tecnologia não deve e não pode negar situações didáticas pela simples inovação, é necessário ter sempre o estudante como o sujeito de aprendizagem, daí compartilharmos da afirmação de que *“É importante que os alunos tenham contato com materiais reais de modo a fazer a ligação entre teoria e prática, e desenvolver a compreensão da realidade física e biológica. É importante também garantir que os alunos tenham clareza dos passos envolvidos na realização de uma pesquisa. Deste modo, quando uma unidade pode ter uma atividade relativamente simples de laboratório, que não envolve extensa instrumentação, é melhor conduzir esta atividade no laboratório, e*

*não simulá-la. Por outro lado, alguns conceitos básicos não são fáceis de experimentar diretamente, devido a limitações de tempo, tamanho, perigo, ou falta de recursos. Atividades que envolvem tais conceitos são boas candidatas a serem simuladas.” (Lunetta e Hofstein, 1991:137)*

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho partiu da expectativa de que o laboratório didático, da forma como é tratado e entendido, não cumpre sua função. A sua mera participação no processo ensino-aprendizagem deixa muito a desejar. Acreditamos que seria necessário encontrar argumentos, sejam eles pedagógicos, psicológicos ou epistemológicos, para compor o cimento de uma construção teórica que justifique o papel do laboratório didático.

Demonstramos através da Transposição Didática que, por longo período, a presença laboratório didático no processo escolar foi justificada pela concepção empirista de ciência que permeava os textos utilizados para a transmissão do saber, cujas razões já foram discutidas. Esta concepção empirista se fortaleceu mais ainda no movimento inovador do ensino de ciências, à época dos projetos de ensino, fazendo do laboratório didático o carro chefe da inovação onde o estudante desempenhava o papel de cientista. Se as metodologias e técnicas de ensino eram de vanguarda, o ensino continuava tradicional por entender o aluno como alguém “sem história de vida”.

É inegável que a época dos projetos renovou e arejou o material didático do laboratório, ou seja, o seu (entenda-se) instrumental, como também introduziu experimentos construídos especialmente para o ensino, como o tanque de ondas. O afastamento em relação aos antigos acervos dos laboratórios didáticos, em algumas propostas contidas nos projetos, incentivou a criação de novas montagens e o uso de materiais mais simples. Em nosso país, incentivou os “sucateiros”, professores que construíam seus equipamentos com material de sucata tentando suprir as necessidades locais de seus laboratórios. Grupos de professores, entre eles nós, empolgados pela perspectiva de construir equipamentos em casa, passaram a trabalhar com material alternativo, não necessariamente sucata, em seus equipamentos e montagens experimentais.

O espírito inovador no ensino de ciências, com o passar do tempo, desvaneceu-se. Se houve incentivo no sentido de tornar o estudante mais ativo e de fazer o laboratório didático assumir um papel importante no ensino, esta

abordagem não conseguiu fugir da concepção empirista, o que por certo foi a grande razão de seu esquecimento. Contudo, o laboratório didático continuou, mesmo com roupagem mais moderna, a cumprir sua função de ensinar o método experimental e desenvolver habilidades motoras. Inserido em uma concepção empirista de ciência e ensino, que permeia e orienta o processo didático, o laboratório tradicional, independente da roupagem, forma e metodologia, cumpre bastante bem sua função de ensinar: o método experimental.

Esta responsabilidade transferida, ou melhor, locada ao laboratório didático torna-o alvo dos pesquisadores em ensino, interessados em propor novas técnicas de ensino ou metodologias específicas. O grande objetivo era acondicionar o laboratório didático em uma metodologia que demonstrasse eficiência no ensino de Física. Vários foram os trabalhos comentados, em particular os realizados em nosso país, por retratarem com mais conhecimento de causa nossas intuições de ensino. Muitos deles são produto de trabalhos de mestrado, alguns de tese de doutorado, e se dirigem aos diferentes graus de ensino. O grau de influência desses trabalhos ficou restrito a poucas instituições de ensino, uma vez que, muitas vezes, a sua aplicação se restringiu ao período de elaboração do trabalho de que foi alvo. A maior ou menor vida média de uma dessas proposições, dependeu mais dos interesses do autor do que da amplitude e valorização da mesma em outras instituições. Infelizmente as proposições valorizavam, quase que em demasia, a participação ativa do estudante nas mais diferentes modalidades, entendendo que isto traria melhoria no ensino, esquecendo que os guias e roteiros ainda eram permeados pela concepção empirista de ciência. São proposições metodológicas diferentes para o mesmo laboratório tradicional, na acepção epistemológica.

Esta forma de pensar e agir, também foi verificadas em diferentes países, de acordo com a literatura. No início da década de 80, já estava claro que as pesquisas não eram capazes de defender a eficiência do laboratório tradicional. A dicotomia entre o ensino teórico e o ensino experimental ou sua fragmentação histórica, mostrou que o uso do laboratório estava subordinado a algum tipo de taxonomia, cuja adoção, com maior ou menor ênfase em determinados objetivos, era constatada por quase todos os estudos que tratavam do

laboratório. Outros estudos apontaram as deficiências do laboratório pelo seu vínculo com essa taxonomia. Estabelece-se uma atmosfera de rejeição ao laboratório tradicional que além das deficiências diagnosticada, mantinha um estreito vínculo com o empirismo.

Nossa análise em que utilizamos a Transposição Didática como instrumento, deixou claro que processos ocorridos na elaboração de textos escolares foram marcados pela visão empirista onde a exposição dos fatos, do empírico e da experimentação tem prioridade e lugar de destaque. Estes processos reconstróem o saber sábio, aquele construído pelo cientista em dado momento histórico, em um novo saber após, despersonalizá-lo, dessincretizá-lo e descontextualizá-lo, tornando-o um novo objeto de ensino, apropriado para a educação científica. Ou, neste contexto, a experimentação, objeto e instrumento do trabalho investigativo do cientista, tem seus procedimentos experimentais (o método experimental por excelência), convertido em objeto a ensinar, e faz do laboratório didático o nicho particular de ensino. Fazendo uso do que foi convencionalizado chamar de regras da Transposição Didática para interpretar o papel do laboratório didático e de suas práticas didáticas, ficou ainda mais explícita a sua tendência na direção do ensino do método experimental.

Afirmar que o ensino de Física, seus textos e laboratório didático, têm orientação empirista não é um fato novo. Tivemos oportunidade de citar vários autores que comungam da mesma idéia. Aliás, hoje em dia a maioria dos “investigadores em ensino” tem clara esta posição. Nosso trabalho foi mostrar, através da Transposição Didática, como esta concepção se fez presente e proliferou nos textos escolares e como agregou ao laboratório didático a responsabilidade pelo ensino do método experimental.

Se a opção de um professor ou investigador ainda estiver ligada ao empirismo ingênuo, nada precisa ser feito tudo está pronto e responde muito bem aos objetivos desejados. Tanto os textos como o laboratório cumprem fielmente os interesses de um ensino tradicional: dogmático, linear, cumulativo e reprodutivista.

Por outro lado, ao final dos anos 70 ocorreu o início de outro movimento, fazendo surgir na literatura um número expressivo de trabalhos que refletiam uma preocupação com os conteúdos das idéias próprias dos estudantes, em relação aos conceitos científicos aprendidos na escola. Este movimento, denominado construtivismo, inspirou investigadores na área do ensino de ciências a conhecerem quais as idéias ou conhecimentos prévios dos estudantes diante de determinados fenômenos científicos. As idéias de Popper, Kuhn, Bachelard e outros epistemólogos modernos foram referência para o movimento construtivista, fortalecendo a concepção de uma ciência construída historicamente.

Houve um ponto de convergência para as investigações nesta nova orientação: as idéias prévias dos estudantes. A maneira como passam a ser tratadas estas idéias prévias originaram diferentes correntes. Contudo todas se abrigam sob o construtivismo. Para nossos propósitos, tais diferenças não se mostram muito relevantes, pois o mais importante é assumir o estudante como elaborador de seu próprio conhecimento. Uma decorrência imediata de assumir o estudante como um ser epistêmico, está em fazer com que o processo de ensino também o seja e reflita, no fenômeno didático, a concepção de uma ciência construída e não estigmatizada pelo circunstancial da observação.

Uma mudança de rota tão significativa, como a mudança da compreensão epistemológica no ensino, implicaria em uma outra Transposição Didática mediada pelo construtivismo. Significaria refazer, melhor dizendo, escrever novos textos didáticos, para todos níveis de ensino, e criar um nicho didático adequado à nova concepção de ensino para o laboratório didático. O trabalho, ao mesmo tempo em que se mostra gigantesco, expõe o estado incipiente da prática de elaboração de textos didáticos fora da formatação tradicional.

O laboratório didático, por seu turno, também foi motivo de uma análise sob a ótica construtivista. A literatura oferece o apoio de vários autores que mostram a pertinência do laboratório didático no ensino de ciências. As razões que justificam o papel do laboratório didático e a função que este desempenha no processo de ensino são sintetizados em cinco pontos. Isto também responde à

nossa questão inicial, ou seja, existe função para o laboratório didático e ela é justificada. A diferença é que, na concepção empirista, o laboratório tinha sua manutenção garantida pela primazia de ensinar o método experimental, enquanto na concepção construtivista deverá exercer a função de instrumento de mediação entre as idéias prévias e concepção de ciência manifesta pelos estudantes e uma nova concepção de ciência, sendo que o próprio processo de ensino do saber se fundamentará em um diálogo didático de mesma concepção.

As idéias prévias dos estudantes são a mola mestra do ensino construtivista. Sua formação ocorre nas práticas do senso comum, nas relações sensitivas com o mundo, no convívio em comunidade, nos valores e tradições por ela preservados. Observações individuais e experiências pessoais, quando analisadas através de uma ótica sociocultural, são determinantes dessas idéias e concepções sobre o mundo e seus eventos. Algo que chama atenção no conjunto do senso comum é a “experiência”, de interpretação bastante fluida, mas de presença constante nas argumentações do cotidiano. A experiência se caracteriza por um/uma ato/ação típica de todo ser humano. Essa ação/ato do ser humano se caracteriza pela assistematização e intuição no agir; faz uso extensivo dos sentidos como métrica para valorações e baseia-se em princípios universalizados de sua comunidade, para então elaborar as próprias conclusões. Enfim, é um ato individual e não reprodutível, inerente ao agir de cada ser humano.

No campo oposto aos das idéias prévias, estão as “idéias científicas”, construídas pelos investigadores, que seguem cânones e princípios também construídos e estabelecidos ou compartilhados em seu coletivo. Através de uma incursão na história, marcamos os principais momentos e concepções que guiaram a elaboração do conhecimento que hoje chamamos de científico. A divergência constante entre os diversos pensadores residia no valor que o empírico deveria exercer na elaboração do conhecimento científico. Essa polêmica ou divergência ultrapassou séculos até o momento que é consensualizada e compartilhada entre os investigadores da natureza, a “experimentação”. Instituída como uma atividade própria dos investigadores, constitui-se de procedimentos e técnicas adequadas à investigações dos



fenômenos da natureza. Assegura-se, assim, a diferença entre experiência e experimentação e os domínios de competência: a primeira de domínio coletivo e irrestrito a todo ser humano no seu cotidiano e a segunda de uso exclusivo do cientista, como um dos critérios de validação dos construtos científicos.

Esta diferenciação se fez importante ao tratarmos do ensino de Física/Ciências. O laboratório didático não deverá fazer uso de nenhuma das duas, pois a primeira está impregnada das idéias prévias e a segunda pertence ao exercício profissional, cuja transposição para o ensino já demonstrou ineficácia.

Assegurado o emprego do laboratório didático em um ensino de concepção construtivista, torna-se necessária a proposição de ações e tarefas que cumpram o papel de mediação, função designada e intrínseca desta concepção. Esta função mediadora, sugere-se, deve ser realizada por meio de uma **atividade experimental**, entendida como um **objeto didático**, produto de uma Transposição Didática de concepção construtivista da experimentação e do método experimental e não mais como um **objeto a ensinar**. A atividade experimental deve ter entre suas peculiaridades a versatilidade para facilitar seu papel mediador em qualquer tempo e nos mais diferentes momentos do diálogo didático sobre o saber no processo ensino-aprendizagem. Além disso, por ser um objeto de ação, manipulada didaticamente pelo professor, sua inserção no discurso didático construtivista deverá facilitar a indução do fenômeno didático que objetiva o ensino de determinados saberes e sua respectiva aprendizagem.

Afastando-nos de práticas prescritivas ou dos receituários tradicionais sobre o uso do laboratório didático, optamos por classificar as atividades experimentais em categorias relacionadas aos diferentes momentos didáticos que podem ocorrer em sala de aula. Momentos didáticos ligados à recontextualização histórica estariam na categoria de atividades experimentais históricas; quando a intenção é o ensino de modelos, a atividade experimental seria da categoria de modelização e assim por diante. Não nos ativemos aos detalhes das atividades pela extensão do trabalho e por não ser nosso objetivo. Nossa ousadia foi procurar caracterizar os principais momentos de um diálogo

construtivista em sala de aula, em ligando-os à categorias que sugerissem o encaminhamento da atividade adequada. Além disso, uma atividade pode assumir, de certo modo, todas as características quase que ao mesmo tempo ou ainda evoluir de uma categoria para outra. Em conformidade com as manifestações dos alunos durante o diálogo didático, o professor terá oportunidade de efetivar o encaminhamento que achar mais adequado.

O desejo de que uma Transposição Didática de orientação construtivista ocorra, certamente faz parte das nossas esperanças de futuro. No entanto, confiamos na possibilidade de realizar uma Transposição Didática pelo menos junto ao laboratório didático, por decorrência, incentivar o processo junto ao espaço escolar onde se dá a Transposição Didática do saber ensinado. Nesta transposição precisamos de um aliado ímpar: o professor. Ele é o principal personagem, pois lhe cabe dirigir os diferentes momentos didáticos, onde as exposições se transformam em diálogo e o seu interlocutor, o estudante, faz uso livre de suas idéias acerca dos fenômenos da natureza.

Acreditamos ter chegado às respostas para as nossas questões. O laboratório didático é realmente um elemento necessário, mas não suficiente, no ensino de Física. Trata-se, no entanto, de um laboratório não mais na concepção tradicional, mas um laboratório com a função de oferecer atividades interativas portadoras de um diálogo didático, promovendo a mediação entre o conhecimento vulgar e o conhecimento científico. Um laboratório que auxilie as rupturas, no sentido bachelardiano, e facilite ao estudante conceber a Física/Ciências como uma forma de ver o mundo.

## 8 . TRANSPONDO OS MUROS DA ACADEMIA

[ Toda a quebra de tradições ou de costumes é um trabalho lento, e a dificuldade maior não se encontra na mudança de cenários, objetos ou no aspecto externo das coisas concretas. A maior dificuldade se encontra no nicho através do qual esta tradição ou costume se perpetua: no ser humano. Mudanças requerem o rompimento, a quebra, o abandono de práticas e o firme propósito de querer mudar.

Na esperança de mudar as práticas educacionais, nos encontramos frente a dois problemas, cujas dimensões são enormes: materiais adequados à mudança proposta e o aceite daqueles que farão acontecer a transformação. Tal aceitação deve ser estimulada por um espírito crítico que se manifeste em sensibilidade para mudar.

Para que as atividades experimentais sejam implementadas no processo de ensino, certamente não basta a produção de material adequado, mesmo que seja um grande incentivo para tal. É necessário convencer, converter, “aliciar” o professor, personagem condutor do processo didático em sala de aula na direção de uma nova prática didática sob outra orientação epistemológica.

Como fazer este convencimento, onde fazê-lo e quem o fará? Estas são questões de suma importância para nossos propósitos. Se nossos alvos privilegiados são os professores, devemos fazer uma divisão preliminar: os que já se encontram em atividade e aqueles em formação nos cursos de licenciatura.

Os agentes responsáveis pela divulgação da orientação construtivista, sem dúvida, prioritariamente são os investigadores da área de ensino. O domínio das teorias de educação, epistemologia e processos cognitivos os fazem os mais preparados para, por meio de um processo construtivista, disseminar a nova orientação de ensino. Não estamos aqui excluindo professores que não sejam investigadores da área de ensino. Ao contrário, todos os professores, investigadores ou não, que acreditam e adotam uma linha construtivista no

exercício profissional do magistério, estariam convocados para a tarefa de disseminar essa nova orientação.

Um local fundamental para a ação difusora do construtivismo é o curso de formação de professores de Física, os cursos de Licenciatura. A vivência de um licenciando em Física em um curso cujo currículo e execução fosse de orientação construtivista, seguramente faria do novo professor um “dos nossos”. Quando, no futuro, em sua prática profissional. Por não ter sido submetido durante sua formação às práticas de um curso de concepção empirista, saberia no futuro efetivar um ensino mais adequado e consistente com a orientação aprendida.

A concretização de um curso de formação de professores de Física sob orientação construtivista é quase uma utopia ou o manifesto de um ideal impossível. As razões são diversas, e vão desde a heterogeneidade do corpo docente acerca das questões de ensino até a dificuldade de encontrar materiais apropriados. Outras razões poderiam ser apontadas, mas vamos declinar de citá-las, por não ser atual. Se o todo não se faz possível, ainda existem espaços didáticos em um currículo de licenciatura Disciplinas como Didática, Metodologia do Ensino de Física e Prática de Ensino, sem dúvida, se não o fazem, deveriam assumir a sua função divulgadora e de convencimento.

Por certo, não podemos esquecer o espaço da disciplina de Instrumentação para o Ensino de Física, que já cumpria um papel historicamente consagrado no currículo de Licenciatura em Física, como nos reportamos no início desse trabalho. Das disciplinas de um curso de licenciatura, sempre foi uma disciplina dirigida por professores mais próximos e susceptíveis à problemática do ensino de Física. Este espaço passa a ter mais que a responsabilidade de instrumentar o licenciando, no sentido de oferecer alternativas instrumentais ou de experimentos para o ensino, mas visa promover um debate construtivista sobre o construtivismo. A disciplina deve adotar um discurso e uma prática construtivistas, de modo que o estudante ao mesmo tempo em que debate sobre o construtivismo, seja objeto de um processo didático de mesma orientação. Aliar elementos teóricos com uma prática em

sala de aula seguramente ajudará o licenciando a alicerçar os princípios teóricos do construtivismo e irá provê-lo de argumentos necessários para justificar sua adoção de ensino.

Este novo direcionamento das aulas de Instrumentação não deve se fixar apenas na promoção do discurso teórico, mesmo que ocorra em um formato construtivista. Deverá incentivar a elaboração de material didático inspirado em uma Transposição Didática orientada pelo corpo teórico do construtivismo. O espaço que se oferece é ideal para debater o laboratório didático e, com ele, as categorias e as atividades experimentais aqui propostas. Além das discussões, existe a possibilidade de construir atividades experimentais para as várias categorias ou, a partir de uma atividade experimental, prepará-la com diferentes formatos nas várias categorias.

Tarefas desse tipo se mostram em perfeita consonância e harmonia com um projeto de disseminação e adoção de uma orientação construtivista. Ao aliar preceitos teóricos com uma tarefa prática, se elimina muito do ranço tradicional que assume que a teoria é alienada da prática. Aliás, esse argumento é muito utilizado pelos renitentes à mudanças. A elaboração de seqüências didáticas que resultem em textos e atividades experimentais para os alunos do ensino médio, com tópicos de livre escolha dos licenciandos, pode transcender o simples exercício de aula. Serve como incentivo e de exemplo de como poderia ser uma Transposição Didática de orientação construtivista. [Seriam estas seqüências didáticas os germes desse movimento?]

Se o entusiasmo faz transparecer que a disciplina de Instrumentação será a redenção de nossa utopia, alertamos que não se trata disso. O objetivo maior será um currículo inteiro sob a orientação construtivista. Enquanto o currículo de Licenciatura mantiver uma ênfase conteudista tão enraizada, a disciplina de Instrumentação será um dos espaços mais propícios para implantar a revolução pedagógica. Isto deve ser entendido como um paliativo à utopia anunciada.

De outro lado, existem os professores, licenciados ou não, no exercício profissional. Os obstáculos são vários, pois nem todos se sensibilizam em rever

suas concepções de ensino; outros alegam barreiras criadas pela própria escola, outros a falta de tempo para se dedicarem a estudar as novas propostas. Mas sempre serão encontrados aqueles que mostram interesse e desejam conhecer uma outra orientação didático-pedagógica. A promoção de cursos de formação continuada parece estar se mostrando uma boa oportunidade para se ir ao encontro destes professores. Cursos de explícita orientação e prática construtivista, aliando conteúdos de Física e de educação, podem ser de grande auxílio para estes professores. Em nossa universidade, a UFSC, em Florianópolis/SC através do programa PRÓ-CIÊNCIAS, tem-se oferecido cursos de educação continuada aos professores de Física de nosso estado. Em três edições do curso, já foram atendidos perto de 200 professores e os resultados têm se mostrados animadores. A linha adotada consiste em reunir o conteúdo de Física por meio de uma abordagem didático metodológico. Conteúdos de Mecânica, Eletricidade, Ótica e Física Moderna são trabalhados à luz das Concepções Alternativas, Transposição Didática, Modelização, Atividades Experimentais, CTS, Resolução de Problemas, História da Ciência, etc. Uma das tarefas solicitadas é a elaboração de uma seqüência didática, para uso em suas salas de aula, contemplando uma ou mais das orientações didáticas discutidas ao longo do curso. Como já mencionamos, os resultados têm sido animadores, pois os professores, em sua grande maioria, têm respondido ao solicitado.

Enfim, julgamos ser necessário buscar e/ou criar oportunidades para sensibilizar os agentes de mudança – os professores – para conseguirmos transformar o laboratório didático em uma parte significativa do processo de ensino-aprendizagem.

Encerro tomando a liberdade para me expressar em um rompante teológico-romântico, reafirmando minha **crença** na possibilidade de melhorar o ensino de Física em nosso país e no **ideal** da construção de uma consciência coletiva de nossos professores, no objetivo maior que estabelecer a educação científica como um direito e um imperativo para o cidadão Homem.

## 9. BIBLIOGRAFIA - Capítulo 5

- AMARAL, I. *A Conhecimento formal, experimentação e estudo ambiental.* Ciência e Ensino, GepCE-FE. Campinas, SP. (3) Dez. 10-15.1997.
- ARRUDA, S. M. & LABURU, C. E. *Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências.* Ciência e Educação 3. UNOESC. São Paulo. 14-24. 1996
- ASTOLFI, J.P. & DEVELAY, M. *A didática das ciências.* São Paulo: Papirus, 1995.
- ASTOLFI, J.P et al *Mots-clés de la didactique des sciences.* Pratiques Pédagogiques De Boeck & Larcier S.A Bruxelles/Belgique. 1997.
- BACHELARD, G. *O novo espírito científico.* Rio de Janeiro, Ed. Cultrix, 1975.
- BORGES, A. T. *O papel do laboratório no ensino de ciências.* Atas do Ilo. ENPEC. Lindóia São Paulo. 1-11. Nov. 1997.
- BROUSSEU, A. G. *Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques.* Recherches en didactique des mathématiques, 7(2).1986.
- BUNGE, M.. *Teoria e Realidade.* São Paulo: Perspectiva,1974.
- CANTOR, G. *The rhetoric of experiment.* In GOODING, D., PINCH, T. & SCHAFFER, S. *The uses of experiment – Studies in the natural sciences.* Cambridge University Press. , 159-180.1993
- CAWTHORON, E.R. & ROWELL, J. A *Epistemology and science education.* Studies Science education, v 5, p 31-59, 1979.
- CHEVALLAR, Y. & JOHSUA, M-A., *Un exemple d'analyse de la transposition didactique – La notion de distance.* Recherches en Didactique des Mathématiques. 3-2, p. 157-239, 1982.
- CHEVALLARD, Y. *La Transposition Didactique- du savoir savant au savoir enseigné.* La Pensee Sauvage Éditions. Grenoble. 1991.
- CLOSSET, J.L. *Lês obstacles à la aprprentissage de l'électrocinétique.* In JOHSUA, S. & DUPIN, J-J. *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques.* PUF, Paris, 171-178.1993.
- COLINVAUX, D. (org.) *Modelos e Educação em ciências.* Rio de janeiro. Ravil. 1998.
- DELIZOICOV, D. & ANGOTTI, J. A. P. *Física.* São Paulo. Cortez Editora. 1991

- DETSCH, J. O ensino de física e o uso de material concreto: concepções epistemológicas. Resumos VI EPEF, Florianópolis/SC, 1998, p. 281-283.
- DEVELAY, M. A propoo de la transposition didactique en sciences biologiques. Annales de Didactiques des Sciences. 4, 119-138.1987.
- DI SESSA, A. Unlearning aristotelian physics : a study of knowledge-based learning. Cognitive Science, 6, 37-75, 1982.
- DRIVER, R. Psicologia cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos Enseñanza de las Ciencias, 6(3), 291-296, 1988.
- DRIVER, R. Pupils' alternative frameworks in science. European Journal of Science Education, 3, 1, 93-101, 1981.
- DUHEM, P. Algumas reflexões acerca da física experimental. Ciência e Filosofia. São Paulo (4) 87-118. 1989.
- FOUREZ, G. Alfabetisation scientifique et technique. Essai sur lés finalités de l'enseignement dès sciences. Belgique: De Boeck Université,1994
- FURIÓ, C., GUIASOLA, J. & ZUBIMENDI, J.L. Problemas históricos y dificultades de apredizaje em la interpretación newtoniana de fenómenos electrostáticos considerados elementales. Investigações em Ensino de Ciências. Porto Alegre. RS. 3(3). 165-188.1998.
- GOODING, D., PINCH, T. & SCHAFFER,S. The uses of experiment – Studies in the natural sciences. Cambridge University Press. 1993
- HODSON, D. Philosophy of science, science and science education. Studies in Science Education, New York, no. 12, p. 25-57, 1985.
- HODSON, D. The nature of scientific observation. Science education Review. 68, 17-29. 1986.
- JOHSUA, S. & DUPIN, J-J. Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques. PUF, Paris, 1993.
- KNELLER, G. A ciência como atividade humana. Rio de Janeiro. Zahar; São Paulo. EDUSP, 1980.
- LARCHER, C. La physique et la chimie, sciences de modèles. Du mond réel aux connaissances scientifiques, en passant par la modélisation. In : Didactique appliquée de la physique-chimie. Éditions Nathan, Paris, 1996.
- LUNETTA, V. & HOFSTEIN, A. Simulation and laboratory practical activity. In WOOLNOUGH, B Practical Science,- The role and reality of practical



- work in school science. Open University Press, Celtic Court, Buckingham , 125-137. 1991.
- LUNETTA, V. & HOFSTEIN, A. *Simulation and laboratory practical activity*. In WOOLNOUGH, B *Practical Science,- The role and reality of practical work in school science*. Open University Press, Celtic Court, Buckingham , 125-137. 1991.
- MILLAR, B. *A means to an end: the role of process in science education*. In WOOLNOUGH, B *Practical Science,- The role and reality of practical work in school science*. Open University Press, Celtic Court, Buckingham , 43-52 1991.
- MILLAR, B. *Towards a role for experiment in the science teaching laboratoring* *Studies in Science Education*, v 14, p 109-118, 1987.
- MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem* São Paulo: EPU. 1999.
- ORQUIZA DE CARVALHO, L & VILLANI, A. *Aprendizagem dos princípios de conservação em entrevistas didáticas*. *Investigações em Ensino de Ciências*. Porto Alegre. RS. 1 (1). 76-94. 1996.
- PIAGET, J. & GARCIA, R. *Psicogénesis e historia de la ciencia*. México. Sieclo Veintiuno. 1982.
- PIETROCOLA, M. Construção e realidade: modelizando o mundo através da Física. In. PIETROCOLA, M. (Org.) *Rompendo a dicotomia teoria-prática nos curso de formação continuada de professores de física: o projeto Pró-Ciências de Física da UFSC* . (Submetido)
- PIETROCOLA, M.& PINHEIRO, T.F *Modelos e Afetividade*. Florianópolis. VIII EPEF. Ata Eletrônica, 2000.
- PIETROCOLA-OLIVEIRA, M. *A história e a epistemologia no ensino da física; aspectos individual e coletivo na construção do conhecimento científico*, 1993.(mimeo)
- PINHEIRO, T.F, PINHO ALVES, J & PIETROCOLOLA, M. Modelização de Variáveis: uma maneira de caracterizar o papel estruturador no conhecimento científico. In. PIETROCOLA, M. (Org.) *Rompendo a dicotomia teoria-prática nos curso de formação continuada de professores de física: o projeto Pró-Ciências de Física da UFSC* . (Submetido)

- PINHEIRO, T.F. A transposição dos modelos da Física para o ensino da Física. II Seminário de Pesquisa da Região Sul-ANPEDSUL. Ata Eletrônica. Curitiba. PR. 1999.
- PINHEIRO, T.F. Aproximação entre a ciência do aluno na sala de aula da 1ª série do 2º grau e a ciência dos cientistas: uma discussão. Dissertação de Mestrado. CED/UFSC. Florianópolis, SC. 1996.
- PINHO ALVES, J., PINHEIRO, T.F & PIETROCOLA, M. Eletrostática como exemplo de Transposição didática. In. PIETROCOLA, M. (Org.) Rompendo a dicotomia teoria-prática nos curso de formação continuada de professores de física: o projeto Pró-Ciências de Física da UFSC. (Submetido)
- SALTIEL, E. . & MALGRANGE, J.C. Spontaneous ways of reasoning in elementary kinematics. Eur. Phys., 1, 73-8, 1980.
- SALTIEL, E. Kinematic concepts and natural reasoning: Study of comprehension of Galilean frames by science students. Doctoral Thesis, Department of Physics, University of Paris VII, France, 1978.
- TAMIR, P. Practical work in school science: an analysis of current practice. In WOOLNOUGH, B Practical Science.- The role and reality of practical work in scholl science. Open University Press, Celtic Court, Buckingham , 13-21. 1991.
- TAMIR. P, & LUNETTA, V.N. Inquiry related tasks in high school science laboratory handbooks. Science Education, 65, 477-484. 1981
- VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. Hermann, Paris. 153 p. 1979.
- VIENNOT, L. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. Eur. J. Sci. Educ., 1(2), 205-222, 1979.
- VYGOSTKY, L.S. A formação social da mente. São Paulo: Martins Fontes. Paidós. 1988.
- WATTS, D. M. & ZYLBERSTAJN, A. A survey of some ideas about forces. Physics Education, 16, 360-365, 1981.
- WOOLNOUGH, B Practical science a Holistic Activity In: Practical Science- The role and reality of practical work in school science. Open University Press, Celtic Court, Buckingham , 178-181 1991.

ZYLBERSZTJN, A Resolução de problemas: uma perspectiva kuhniana. Atas  
Eletrónica do VI EPEF. Florianópolis, SC. 1998.

**PARTE II**

**ANEXOS**

## SUMÁRIO

ANEXO 1- Livro Francês.....	1
ANEXO 2 – Aníbal Freitas.....	8
ANEXO 3 – Francisco Alcântara Gomes Filho.....	22
ANEXO 4 – Antônio Tagliaro.....	31
ANEXO 5 – Antônio de Souza Teixeira Júnior.....	39
ANEXO 6 – PSSC.....	49
ANEXO 7 – Projeto Harvard.....	66
ANEXO 8 – Projeto Piloto/UNESCO.....	86
ANEXO 9 – FAI.....	97
ANEXO 10 - PEF.....	111
ANEXO 11 – PBEF.....	127

# **ANEXO 1**

**LIVRO FRANCÊS**

**EXEMPLOS DE TEXTOS E DISPOSITIVOS**

GANOT — MANEUVRIER

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

# DE PHYSIQUE

VINGT-QUATRIÈME ÉDITION

ENTièrement refondue

Conformément aux programmes officiels de l'Enseignement secondaire et aux plus récentes découvertes et applications de la Science

PAR

GEORGES MANEUVRIER

Professeur de Sciences physiques à l'École Nationale des Beaux-Arts  
Directeur-Adjoint du Laboratoire des Recherches physiques de la Sorbonne  
Directeur à l'École pratique des Hautes Études

AVEC LA COLLABORATION DE

M. MARCEL BILLARD

Ancien Agrégé-préparateur au Laboratoire des Recherches physiques  
Professeur au Lycée Charlemagne

OUVRAGE CONTENANT 1052 GRAVURES INTERCALÉES DANS LE TEXTE  
ET UNE PLANCHE EN COULEUR

PARIS

LIBRAIRIE HACHETTE ET C<sup>ie</sup>

79, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 79

1908

Droits de traduction et de reproduction réservés.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

# DE PHYSIQUE

on a compté les nombres de tours et de centièmes de tour nécessaires pour faire marcher la pointe du burin entre les points extrêmes : soient  $p$  et  $q$  ces nombres, il est évident que, pour avoir  $n$  divisions égales, il faudra tourner un trait chaque fois qu'on aura fait  $\frac{1}{n} \left( p + \frac{q}{100} \right)$  tours à partir du point 0.

3. *Tracer des divisions de longueur déterminée.* — On fixe la longueur à mesurer comme précédemment. Soit, en millimètres,  $l$  la longueur du degré de l'échelle qu'on veut tracer. Le nombre de tours et de centièmes de tour correspondant à cette longueur est donné par l'équation  $p + \frac{q}{100} = l$ .

3. *Mesurer la distance entre deux traits.* — On amène le burin au contact

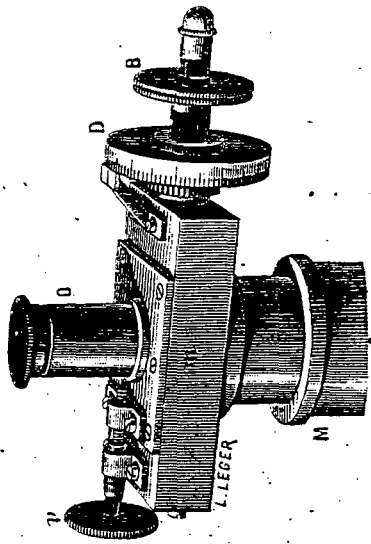


Fig. 15.

du premier trait, puis, en tournant la vis, on l'amène au contact du second. Si l'on a tourné de  $p$  tours plus  $q$  divisions du tambour, la distance à mesurer est évidemment  $\left( p + \frac{q}{100} \right)$  mm.

19. **Micromètre oculaire.** — On appelle ainsi une lunette ou un microscope muni d'un oculaire micrométrique (fig. 15), qui sert à la mesure d'une petite longueur.

Pour mesurer la longueur comprise entre deux traits parallèles voisins  $L, L'$  (fig. 15), on dispose, au-dessus des traits et en face d'eux, un microscope  $M$ , de façon que les images  $T, T'$  des traits  $L, L'$ , fournies par l'objectif  $O$ , se forment dans le plan du réticelle  $R$ . L'oculaire de Ramsden (582)  $O'$ , qui sert à l'observation, permet, de plus, d'apercevoir l'image  $P$  (fig. 14) d'une sorte de peigne placé très près du plan du réticelle.

Le réticelle  $R$  est porté par l'intermédiaire d'un cadre qui reçoit d'une vis micrométrique un mouvement de translation. Cette vis est mise en mouvement au moyen du bouton  $B$  (fig. 15); un tambour divisé  $D$  solidaire de  $B$  permet d'évaluer, grâce à un repère fixe, les fractions de tour de la vis. Un tour complet de la vis déplace le réticelle d'une longueur égale à la distance de deux dents consécutives du

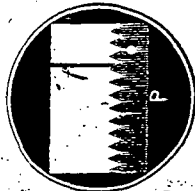


Fig. 14.

peigne.

avec les traits limites de la règle. Par le jeu de la manivelle  $m$  on substitue le second chariot au premier; par le mouvement des vis micrométriques  $p$  on achève la substitution. Il faut alors faire jouer les vis micrométriques des microscopes pour rétablir la coïncidence avec les images des traits. Ces déplacements micrométriques, joints à la tare, font connaître, par leur valeur et leur sens, la différence des longueurs des deux règles.

Les règles sont fermées par des couvercles munis d'ouvertures

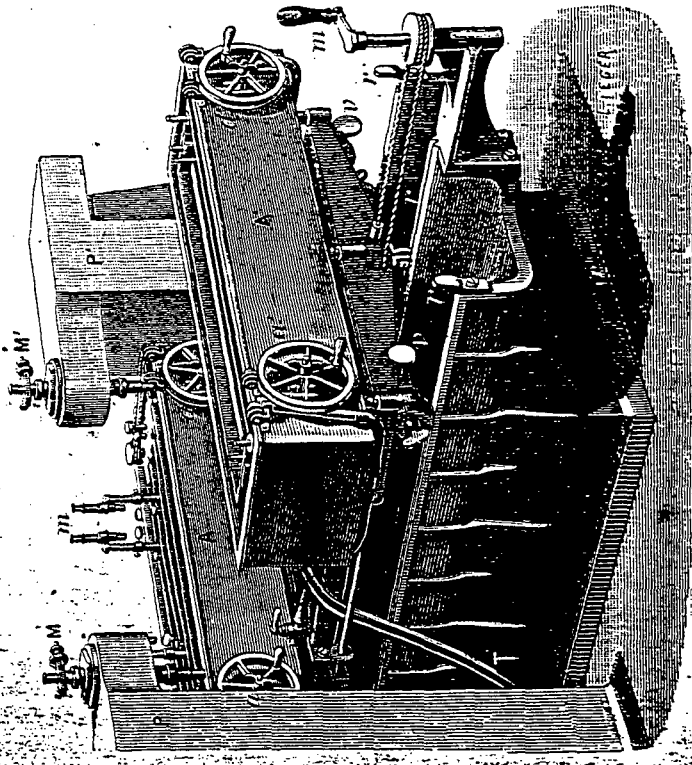


Fig. 18.

convenables et renferment de l'eau dont la température est indiquée par des thermomètres convenablement éclairés, couchés sur des fourchettes à droite et à gauche des barres. De petits microscopes servent à ces lectures.

On voit en outre en  $a, a'$  les manivelles de commande des agitateurs.

Le comparateur permet de mesurer les dilatations linéaires (244).

99. **Measures géodésiques.** — En géodésie on doit mesurer



L'augmentation de longueur de la barre, de  $\theta^{\circ}$  à  $t^{\circ}$ , est  $L_t - L_{\theta}$ , la dilatation est évidemment  $\Delta L = \frac{L_t - L_{\theta}}{L_{\theta}}$ .

**Résultats.** — On a trouvé que la dilatation linéaire d'une barre de  $\theta^{\circ}$  à  $t^{\circ}$  est à peu près proportionnelle à  $t$ .

**Courbe de dilatation.** — Ce fait est mis nettement en évidence par la construction du graphique ou diagramme des expériences. On porte, sur une ligne horizontale, des longueurs (*abscisses*) proportionnelles aux températures successives, et, sur des perpendiculaires, des longueurs (*ordonnées*) proportionnelles aux dilatations correspondantes : on obtient ainsi une suite de points (fig. 276), qui représentent les expériences. On cherche à réunir ces points par un trait continu. En général ils ne se placent pas sur une courbe parfaitement régulière. Cela tient aux erreurs inévitables des expériences. On trace alors une courbe continue en laissant au besoin certains points en dehors. Cette courbe pourra représenter, mieux que les nombres expérimentaux, la marche du phénomène.

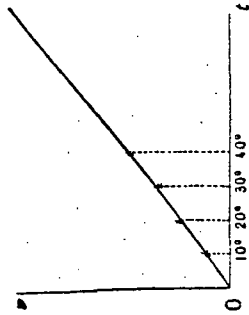


Fig. 276.

On a constaté que la ligne obtenue est à très peu près une droite, à peine courbée, et dont la convexité est tournée vers l'axe des températures  $\theta$ . Cela prouve que la dilatation est à très peu près proportionnelle à la température, mais qu'elle croît cependant un peu plus que ne l'indique la proportionnalité.

**Coefficient de dilatation linéaire.** — On appelle coefficient de dilatation linéaire d'une substance l'allongement que subit une longueur de 1 centimètre à  $\theta^{\circ}$ , pour une élévation de température de  $1^{\circ}$ . Ce coefficient s'obtient évidemment en faisant le quotient, par  $t$ , de la dilatation  $\Delta L$ , mesurée entre  $\theta^{\circ}$  et  $t^{\circ}$ . D'après ce qui précède, il reste à peu près invariable, lorsque la température varie.

Voici quelques coefficients de dilatation linéaire :

Acier trempé . . . . .	0,000013	Laiton . . . . .	0,000018
Fer . . . . .	0,000012	Cuivre . . . . .	0,000017
Aluminium . . . . .	0,000022	Platine . . . . .	0,000009
Argent . . . . .	0,000019	Verre . . . . .	0,000009

**245. Dilatation cubique.** — On appelle dilatation cubique d'une substance, entre  $\theta^{\circ}$  et  $t^{\circ}$ , la variation de volume que subit 1 cent-

## CHAPITRE II

### DILATATION DES SOLIDES ET DES LIQUIDES.

#### DILATATION DES SOLIDES

**244. Dilatation linéaire; Étude expérimentale. — Définition.**  
— On appelle dilatation linéaire d'un corps solide entre  $\theta^{\circ}$  et  $t^{\circ}$  l'augmentation que subit l'unité de longueur d'une barre de ce corps, lorsque sa température passe de  $\theta^{\circ}$  à  $t^{\circ}$ .

**Détermination.** — Pour la déterminer on mesure la longueur d'une barre de la substance étudiée à des températures variées. La dilatation étant très petite, on doit se servir d'un instrument de mesure très précis; on emploie actuellement le Comparateur (21).

On commence par amener, au-dessous des microscopes MM' (fig. 18 et 275), un mètre-étalon placé dans une auge entourée de glace fondante. La distance des traits  $a, b$  est alors exactement d'un mètre. On vise, avec les microscopes, les traits  $a, b$  du mètre.

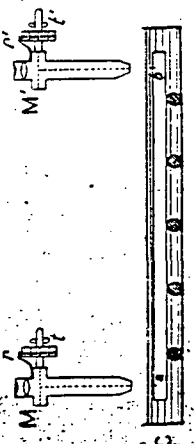


Fig. 275.

On substitue au mètre-étalon la règle dont on veut étudier la dilatation et sur laquelle on a gravé deux traits à une distance aussi voisine que possible de 1 mètre. L'auge qui contient cette règle est entourée de glace fondante. Sa température est donc  $\theta^{\circ}$ . Les oculaires micrométriques permettent alors de mesurer exactement la longueur  $L_{\theta}$  de la barre à  $\theta^{\circ}$ .

On recommence les mêmes opérations en faisant circuler, dans l'auge qui contient la barre étudiée, de l'eau à température constante  $t^{\circ}$ . Cette température est mesurée par des thermomètres placés le long de la barre. On mesure ainsi la longueur  $L_t$  de la barre à  $t^{\circ}$ . On répète la même mesure pour des températures  $t$  régulièrement croissantes.

points diamétralement opposés de l'enroulement à deux bagues isolées sur

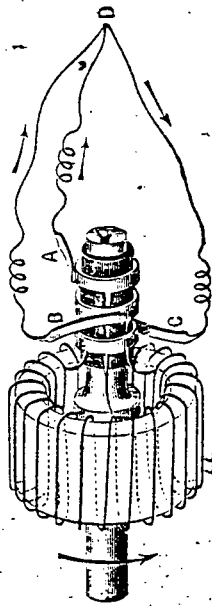


Fig. 874.

l'arbre (fig. 873). Ces bagues sont réunies, par des frotteurs, à un circuit extérieur. On voit aisément que, dans les deux moitiés de l'induit, se produisent

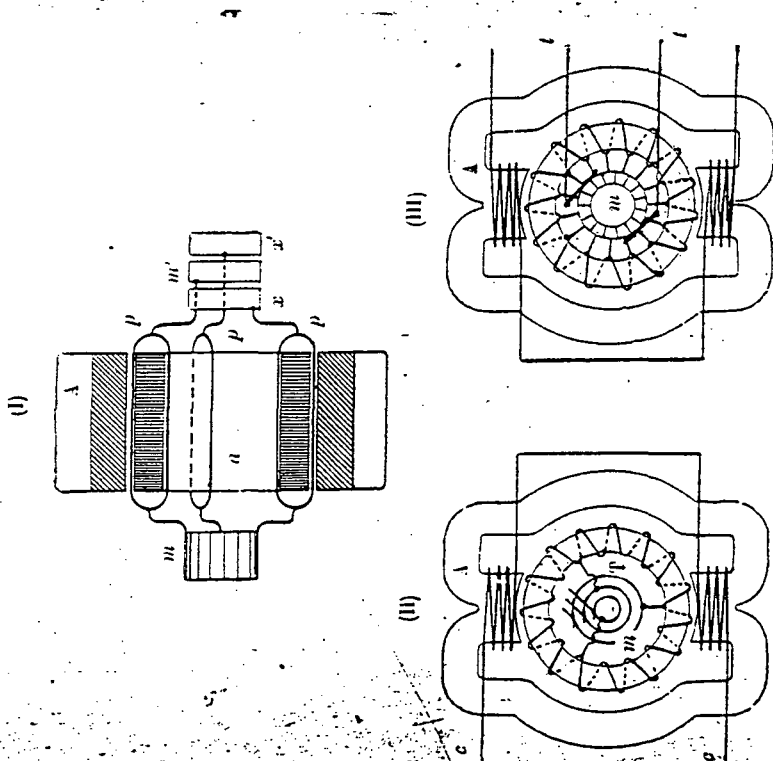


Fig. 875.

des forces électromotrices alternatives qui concourent pour donner un courant alternatif simple dans le circuit extérieur.

1. Dans le cas d'une machine bipolaire.

On peut aussi recueillir un deuxième courant par des bagues en communication avec deux points de l'anneau à 90° des premiers. Ce deuxième courant forme, avec le premier, un système de courants diphasés. Enfin, si on réunit, à trois bagues, trois points de l'anneau à 120° l'un de l'autre (fig. 874), les 3 sections ainsi déterminées dans l'anneau formeront trois circuits, associés en triangle, où se développeront des forces électromotrices triphasées.

On peut alors munir le même anneau Gramme de deux collecteurs, le premier *m* (fig. 875, I) identique à celui d'une machine à courant continu; le deuxième *m'* à bagues, comme ceux que nous venons de décrire. Par le premier collecteur on enverra dans la machine un courant continu. L'anneau tournera donc comme un moteur à courant continu. En même temps, on recueillera des courants alternatifs par les bagues.

Une pareille machine s'appelle une *commutatrice*. La figure 875 représente une commutatrice, transformant le courant continu en courant triphasé. En (I) on voit la coupe de la machine, en (II) est la représentation schématique du collecteur à courants triphasés. Enfin, en (III) on a représenté le collecteur à courant continu.

874. Transformation des courants alternatifs en courants continus. — On effectue de plusieurs manières la transformation inverse des courants alternatifs en courants continus :

1° On peut d'abord redresser le courant alternatif au moyen d'un commutateur spécial mis en mouvement par un moteur synchrone. Cette solution n'a reçu que peu d'applications à cause des nombreuses étincelles qui se produisent au collecteur et de l'usure qui en résulte.

2° Nous avons vu comment les clapets électrolytiques permettent de ne laisser passer qu'une alternance sur deux.

3° On accouple un moteur à courant alternatif avec une dynamo à courant continu.

4° On emploie une commutatrice telle que celle que nous avons décrite, car elle peut réaliser les deux transformations inverses.

Ainsi la machine représentée (fig. 875) peut recevoir des courants triphasés par ses trois bagues *x, m', x'*. Elle constitue alors à la fois un moteur triphasé synchrone et une génératrice à courant continu. On recueille alors ce courant continu par le collecteur *m*.

BOBINES D'INDUCTION.

875. Bobines d'induction. — On désigne sous le nom de *bobines d'induction*, ou *bobines de Ruhmkorff*, des sortes de transformateurs destinés à fournir des courants secondaires de haute tension au moyen d'un courant primaire *continu*. Leur invention est d'ailleurs antérieure à celle des transformateurs à courant alternatif; elle est due au physicien français Masson. Le premier transformateur Masson fut construit par Ruhmkorff.

Une bobine de Ruhmkorff (fig. 876) se compose d'un noyau de fer doux rectiligne, formé d'un faisceau de fils de fer pour éviter les courants de Foucault. Sur ce noyau est enroulé le circuit primaire; il ne comprend qu'un petit nombre de spires de gros fil. Par-dessus, en l'isolant soigneusement de la bobine primaire, on a enroulé le circuit secondaire. Il est formé par un nombre

attaché à un levier AOC mobile autour de l'axe O. OC est une came qui appuie sur une autre came C' formant, avec le style inscripteur, un levier mobile autour de O'. L'allongement du cheveu n'étant pas proportionnel à l'état hygrométrique, on a donné aux cames une forme convenable, pour que le déplacement de S soit, au contraire, proportionnel à l'état hygrométrique.

345. Formules relatives à l'hygrométrie. — Calculer la masse  $P$  d'un volume d'air humide  $V$  dont l'état hygrométrique est  $e$ , la température  $t$  et la pression  $l$ .

Soit  $f$  la pression de la vapeur d'eau dans l'air. On a  $f = F_e$ ,  $F$  étant la pression maximum de la vapeur d'eau correspondant à la température  $t$ . Cette pression  $F$  se trouve dans les tables dressées par Regnault. Le volume

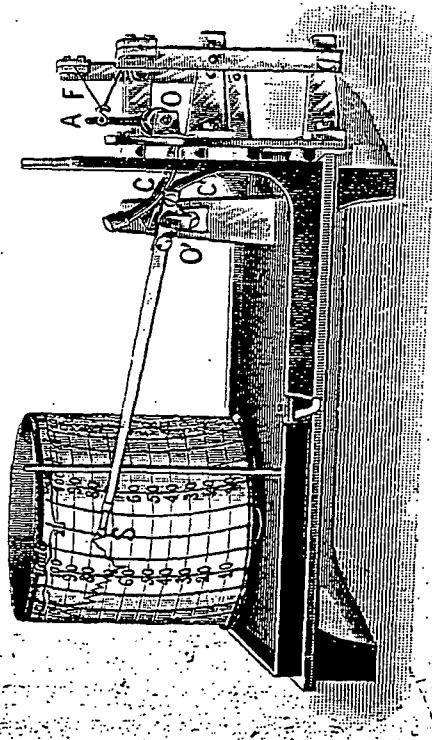


Fig. 537.

d'air donné n'est autre chose qu'un mélange de  $V$  cm<sup>3</sup> d'air sec, à  $p'$  et sous une pression  $l - f = l - F_e$ , et de  $V e$  cm<sup>3</sup> de vapeur, à  $p'$  et sous la pression  $f = F_e$ .

Les masses respectives  $p$  et  $p'$  d'air et de vapeur seront donc données par les formules suivantes :

$$(1) \quad p = V \times 0,001293 \cdot \frac{l}{1 + \alpha t} \quad \text{II} = \frac{F_e}{76}$$

$$(2) \quad p' = V \times 0,001293 \times 0,822 \cdot \frac{1}{1 + \alpha t} \cdot \frac{F_e}{76}$$

d'où l'on déduit aisément

$$(3) \quad p = p + p' = V \times 0,001293 \cdot \frac{1}{1 + \alpha t} \cdot \text{II} = \frac{0,378 F_e}{76}$$

CHAPITRE XIII

MACHINES THERMIQUES.

346. Machine à vapeur. — Principe. — Générateurs de vapeur. — La machine à vapeur est une application de ce fait que, si l'on chauffe de l'eau dans une chaudière fermée, la pression maximum de la vapeur devient supérieure à la pression atmosphérique et d'autant plus que la température s'élève davantage au-dessus de 100°; ainsi, vers 180°, la pression est

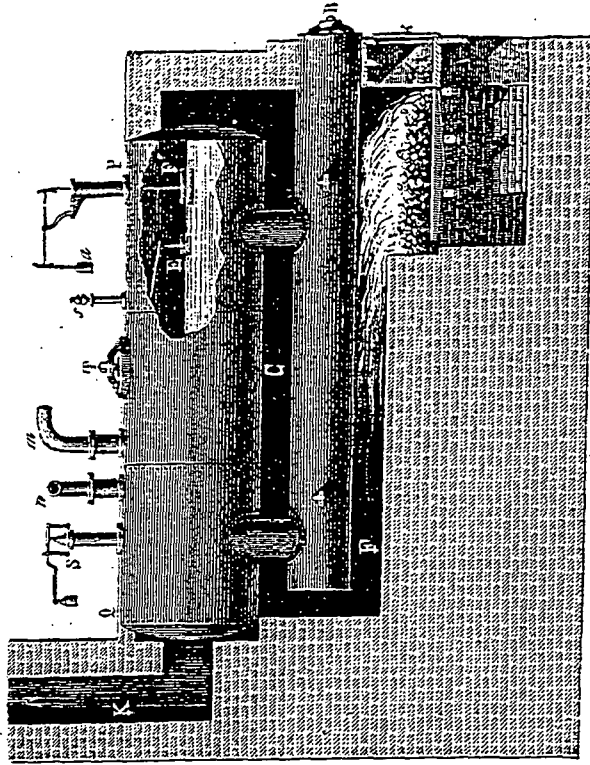


Fig. 538.

de 10 kg par cm<sup>2</sup>. On utilise cette pression pour donner à un piston un mouvement de va-et-vient que l'on transforme ensuite, par l'intermédiaire d'organes mécaniques, en divers autres mouvements.

Générateurs de vapeur. — Pour produire les grandes quantités

*rectiligne.* — Entre une petite source calorifique quelconque et un thermomètre sensible, on interpose un corps athermane : on constate que la chaleur est interceptée si l'écran se trouve sur la droite qui joint la source au thermomètre ; elle ne l'est pas, si l'écran est en dehors de cette droite. Il faut en conclure que la chaleur rayonnante, comme la lumière, se propage, dans un milieu homogène, suivant des directions rectilignes qu'on peut appeler des *rayons calorifiques*. En interposant, sur le trajet de la chaleur émise par une petite source, un écran percé d'un trou, on peut limiter un *faisceau de rayons calorifiques*.

2°. *Vitesse.* — On est fondé à croire que la *vitesse de propagation de la chaleur rayonnante est la même que celle de la lumière*. Cette hypothèse n'est en contradiction avec aucun fait connu mais on n'a pas fait d'expériences directes.

604. **Intensité de la chaleur rayonnante.** — 1<sup>re</sup> Loi. — La *quantité de chaleur rayonnée normalement par une source de chaleur, sur une surface déterminée, varie en raison inverse du carré de la distance de cette surface à la source.*

*Démonstration.* — Nous prouverons bientôt (608) qu'une quantité déterminée de chaleur rayonnante représente une certaine quantité d'énergie; aussi peut-on démontrer *a priori* la loi précédente, exactement comme pour le son (421) et pour la lumière (462).

On peut aussi l'établir par l'expérience, en plaçant une pile thermo-électrique à des distances variées d'une source calorifique et de telle façon que les rayons qu'elle reçoit soient normaux à l'une de ses faces.

2<sup>e</sup> Loi. — La *quantité de chaleur, envoyée obliquement sur une surface déterminée, par une source constante, est proportionnelle au cosinus de l'angle que font les rayons incidents avec la normale à cette surface.*

Cette loi peut se démontrer théoriquement comme pour la lumière (462).

605. **Réflexion et diffusion de la chaleur rayonnante.** — Si l'on fait tomber sur un miroir un rayon émané d'une source à la fois calorifique et lumineuse, on constate que la chaleur se retrouve sur la même direction que le rayon lumineux réfléchi :

*La chaleur rayonnante se réfléchit suivant les mêmes lois que la lumière.*

Il en est de même pour la chaleur d'une source obscure. On peut le démontrer en déterminant la position de l'image d'une bougie dans un miroir concave et en remplaçant la bougie par une petite boule métallique fortement chauffée. On trouve qu'au

point même où se formait l'image de la bougie, un thermomètre subit un effet plus grand qu'en tous les points voisins.

Cela explique que, au foyer d'un miroir concave tourné vers le soleil, il y ait une concentration de chaleur telle qu'on y puisse enflammer des corps combustibles. C'est de là, d'ailleurs, que vient le nom de *foyer*.

On peut montrer la réflexion de la chaleur à l'aide de l'expérience dite des *Miroirs ardents*, analogue à celle que nous avons décrite à propos des ondes sonores (427).

Deux miroirs concaves métalliques M N (fig 634) sont disposés à 4 ou 5 mètres de distance, de manière que leurs axes coïncident. Au foyer de l'un on place une source calorifique réalisée par un petit panier de fil de fer A, rempli de charbons incan-

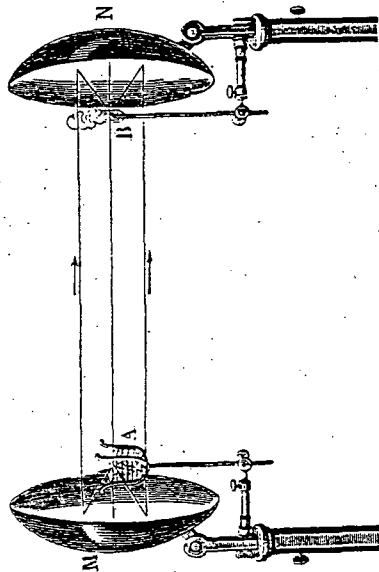


Fig. 634.

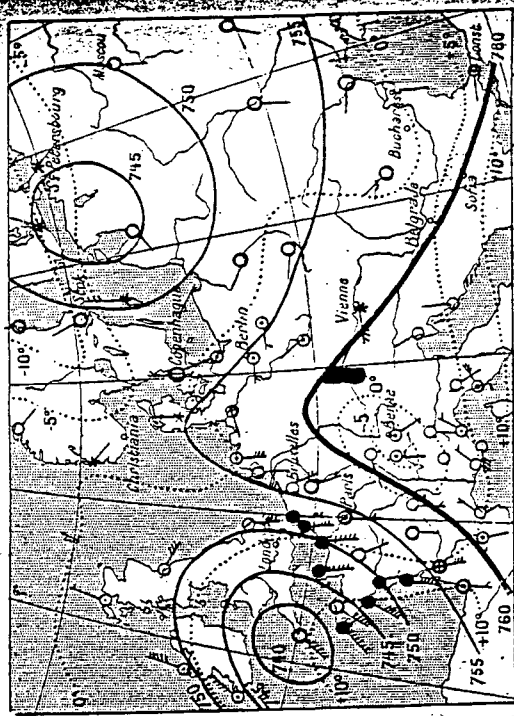
descendants; au foyer de l'autre, en B, on dispose un peu de fulmicoton. Les rayons émis par la source A se réfléchissent une première fois sur le miroir M, parallèlement à l'axe; ils reviennent se réfléchir une seconde fois sur l'autre réflecteur et concourent en son foyer B. Ce qui le prouve, c'est que le fulmi-coton prend feu, tandis qu'en deçà et au delà du foyer il ne s'enflammerait pas.

4. *Anciennes expériences.* — On rapporte qu'Archimède incendia les vaisseaux romains devant Syracuse au moyen de semblables miroirs. Buffon voulut prouver la possibilité de ce fait historique, en constituant des miroirs par l'assemblage d'un grand nombre de glaces planes et étamées, longues de 22 centimètres sur 16 de large et pouvant être orientées indépendamment l'une de l'autre de manière que les rayons réfléchis sur chacune d'elles vinssent concourir en un même point. Avec un système de 128 glaces, par un ardent soleil d'été, Buffon enflamma ainsi une planche de bois gondrounée, à 68 mètres de distance.

riques. Pendant que l'air tourne autour du minimum de pression en s'en éloignant de plus en plus, le centre du tourbillon change de place avec une vitesse variable en entraînant sans cesse de nouvelles masses d'air.

Il y a des dépressions qui restent des jours entiers à peu près stationnaires et qui se déplacent ensuite tout à coup en parcourant régulièrement en quelques heures en vingt-quatre heures; — d'autres cheminent régulièrement en allant seulement de quarante ou cinquante lieues par jour; — d'autres enfin après avoir marché dans une direction, s'arrêtent brusquement et s'évanouissent ou bien encore rebroussement chemin aussi vite qu'elles étaient venues.

Les figures 1031 et 1032 représentent la marche d'une dépression pendant le cours d'une journée. La figure 1031 indique la répartition des pressions et des



Signes conventionnels

Ciel		Vent	
○	Beau.	→	Faible.
⊙	Nuageux.	↗	Assez fort.
●	Couvert.	↘	Très fort.
⊛	Pluie.		Tempête.
⊙	Neige.		
⊙	Brouillard.		

Fig. 1031.

températures, la direction des vents et l'état du ciel pour l'Europe le 12 décembre 1901 à 7 heures du matin. La figure 1032 donne les mêmes éléments à 6 heures du soir le même jour.

Ce sont ces mouvements gigantesques de l'air qui, en troublant l'atmosphère, sont la cause secondaire de tous les changements de temps, et qui distribuent sur la surface de la terre la pluie ou le beau temps, le calme ou la tempête, la

chaleur ou le froid avec les orages ou les frimas. Lorsque les dépressions font défaut (régime anticyclonique), la sécheresse règne avec chaleur excessive ou été, et froid extrême en hiver.

1031. Répartition des météores dans une dépression. — La production des différents météores, dans les pays qui se trouvent sous l'influence d'une dépression, est soumise à des règles qui ne sont pas toutes absolues, mais qui ont, au moins, un grand caractère de généralité. D'abord, dans toute dépression de l'hémisphère boréal, l'air atmosphérique tourbillonne en laissant à sa gauche le centre de dépression. Les pays qui sont au Sud du centre ont ainsi des vents d'Ouest; ceux qui sont à l'Est ont des vents du Sud; ceux qui sont au Nord ont des vents d'Est, ceux qui sont à l'Ouest ont des vents du Nord.

Au contraire, dans toute dépression de l'hémisphère austral, l'air atmosphé-

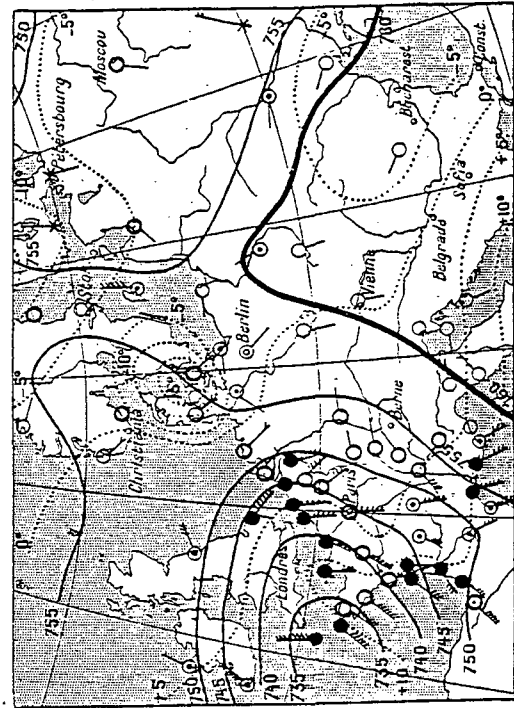


Fig. 1032.

rique tourbillonne en laissant à sa droite le centre de dépression. Les pays qui sont au Sud du centre ont donc des vents d'Est; ceux qui sont à l'Est ont des vents du Nord; ceux qui sont au Nord ont des vents d'Ouest; ceux qui sont à l'Ouest ont des vents du Sud.

C'est là une loi invariable, créée par la rotation de la terre et par le mouvement général qui, sous l'action de la chaleur solaire, porte l'air atmosphérique de l'équateur vers les pôles: on la désigne ordinairement sous le nom de loi de Huggs Ballou.

Les différents météores ordinaires se répartissent en outre dans les diverses parties de la dépression suivant la température, la pression atmosphérique et le vent qui sont les trois facteurs principaux des changements de temps.

Dans notre hémisphère, les mauvais temps commencent avec le vent et sévissent surtout dans la moitié sud des dépressions, tandis qu'il fait assez beau dans leur partie nord, et généralement tout à fait beau vers leur extrême bord septentrional, ainsi qu'en dehors de toute dépression. La chaleur est plus grande dans l'hémicycle oriental des dépressions que dans l'hémicycle occi-

## **ANEXO 2**

EXEMPLOS DOS CONTEÚDOS  
MINISTRADOS NO ENSINO COLEGIAL NA  
DÉCADA DE 80 OS QUAIS GERALMENTE  
ESTAVAM ASSOCIADOS A ALGUM  
EQUIPAMENTO OU APARATO  
EXPERIMENTAL.

ANÍBAL FREITAS

# FÍSICA

1.º LIVRO

CICLO COLEGIAL

6.ª EDIÇÃO

1950



EDIÇÕES MELHORAMENTOS

# FÍSICA

6.ª Edição



EDIÇÕES MELHORAMENTOS

# ÍNDICE GERAL

## INTRODUÇÃO

### UNIDADE I A lei e a medida física

	Págs.
Conceito da lei física. Importância do estudo quantitativo dos fenômenos físicos. Medidas físicas	8
1. Noção de causa	8
2. Hipótese	9
3. Importância do estudo quantitativo do fenômeno. Conceito de lei física	10
4. Expressão analítica de uma lei física	11
5. Representação gráfica das leis. Interpolação e extrapolação	11
6. Teoria física	13
7. Medidas físicas	15
8. Noção de erro	16
9. Erros sistemáticos e erros acidentais	17
10. Erro absoluto e erro relativo. Precisão	17
11. Cálculo do resultado mais provável da medida de uma grandeza	17
12. Unidades	17
13. Régua dividida	17
14. Vernier ou nônio	17
15. Parafuso micrométrico	17
16. Esferômetro	17
17. Catelômetro	17
18. Palmer	17
19. Paquímetro	17
20. Micrômetro ocular	17
21. Comparador	18

### A ESTATICA

#### UNIDADE II

##### Estática dos sólidos

Pêso dos corpos. Conceito de força. Unidade de força	26
22. Pêso dos corpos	26
23. Conceito de força	29
24. Elementos das forças	29
25. Unidade de força	30
26. Medida das forças. Dinamômetros	30
27. Representação gráfica das forças	31
28. Gravidade	31
29. Sistema de forças. Resultante	32
30. Forças na mesma direção	32
31. Forças concorrentes	34
32. Forças paralelas	34
33. Determinação gráfica do ponto de aplicação da resultante de duas forças paralelas	35
34. Binário	35
35. Forças aplicadas a um corpo	35
36. Equilíbrio	35
37. Momento de uma força	35
38. Momento dos binários	35
39. Composição de binários	35
40. Teorema dos momentos e o equilíbrio	35

	Págs.
41. Centro de gravidade	37
42. Equilíbrio dos corpos pesados	37
43. Elasticidade por compressão	43
44. Módulo de Poisson	43
45. Elasticidade por flexão	44
46. Módulo de rigidez	46
47. Elasticidade de torção	46

## TRABALHO MECANICO

### UNIDADE III

#### Conceito de trabalho. Unidade de trabalho

50. Conceito de trabalho	48
51. Unidades de trabalho	48
52. Conservação do trabalho	52
53. Máquinas simples	53
54. Equação do trabalho nas máquinas	54
55. Rendimento das máquinas	54
56. Potência das máquinas	56
57. Alavancas	56
58. Igualdade do trabalho motor e do resistente nas alavancas	57
59. Gêneros de alavancas	58
60. Balanças	59
61. Roldanas	59
62. Plano inclinado	64
63. Sarrilh	67
64. Cunha	69
65. Atrito de escorregamento	70
66. Ângulo de atrito e ângulo de repouso	73
67. Atrito de rolamento	74
68. Energia potencial	76

## ESTATICA DOS LIQUIDOS

### UNIDADE IV

#### Conceito de pressão. Unidades. Distribuição das pressões nos líquidos

69. Conceito de pressão	80
70. Unidades de pressão	80
71. Caracteres dos líquidos	81
72. Transmissão das pressões nos líquidos. Princípio de Pascal	81
73. Prensa hidráulica	82
74. Elevadores	84
75. Pressões exercidas pelos líquidos	85
76. Provas experimentais das pressões exercidas pelos líquidos	86
77. Teorema fundamental das pressões	86
78. Verificação experimental do teorema fundamental das pressões	89
79. Corolários do teorema fundamental das pressões	90
80. Paradoxo hidrostático	91
81. Superfície livre dos líquidos em equilíbrio	92
82. Equilíbrio de líquidos diferentes em um só vaso	93
83. Vasos comunicantes	93
84. Princípio de Arquimedes	96
85. Corpos imersos	96
86. Equilíbrio dos corpos flutuantes	97
87. Recíproca do princípio de Arquimedes	98
88. Aplicações do princípio de Arquimedes	99
89. Densidade	100
90. Pêso específico	101
91. Densidade dos sólidos e líquidos	102
92. Método da balança hidrostática	103
93. Balança de Mohr ou de Westphal	104
94. Método do frasco ou do picnômetro	105
95. Superfície livre dos líquidos em equilíbrio	106



148. Imagens dos objetos nos espelhos côncavos .....	Págs. 172	Págs. 180
149. Espelhos convexos .....	175	181
150. Focos conjugados nos espelhos convexos .....	176	183
151. Imagens produzidas nos espelhos convexos .....	176	185
152. Determinação dos focos principais dos espelhos ..	177	185
153. Equação dos espelhos ...	178	187

REFRAÇÃO DA LUZ

UNIDADE VII — Índice de refração

160. Refração da luz .....	189	199
161. Leis da refração .....	190	199
162. Índice de refração .....	191	200
163. Equação fundamental da refração .....	192	201
164. Reflexão total .....	194	203
165. Aplicações da reflexão total	196	204
166. Efeitos da refração .....	196	201
167. Passagem da luz através de uma lâmina de faces paralelas .....	197	201

LENTEZ DELGADAS

UNIDADE VIII — Construção geométrica das imagens

175. Lentes delgadas .....	206	217
176. Focos principais das lentes	208	218
177. Focos conjugados das lentes	210	219
178. Imagens produzidas pelas lentes .....	211	223
179. Construção das imagens ..	213	223
180. Equação das lentes .....	215	223
181. Fórmula de Newton .....	217	223
182. Determinação da distância focal principal das lentes convergentes .....	217	219
183. Aberrações das lentes ...	218	219
184. Convergência .....	219	219
185. Fórmula da convergência ..	219	219
186. Medida da convergência ..	221	221
187. Associação de lentes ....	223	223

INSTRUMENTOS DE ÓPTICA

UNIDADE IX — Câmara fotográfica. Projetor

188. Câmara escura .....	226	242
189. Câmara fotográfica .....	227	243
190. Projetores .....	230	244
191. Instrumentos de projecção ..	231	244
192. Instrumentos de ampliação ..	235	246
193. Lupa .....	235	247
194. Microscópio composto .....	237	247
195. Lunetas .....	240	248
196. Lunetas terrestres .....	242	248
197. Luneta de Galileu .....	243	248
198. Luneta de prisma .....	244	248
199. Aparelho da visão .....	244	248
200. Mecanismo da visão .....	246	247
201. Visão binocular .....	247	247
202. Persist. da imag. na retina ..	247	247
203. Defeitos da visão .....	248	248

95. Aréômetros .....	Págs. 107	115
96. Aréômetros de volume constante .....	107	115
97. Densímetros .....	108	117
98. Aréômetros de Baumé .....	110	117
99. Alcometro centesimal de Gay-Lussac .....	110	118
100. Tensão superficial .....	112	119
101. Experiências que revelam a tensão superficial .....	113	119
102. Fenômenos capilares .....	114	120

ESTÁTICA DOS GASES

UNIDADE V

Compressibilidade e expansibilidade dos gases

109. Caracteres dos gases. Fórmula expansiva .....	121	131
110. Compressibilidade dos gases. Lei de Boyle-Mariotte .....	122	133
111. Expressão analítica da lei de Boyle-Mariotte .....	125	136
112. Representação gráfica da lei de Boyle-Mariotte .....	125	137
113. Variação da densidade dos gases com a pressão .....	125	138
114. Pressões exercidas pelos gases .....	126	141
115. Medida da força elástica dos gases. Manômetros .....	127	141
116. Atmosfera .....	129	144
117. Pressão atmosférica .....	129	145
118. Medida da pressão atmosférica. Experiência de Torricelli .....	130	146
119. Medida das baixas pressões ..	149	149

A ÓPTICA GEOMÉTRICA

UNIDADE VI

Reflexão da luz. Propagação retilínea da luz

130. A óptica geométrica .....	151	160
131. Fontes de luz .....	151	160
132. Passagem da luz através dos corpos .....	152	162
133. Propagação da luz nos meios homogêneos .....	152	163
134. Noção de raio de luz .....	154	165
135. Sombra e penumbra .....	154	166
136. Imagens formadas pelas lentes abertas .....	157	167
137. Reflexão da luz .....	158	169
138. Difusão da luz .....	160	170
139. Desvio do raio refletido ..	160	163
140. Imagens. Estigmatismo e aplanatismo .....	162	165
141. Imagens produzidas pelos espelhos planos .....	163	166
142. Campo de um espelho .....	165	167
143. Espelhos angulares .....	166	167
144. Espelhos paralelos .....	167	167
145. Espelhos esféricos .....	167	169
146. Espelhos côncavos. Foco principal .....	167	169
147. Focos conjugados .....	170	170

Este último aparelho permite medir a densidade tanto dos líquidos mais densos que a água como a dos líquidos de menor densidade.

Freqüentemente inscreve-se ao lado dos traços divisores o valor do quociente  $\frac{100}{n}$  ou seja a densidade correspondente a estas divisões.

**98. Areômetros de Baumé.** — São constituídos por uma ampola encimada por uma haste cilíndrica ôca, na qual se encontra a graduação, e terminada embaixo por uma esfera lastrada com mercúrio ou com chumbo, a fim de permitir sua imersão vertical, fig. 115.

Sua graduação é arbitrária e varia conforme se trata de areômetros destinados a líquidos mais pesados ou a líquidos mais leves que a água.

Os primeiros são construídos de modo a mergulharem até a extremidade superior da haste, quando introduzidos na água destilada, e os segundos mergulham apenas até a ponta inferior da haste.

Para graduar os areômetros destinados aos líquidos mais pesados que a água, marca-se zero no ponto de afloramento na água destilada, à temperatura de 12,5 C, e 15 no ponto de afloramento em uma solução feita com 15 partes de sal marinho e 85 de água. O intervalo entre o zero e o 15 é dividido em 15 partes e a graduação é prolongada além de 15 até 70 divisões mais ou menos.

Cada divisão é um grau Baumé.

Fig. 115 Estes areômetros são também chamados *pesa-ácidos*, *pesa-sais* ou *pesa-xaropes*.

Os areômetros destinados a líquidos mais leves que a água denominam-se *pesa-éteres*, *pesa-espiritos* ou *pesa-lécores*.

A graduação destes aparelhos se faz marcando zero no ponto de afloramento numa solução feita com 10 partes de sal marinho e 90 de água. O grau 10 é marcado no ponto de afloramento na água pura. O intervalo entre as duas marcas é dividido em 10 partes iguais e a graduação prolongada.

**99. Alcoômetro centesimal de Gay-Lussac.** — Este instrumento, fig. 116, permite conhecer a percentagem de álcool contida em uma mistura de álcool e água. Tem a

forma comum dos areômetros e é lastrado como os destinados a líquidos mais leves que a água.

Para graduá-lo preparam-se misturas tomando sucessivamente 5, 10, 15, 20 ... — 95 partes de álcool puro e completando 100 partes com água destilada à temperatura de 15° C. Introduzindo-se o aparelho nestas misturas marca-se nos pontos de afloramento respectivos 5, 10, 15, 20 ... 95. O ponto de afloramento no álcool absoluto corresponde ao grau 100.

Os intervalos entre duas divisões consecutivas são divididos em cinco partes.

Quando se introduz o instrumento numa mistura de álcool e água o número correspondente ao ponto de afloramento indica a percentagem de álcool da solução.

As indicações são exatas apenas para as misturas de álcool e água.

Como a graduação do aparelho é feita à temperatura de 15° C, é necessário fazerem-se correções quando se opera em temperaturas diferentes desta.

Usam-se para isso tábuas próprias.

Empregava-se antigamente o alcoômetro de Cartier, cuja graduação era muito arbitrária: o grau 10 correspondia ao afloramento na água e o grau 44 ao afloramento no álcool puro.

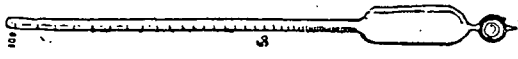


Fig. 116

Densidades de algumas substâncias:

Platina .....	21,45	Mercurio .....	13,59
Ouro .....	19,25	Ácido sulfúrico .....	1,85
Chumbo .....	11,35	Glicerina .....	1,26
Prata .....	10,50	Água do mar .....	1,02 a 1,04
Vidro de vidraça .....	2,5	Alcool .....	0,80
Mármore .....	2,5 a 2,8	Éter sulfúrico .....	0,73
Alumínio .....	2,7	Óleo de olivas .....	0,91

quo se deseja rarefazer o ar e por outros, com a atmosfera.

Quando o tambor gira com grande velocidade o ar do sulco é arrastado no sentido do movimento, isto é, no caso presente, é retirado do recipiente e lançado na atmosfera.

Nas bombas de Holweck o invólucro possui um sulco em espiral e o tambor desenvolve uma velocidade de 4500 voltas por segundo. A pressão pode descer nestas bombas a uma pequena fração do *micro* (§ 12, n.º 5).

128. *Trompas. — 1) Trompas de água.* Este aparelho, imaginado por Bunsen, é de uso muito prático. Consta de um reservatório de vidro que pode ser adaptado a uma torneira da canalização d'água e possui lateralmente um tubo *V* que se eleva ao recinto em que se deseja rarefazer o ar, fig. 166. A água da torneira se escoia por um tubo afilado *a* e cai na abertura de um segundo tubo *b* sendo rejeitada para fora por uma abertura inferior. Ao passar com velocidade de *a* para *b* a água arrasta consigo o ar contido no reservatório. O ar do recipiente é assim aspirado para *V*.

Obtém-se com este aparelho uma grande rarefação, limitada apenas pela tensão máxima do vapor d'água, na temperatura da experiência. A trompa d'água tem a vantagem de funcionar sem outro esforço além do que produz a água da torneira.

Se a água da trompa escoar-se em um reservatório fechado, o ar por éle arrastado será af comprimido, funcionando o aparelho como máquina de compressão.

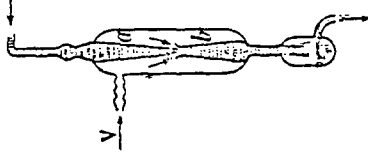


Fig. 166

2) *Trompa de mercúrio.* A trompa de mercúrio de Sprengel permite obter uma rarefação maior que a obtida nas bombas de mercúrio. O mercúrio, puro e seco, contido num reservatório *A* passa por um tubo *C* e cai gota a gota em uma ampola *a*, fig. 167, em comunicação com o recíntulo *V* em que se deseja rarefazer o ar. Ao caírem no tubo *B* as gotas de mercúrio aprisionam entre si o ar contido em *a* e proveniente de *V*. Produz-se assim lentamente a rarefação do ar deste recíntulo. O ar expellido pelo tubo *B* escapa para o exterior através do mercúrio contido em um vaso inferior. O tubo deve ter uma altura superior à altura barométrica

para permitir a queda do mercúrio. Para tornar mais rápida sua ação associam-se várias bombas.

Podem-se reduzir com este aparelho a pressão do ar a

$$0,1 \mu = \frac{1}{10} \text{ do } \textit{micro}.$$

Utiliza-se este aparelho para rarefazer o ar nas ampolas de lâmpadas elétricas incandescentes, nas ampolas de Crookes e nas destinadas à produção dos raios X.

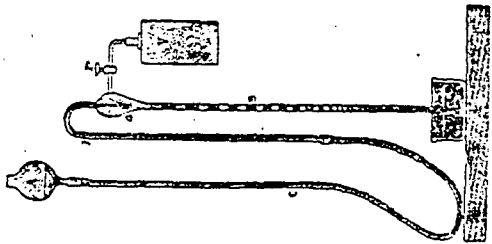


Fig. 167

129. *Medida das baixas pressões. — Não é possível medir-se as pressões muito baixas com os manômetros ordinários.*

Emprega-se então o aparelho de MacLeod (1), fig. 168, que é constituído por um pequeno reservatório *A* encimado por um tubo fechado *B*, graduado em partes do igual volume, a partir de seu vértice. A capacidade do reservatório *A* até o ponto *m* em que nele se insere o tubo lateral *T* é igual a *N* divisões do tubo *B* (geralmente 100). O tubo *T* se comunica com o reservatório que contém o gás cuja pressão se deseja medir. O reservatório *A* comunica-se também por um tubo flexível com um vaso *V*, móvel e cheio de mercúrio. Para medir-se a pressão do gás, abaixa-se primeiramente

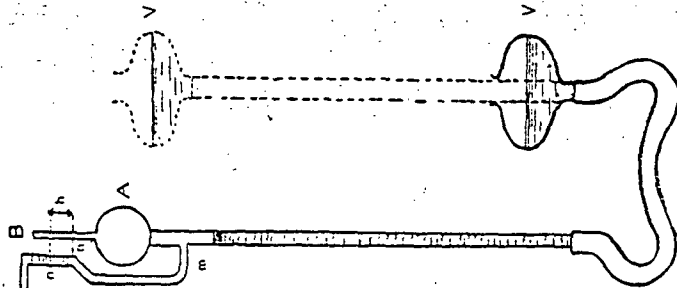


Fig. 168

(1) MacLeod, físico inglês, nascido, em 1876.

ANÍBAL FREITAS

# FÍSICA

3.º LIVRO

Ciclo Colegial

*De acórdio com os programas oficiais*

11.ª EDIÇÃO

1960



EDIÇÕES MELHORAMENTOS

ANÍBAL FREITAS

# FÍSICA

MANUAL DO CICLO COLEGIAL

Uso autorizado pelo  
Ministério da Educação e Cultura  
Registro N.º 850

11.ª Edição



EDIÇÕES MELHORAMENTOS

## ÍNDICE

## I. ÓPTICA

*Capítulo I*

## DEFINIÇÕES. TEORIAS

1. Definições gerais ..... 13
2. Fontes de luz ..... 13
3. Passagem da luz através dos corpos ..... 13
4. Teorias sobre a natureza da luz ..... 14
5. Teoria das emissões ..... 14
6. Teoria das vibrações ..... 15
7. Teoria electromagnética .. 18
8. Teorias modernas ..... 18

*Capítulo II*

## PROPAGAÇÃO RETILÍNEA DA LUZ

9. A luz se propaga em linha reta ..... 20
10. Noção de raio de luz .... 21
11. Sombra e penumbra ..... 22
12. Imagens formadas pelas pequenas aberturas ..... 24

*Capítulo III*

## FENÔMENOS LUMINOSOS NA SUPERFÍCIE DE DOIS MEIOS

13. Reflexão da luz ..... 25
14. Difusão da luz ..... 27
15. Desvio do raio reflectido .. 27
16. Aplicações do desvio do raio reflectido ..... 28

*Capítulo IV*

## ESPELHOS

17. Imagens. Estigmatismo e Aplanetismo ..... 31
18. Imagens produzidas pelos espelhos planos ..... 31
19. Campo de um espelho .. 33
20. Espelhos angulares ..... 34
21. Espelhos paralelos ..... 35
22. Espelhos esféricos ..... 36
23. Espelhos côncavos. Foco Principal ..... 37
24. Focos conjugados ..... 39
25. Imagens dos objetos nos espelhos côncavos ..... 41
26. Espelhos convexos ..... 43
27. Focos conjugados nos espelhos convexos ..... 44
28. Imagens produzidas nos espelhos convexos ..... 45
29. Determinação dos focos principais dos espelhos .. 46
30. Construção das imagens nos espelhos planos ..... 46
31. Construção das imagens nos espelhos côncavos ... 47
32. Construção das imagens nos espelhos convexos ... 50
33. Equação dos focos conjugados ..... 50
34. Fórmula de Newton ..... 52
35. Discussão da equação dos espelhos ..... 53
36. Aberrações dos espelhos .. 55
37. Espelhos parabólicos ..... 57

*Capítulo V*

## REFRAÇÃO DA LUZ

38. Refração da luz ..... 58
39. Leis da refração ..... 59
40. Índice de refração ..... 60
41. Equação fundamental da refração ..... 61
42. Reflexão total ..... 63
43. Aplicações da reflexão total 66

*Capítulo VI*

## REFRAÇÃO NAS LAMINAS DE FACES PARALELAS

44. Passagem da luz através de uma lamina de faces paralelas ..... 67
45. Meios separatos por superfícies paralelas ..... 69
46. Efeitos da refração ..... 70
47. Refração atmosférica .... 70

*Capítulo VII*

## PRISMA ÓPTICO

48. Prismas ..... 73
49. Marcha de um raio luminoso através dos prismas. 73
50. Fórmulas do prisma ..... 74
51. Estudo experimental do desvio. Desvio mínimo ... 75
52. Condições de emergência. 77
53. Imagens produzidas pelos prismas ..... 77
54. Determinação do índice de refração ..... 77

*Capítulo VIII*

## LENTE

55. Tipos de lentes; lentes convergentes e divergentes ... 79
56. Centro óptico ..... 80

57. Focos principais das lentes 82
58. Focos conjugados das lentes 82
59. Imagens produzidas pelas lentes ..... 83
60. Construção das imagens . 85
61. Equação dos focos conjugados das lentes ..... 87
62. Fórmula de Newton ..... 87
63. Determinação da distância focal das lentes convergentes ..... 90
64. Aberrações das lentes .... 90
65. Convergência ..... 92
66. Fórmula da convergência . 92
67. Medida da convergência . 94
68. Aplicações das lentes .... 95

*Capítulo IX*

## O OLHO HUMANO E A VISÃO

69. Aparelho da visão ..... 96
70. Mecanismo da visão ..... 97
71. Visão binocular ..... 99
72. Persistência das imagens na retina ..... 99
73. Defeitos da visão ..... 99

*Capítulo X*

## INSTRUMENTOS DE ÓPTICA

74. Classificação ..... 102
75. Aparelhos de projecção ... 102
76. Câmara escura ..... 103
77. Lanterna de projecção ... 104
78. Cinematógrafo ..... 104
79. Microscópio solar ..... 106
80. Megascópios ..... 106
81. Instrumentos de ampliação 106
82. Lupa ..... 108
83. Microscópio composto .... 109
84. Instrumentos de aproximação. Lunetas ..... 112
85. Lunetas terrestres ..... 114
86. Lunetas de Galileu ..... 114
87. Luneta de prisma ..... 115
88. Telescópios ..... 115
89. Fotografia ..... 117

## 2. DA ÓPTICA FISICA

*Capítulo I*

## VELOCIDADE DA LUZ, SUA DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL

90. Velocidade da luz ..... 123  
 91. Método de Römer ..... 123  
 92. Método de Bradley ..... 125  
 93. Método de Fizeau ..... 126  
 94. Método de Foucault ..... 127  
 95. Método de Michelson ..... 129  
 96. Constância da velocidade da luz. Experiência de Michelson ..... 130

*Capítulo II*

## NATUREZA COMPLEXA DA LUZ BRANCA. SUA DECOMPOSIÇÃO E RECOMPOSIÇÃO

97. Energia radiante ..... 132  
 98. Decomposição da luz branca 132  
 99. Recomposição da luz branca 133  
 100. Desigual refrangibilidade das cores do espectro .... 134  
 101. Radiações monocromáticas 135  
 102. Acrmatismo ..... 136

*Capítulo III*

## ESPECTROS DAS RADIAÇÕES. ESPECTROSCOPIA

103. Estudo dos espectros .... 137  
 104. Inversão das raías ..... 138  
 105. Espectro solar. Raias de Fraunhofer ..... 139  
 106. Espectroscópios ..... 140  
 107. Gradação do espectroscópio ..... 142

108. Repartição da energia no espectro. Lei de Wien ... 142

109. Propriedades das radiações do espectro ..... 144  
 110. Raios infravermelhos ..... 144  
 111. Raios ultravioleta ..... 145  
 112. Identidade das três radiações ..... 145  
 113. Aplicações da espectroscopia ..... 146  
 114. Cor dos corpos ..... 147  
 115. Cores complementares e cores primárias ..... 147

*Capítulo IV*

## INCANDESCENCIA

116. Incandescência ..... 149  
 117. Poder emissivo ..... 149  
 118. Poder absorvente ..... 149  
 119. Absorção seletiva ..... 150  
 120. Corpo negro ..... 150  
 121. Lei de Kirchoff ..... 150  
 122. Lei de Stefan-Boltzmann . 151

*Capítulo V*

## FONTES DE LUZ

123. Classificação ..... 152  
 124. Fosforescência ..... 152  
 125. Fluorescência ..... 153  
 126. Lei de Stokes ..... 154  
 127. Outras formas de luminescência ..... 154  
 128. Iluminamento ..... 155  
 129. Leis relativas ao iluminamento ..... 157  
 130. Unidades fotométricas ... 158

*Capítulo VI*

## FOTOMETRIA

131. Princípio fundamental ... 161  
 132. Fotómetro de Bouguer modificado por Foucault .... 161  
 133. Fotómetro de Rumford .. 162

## 3. FENÔMENOS DE DIFRAÇÃO

*Capítulo III*

## POLARIZAÇÃO DA LUZ. DUPLA REFRAÇÃO. POLARIMETRIA

148. Generalidades ..... 182  
 149. Polarização por reflexão .. 183  
 150. Lei de Brewster ..... 184  
 151. Polarização por refração simples ..... 185  
 152. Dupla refração ..... 187  
 153. Polarização por dupla refração ..... 188  
 154. Nicóis ..... 189  
 155. Turmalina ..... 190  
 156. Polarização rotatória ..... 191  
 157. Leis de Biot ..... 192  
 158. Tinta sensível ..... 193  
 159. Polarização cromática .... 193  
 160. Aplicações da polarização rotatória ..... 194  
 161. Biquartzo ..... 195  
 162. Compensador ..... 195  
 163. Saccharímetro de Soleil .... 196

*Capítulo I*

## INTERFERENCIA

139. Interferências luminosas .. 169  
 140. Dispositivos empregados para obter a interferência .. 171  
 141. Coloração das lâminas delgadas ..... 173  
 142. Anéis de Newton ..... 174  
 143. Aplicações das franjas de interferência obtidas nas lâminas delgadas ..... 175  
 144. Medida dos comprimentos de ondas ..... 175  
 145. Fotografia das cores ..... 177

*Capítulo II*

## DIFRAÇÃO

146. Difração ..... 178  
 147. Redes ..... 180

## 4. MANIFESTAÇÕES DA ELETRICIDADE

*Capítulo I*

## FENÔMENOS FUNDAMENTAIS DA ELETRICIDADE

164. Eletização pelo atrito ... 201  
 165. Corpos bons e maus condutores da electricidade .. 201
166. Papel da terra. Reservatório comum ..... 202  
 167. Eletização por contato ... 202  
 168. Isolantes ..... 202  
 169. Pêndulo elétrico ..... 203  
 170. Atrações e repulsões eléctricas ..... 203

171. Duas espécies de electricidade .....	204
172. Produção simultânea das duas electricidades .....	205
173. Principio da conservação da electricidade .....	205
174. Massas eléctricas .....	206
175. Electrosópios .....	206
176. Natureza da electricidade ..	207
177. Leis de Coulomb .....	209
178. Quantidade de electricidade. Unidade de carga ou massa eléctrica .....	211

*Capítulo II*

## DISTRIBUIÇÃO DA ELECTRICIDADE SOBRE OS CORPOS

179. Distribuição da carga eléctrica .....	213
180. Distribuição da electricidade nos corpos não condutores ..	214
181. Desigual distribuição da electricidade na superficie dos condutores .....	214
182. Densidade eléctrica .....	215
183. Pressão ou tensão electrolítica .....	216
184. Poder das pontas .....	217

*Capítulo III*

## FENOMENOS DE INFLUENCIA

185. Indução ou influencia eléctrica .....	219
186. Indução produzida sobre corpos já eletrizados .....	220
187. Indução produzida sobre os corpos maus condutores ..	221
188. Comunicação do induzido com a terra .....	221
189. Papel das pontas na indução .....	222

190. Caso em que o indutor é envolvido pelo induzido. Teorema de Faraday .....	222
191. Diagramas eléctricos .....	223
192. Aplicações da influencia ..	223

*Capítulo IV*

## MAQUINAS ELECTROSTÁTICAS

193. Generalidades .....	225
194. Máquinas de atrito .....	225
195. Máquinas de influencia ..	226
196. Replenisher .....	228
197. Máquina de Wimshurst ..	229
198. Electróforo de Volta .....	231
199. Máquina de Van der Graaff ..	232

*Capítulo V*

## CAMPO ELÉTRICO

200. Campo eléctrico .....	233
201. Linhas de força .....	234
202. Fluxo de força .....	235
203. Hipótese de Faraday sobre as ações eléctricas .....	236

*Capítulo VI*

## POTENCIAL ELÉTRICO

204. Noção de potencial. Analogia hidráulica .....	237
205. Valor do potencial .....	238
206. Potencial de um campo eléctrico .....	239
207. Unidades de potencial ..	239
208. Expressão do potencial ..	240
209. Expressão da intensidade do campo em função do potencial .....	242
210. Descarga eléctrica .....	243
211. Energia de um condutor eletrizado .....	243
212. Medida do potencial .....	243

*Capítulo VII*

## CAPACIDADE. CONDENSADORES

213. Capacidade eléctrica .....	246
214. Unidade de capacidade ..	247
215. Partilha das cargas eléctricas entre os condutores ..	248
216. Expressão da energia de um condutor eletrizado em função de sua capacidade eléctrica .....	249
217. Condensação eléctrica .....	249
218. Condensadores .....	250

## 5. MASSAS MAGNÉTICAS

*Capítulo I*

## IMÃS; PÓLOS DE UM IMÃ.

## LEI DE COULOMB

228. Imãs naturais e imãs artificiais .....	265
229. Pólos dos imãs .....	265
230. Ação reciproca dos imãs ..	266
231. Os pólos dos imãs são inseparáveis .....	267
232. Noção de massa magnética ..	267
233. Lei de Coulomb .....	269

*Capítulo III*

## CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

241. Campo magnético, terrestre ..	277
242. Declinação magnética .....	278
243. Bússola de declinação .....	278
244. Inclinação magnética .....	279
245. Bússola de inclinação .....	279
246. Bússola dos navegantes ..	280

219. Capacidade dos condensadores .....	253
220. Poder indutor específico ..	253
221. Leis da capacidade dos condensadores .....	254
222. Carga dos condensadores ..	255
223. Associação dos condensadores .....	255
224. Electrosópio condensador ..	257
225. Descarga dos condensadores ..	258
226. Cargas residuais .....	259
227. Energia de um condensador .....	260

236. Fluxo de força magnética ou fluxo magnético .....	272
237. Indução magnética .....	273
238. Permeabilidade magnética ..	273
239. Momento dos imãs .....	274
240. Substâncias paramagnéticas e diamagnéticas .....	276

## 6. CORRENTE ELÉTRICA

*Capítulo I*

## CARACTERES GERAIS

247. Noção de corrente eléctrica ..	283
248. Analogia hidráulica .....	284
249. Verdadeira causa da corrente eléctrica .....	285
250. Intensidade da corrente; ampère .....	285
251. Diferença de potencial; volt .....	286
252. Energia e potência eléctricas ..	287
253. Resistência eléctrica. Analogia hidráulica .....	287





*Capítulo VII*

## MAQUINAS GERADORAS DE CORRENTE CONTÍNUA

335. Geradores mecânicos de energia elétrica ..... 384  
 336. Excitação dos dínamos de correntes contínuas ..... 387  
 337. Dinamos multipolares .... 389  
 338. Trabalho para acionar as máquinas. Potência e rendimento ..... 390  
 339. Reversibilidade das máquinas elétricas ..... 390  
 340. Transporte da energia ... 391

## 8. GENERALIDADES SOBRE AS CORRENTES ALTERNATIVAS

*Capítulo I*

## CARACTERÍSTICAS DAS CORRENTES ALTERNATIVAS SIMPLES

346. Noções gerais ..... 399  
 347. Potência das correntes alternativas. Impedância .... 400  
 348. Alternadores ..... 401  
 349. Propriedades das correntes alternativas ..... 403  
 350. Conversores de corrente .. 403  
 351. Transformadores ..... 405

*Capítulo II*

## OSCILAÇÕES ELÉTRICAS

352. Descarga oscilante ..... 407  
 353. Experiências de Hertz ... 409

*Capítulo III*

## ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

354. Ondas electromagnéticas . 411  
 355. Ondas entreteidas ..... 413  
 356. Radiocomunicação. Telegrafia e telefonia sem fios 414

*Capítulo VIII*

## SISTEMAS DE UNIDADES ELÉTRICAS

341. Sistema de unidades elétricas ..... 393  
 342. Sistema electrostático C. G. S. .... 393  
 343. Sistema de unidades electromagnéticas C. G. S. .... 394  
 344. Sistema prático ..... 395  
 345. Relação entre as unidades elétricas dos três sistemas . 395

## 8. GENERALIDADES SOBRE AS CORRENTES ALTERNATIVAS

*Capítulo IV*

## EFEITO TERMIONICO

357. Emissão termiônica ..... 415  
 358. Lâmpadas de três eléctrodos ou triodos ..... 416  
 359. Radiotelegrafia ..... 417  
 360. Produção das ondas ..... 417  
 361. Recepção dos sinais ..... 418  
 362. Receptor de lâmpadas ... 419  
 363. Telefonia sem fios ..... 420  
 364. Radiogoniometria ..... 422  
 365. Propagação das ondas hertzianas ..... 422

*Capítulo V*

## FENOMENOS FOTELÉTRICOS TELEVISÃO

366. Fenômenos fotelétricos .... 424  
 367. Televisão ..... 425

*Capítulo VI*

## CORRENTES DE ALTA FREQUÊNCIA

368. Correntes de alta frequência ..... 427

## 9. DESCARGA ELÉTRICA

*Capítulo I*

## DESCARGAS NOS GASES RAREFEITOS

369. Condições que determinam a descarga ..... 431  
 370. Descarga nos gases rarefeitos ..... 431  
 371. Tubo de Crookes ..... 432  
 372. Natureza dos raios catódicos ..... 435  
 373. Determinação dos caracteres dos eléctrons .... 435  
 374. Raios positivos ..... 436

*Capítulo II*

## RAIOS X, SUAS PROPRIEDADES

375. Raios X ..... 437  
 376. Produção dos raios X .... 437  
 377. Propriedades dos raios ... 438  
 378. Aplicações dos raios X ... 439  
 379. Raios canais ..... 440

*Capítulo III*

## RADIOATIVIDADE

380. Radioatividade da matéria 442  
 381. Natureza das radiações do rádio ..... 443  
 382. Transmutação dos elementos ..... 445

*Capítulo IV*

## NOÇÕES SOBRE A CONSTITUIÇÃO DA MATÉRIA

383. A constituição da matéria 446  
 384. Transmutação provocada . 448  
 385. Radioatividade artificial .. 449

*Capítulo V*

## AS TEORIAS MODERNAS DA FÍSICA

386. Generalidades ..... 451  
 387. Mecânica electromagnética 451  
 388. A teoria da relatividade . 452  
 389. A descontinuidade dos fenômenos e a Mecânica ondulatória ..... 455

escoa pelas pontas para  $B$ . O dielétrico transporta, então, esta carga de nome contrário à indutora, para um condutor, que poderá desempenhar por sua vez o papel de indutor num dispositivo semelhante ao descrito.

Pertencem a este grupo as máquinas de Carré, de Holtz, de Voss, etc.

Descreveremos em seguida as máquinas de indução mais comumente usadas.

196. Replenisher. — Esta máquina, imaginada por lord Kelvin, é constituída por duas peças metálicas, cilíndricas e isoladas  $P$  e  $N$ , fig. 227 (a). Nas faces internas destas peças e nas extremidades de um mesmo diâmetro encontram-se duas molas  $m$  e  $m'$  (c). Uma haste  $H$  isolante, de ebonite, móvel em torno de um eixo que coincide com o eixo do cilindro  $PN$ , possui nas suas extremidades duas peças metálicas  $t$  e  $t'$ , ligeiramente curvadas. Nas extremidades das fendas existentes entre as peças  $P$  e  $N$  há duas outras molas  $n$  e  $p$ , ligadas por um fio metálico.

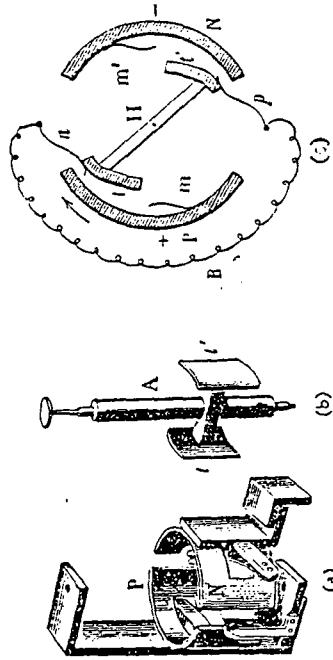


Fig. 227

Para fazer funcionar esta máquina é necessário comunicar-lhe uma carga muito fraca, o que pode conseguir-se tocando a peça  $N$ , por exemplo, com um bastão de ebonite atritado com um pano de lã. Esta peça se eletriza negativamente. Com o auxílio de uma pequena manivela dá-se movimento à peça  $H$  no sentido da flecha da figura. A carga negativa de  $N$  eletriza positivamente, por indução, a peça  $t'$  e repele pelo fio a eletridade negativa, que vai ter à mola  $n$  de onde passa para  $t$ . Devido ao movimento de rotação de  $H$ ,  $t'$  vai tocar a mola  $m$  e sua carga positiva passa para a parte externa de  $P$ ; no mesmo instante  $t$  se põe em contato com  $m'$ , passando sua

carga negativa para a face externa de  $N$ . Com a continuação do movimento, estes fenômenos se repetem e as cargas de  $P$  e  $N$  aumentam cada vez mais.

Depois de haver funcionado uma vez, o aparelho conserva sempre uma certa carga elétrica que dispensa a comunicação de uma carga inicial para seu funcionamento.

197. Máquina de Wimshurst. — 1) Descrição. A máquina de Wimshurst é constituída de dois pratos idênticos, de vidro ou de ebonite, munidos em suas faces externas de pequenos setores de estanho, colados próximos de seus bordos, fig. 228.

Os dois pratos podem girar em sentidos contrários, em torno do mesmo eixo, com o auxílio de uma manivela.

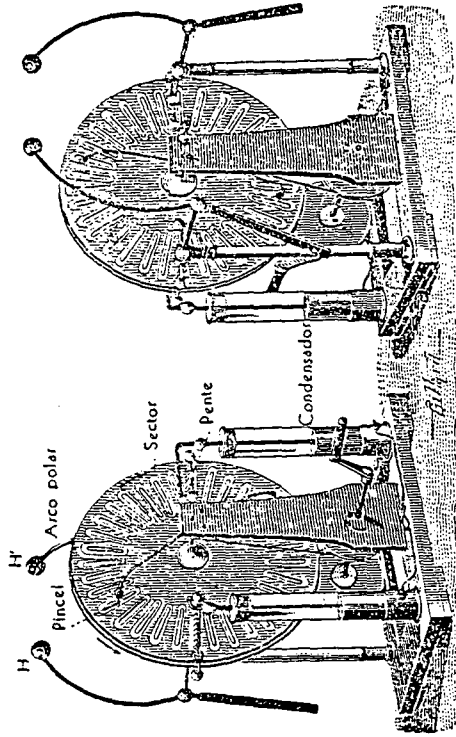


Fig. 228

Diante de cada prato se encontra um condutor disposto na direção do diâmetro do prato e de modo a formar aproximadamente um ângulo de  $45^\circ$  com a horizontal. Estes condutores, que são perpendiculares um ao outro e estão em comunicação com o solo, possuem, em suas extremidades, pequenos pincéis metálicos que roçam ligeiramente as faces dos pratos, quando estes se movem.

Nas extremidades do diâmetro horizontal dos pratos encontram-se dois pentes metálicos em forma de ferradura e dispostos de modo que seus dentes se achem voltados para as faces externas dos pratos. Cada um destes pentes se comunica com a armadura interna de um condensador, cuja armadura externa está em comunicação com o solo.

Caracteriza-se esse fato dizendo que os pólos dos ímãs considerados possuem quantidades de magnetismo ou *massas magnéticas* diferentes.

Não se pretende com isso atribuir à causa das ações magnéticas propriedades idênticas às da massa material dos corpos. A massa magnética é um simples fator de proporcionalidade das forças magnéticas, como a *massa elétrica* (§ 174), é um fator de proporcionalidade das atrações e repulsões elétricas.

O nome de massa foi dado a esse fator pelo hábito de ligar-se sempre a idéia de força à da massa do corpo sobre o qual ela se aplica.

2) Os dois pólos de um mesmo ímã possuem a mesma massa magnética: quando colocados à mesma distância de um mesmo pólo de outro ímã, exercem a mesma ação.

A seguinte experiência permite comparar as massas magnéticas dos ímãs.

Em um dos pratos de uma balança coloca-se um ímã longo e produz-se o equilíbrio do travessão, colocando uma tara no outro prato, fig. 268. Aproxima-se então do pólo norte desse ímã o pólo norte de outro ímã também longo. A repulsão produzida determina a perda do equilíbrio da balança.

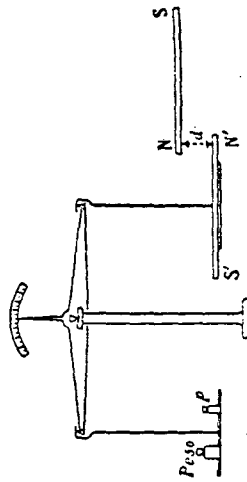


Fig. 268

Para restabelecê-lo é necessário colocar um peso  $p$  no outro prato da balança. Empregando ímãs diferentes e tendo o cuidado de aproximá-los à mesma distância do ímã colocado no prato da balança, verifica-se que o peso  $p$  terá também valores diversos.

Conclui-se que um pólo possuindo massa dupla, tripla, etc., de outro, quando colocado à mesma distância de um terceiro, produz ações duplas, etc., do outro.

3) Toma-se para unidade de massa magnética no sistema C.G.S. a *massa magnética tal que colocada, no ar ou no vácuo, a um cen-*

tímetro de distância de uma massa idêntica, produz uma repulsão de um dina.

A massa de um pólo magnético será igual a 2, 3, etc., unidades quando este pólo, situado a um centímetro do pólo unidade, exercer uma ação igual a 2, 3, etc., dinas.

Esta unidade de massa magnética serve de base para o estabelecimento de um sistema de unidades denominado *sistema de unidades electromagnéticas*.

233. **Lei de Coulomb.** — As ações exercidas pelos ímãs são comparáveis às ações elétricas. Coulomb, estudando estas ações nas condições mais simples possíveis, estabeleceu experimentalmente a seguinte lei:

*As ações atrativas ou repulsivas que se exercem entre dois pólos de um ímã são inversamente proporcionais ao quadrado de suas distâncias e diretamente proporcionais ao produto de suas massas magnéticas (1).*

Esta lei é expressa pela fórmula

$$F = \frac{mm'}{d^2} \quad (115)$$

quando as ações magnéticas se produzem no ar ou no vácuo e pela fórmula

$$F = \frac{1}{\mu} \frac{mm'}{d^2} \quad (116)$$

quando num meio diferente.

Nestas fórmulas,  $F$  é a força magnética,  $m$  e  $m'$  as massas respectivas dos pólos,  $d$  a distância e  $\mu$  uma constante denominada *permeabilidade magnética* (§ 238).

As massas de magnetismo norte devem ser afetadas do sinal + e as de magnetismo sul do sinal —.

O valor positivo de  $F$  indica repulsão e o negativo, atração.

(1) Esta segunda parte da lei decorre da própria definição de massa magnética.

## **ANEXO 3**

- EXEMPLO DE CONTEÚDOS  
MINISTRADOS NO COLEGIAL NOS  
ANOS 50/60.
- DESTAQUE PARA OS CONTEÚDOS  
SOBRE “DESCARGA NOS GASES”.
  - FIGURAS E DESCRIÇÃO DE  
EQUIPAMENTOS.
- DESTAQUE PARA TEORIA MODERNA  
DA FSC.
  - TEXTO DE RELATIVIDADE.

Francisco Alcântara Gomes Filho

FRANCISCO ALCÂNTARA GOMES FILHO

Médico e licenciado em Física; Prof. do Colégio Pedro II; Catedrático da Fac. de Filosofia, Ciências e Letras da U. D. F., da Fac. de Ciências Médicas e da Escola de Medicina e Cirurgia.

★

**FÍSICA**

*para*

**TERCEIRO ANO**

*do*

**CURSO COLEGIAL**

**FÍSICA**

*para o*

**TERCEIRO ANO COLEGIAL**

★

**4.<sup>a</sup> EDIÇÃO**

COMPANHIA EDITORA NACIONAL  
SÃO PAULO

COMPANHIA EDITORA NACIONAL  
SÃO PAULO

ÍNDICE

Programa oficial.....	11	Córes complementares.....	153	Corrente elétrica.....	239
Ótica geométrica		Espectrosc pit.....	154	Efeitos da corrente elétrica.....	240
Definição de ótica.....	13	Espectro de absorção.....	157	Energia elétrica.....	242
Propagação da luz.....	15	Fontes de luz.....	158	Intensidade da corrente elétrica.....	244
Velocidade da luz.....	16	Intensidade luminosa.....	159	Potencial elétrico.....	246
Raios luminosos.....	17	Fluxo luminoso.....	159	Resistência elétrica.....	247
Feixes luminosos.....	17	Iluminamento.....	161	Resistências variáveis.....	251
Sombras.....	18	Unidade de iluminamento.....	161	Lei de Ohm.....	254
Penumbras.....	19	Leis do iluminamentos.....	164	Aquecimento elétrico.....	260
Conseqüências da formação de sombras.....	19	Fotômetros.....	164	Leis de Joule.....	261
Câmara escura.....	20	Difração.....	169	Efeitos termo-elétricos.....	266
Fenômenos luminosos na superfície de preparação de dois meios.....	21	Interferência luminosa.....	175	Efeitos químicos da corrente.....	273
Sistemas óticos.....	23	Análise de Newton.....	175	Eletrólise.....	274
Imagens.....	23	Luz polarizada.....	176	Leis de eletrólise.....	276
Caractêres das imagens.....	23	Polarização pela reflexão.....	178	Geradores químicos de electricidade.....	281
Características dos sistemas óticos.....	24	Polarização rotatória.....	181	Acumuladores.....	282
Reflexão da luz.....	24	Dupla refração.....	185	Pilhas.....	286
Leis da reflexão da luz.....	25	Nicéis.....	186	Polarização das pilhas.....	287
Espelhos planos.....	27	Polarimetria.....	189	Pilha puñão.....	288
Aplicações dos espelhos planos.....	29	Electricidade estática		Associação de pilhas.....	289
Espelhos esféricos.....	31	Eletrização.....	193	Associação de geradores.....	290
Construção das imagens dos espelhos esféricos.....	38	Espéries de electricidade.....	194	Associação em paralelo.....	290
Focos conjugados.....	42	Massa elétrica.....	197	Correntes derivadas.....	292
Aberração nos espelhos.....	51	Ações entre cargas elétricas.....	198	Medida de resistência elétrica.....	308
Espelhos parabólicos.....	52	Distribuição da electricidade.....	200	Leis de Kirchoff.....	311
Refração da luz.....	53	Poder dos pontos.....	202	Electromagnetismo	
Leis da refração.....	56	Campo elétrico.....	202	Campo magnético das correntes.....	313
Reflexão total.....	61	Fluxo no campo elétrico.....	204	Teorema de Ampère.....	316
Conseqüências da reflexão total.....	63	Potencial elétrico.....	207	Fórmula de Laplace.....	316
Miragem.....	64	Capacidade elétrica.....	212	Solenóides.....	319
Refração nas lâminas de faces paralelas.....	65	Indução electrostática.....	213	Eletro-fínãs.....	322
Prisma ótico.....	68	Condensadores.....	215	Circuitos magnéticos.....	323
Trajeto do rai luminoso no prisma.....	68	Associação de condensadores.....	220	Indução magnética.....	325
		Ímãs.....	227	Ciclo de imantação.....	327
		Polos dos ímãs.....	228	Campainha elétrica.....	329
		Imantação.....	229	Telegrafo.....	329
		Lei de Coulomb.....	231	Ação de um ímã sobre uma corrente.....	332
		Campo magnético.....	232	Ação entre correntes.....	333
		Fluxo magnético.....	235	Motores elétricos.....	333
		Campo magnético terrestre.....	237	Indução electro-magnética.....	335
				Correntes induzidas.....	336

# PROGRAMA DE FÍSICA<sup>2</sup>

DO

## Tercero ano colegial\*

## Física — 3.º Ano Colegial

9

Lei de Lenz.....	337
Auto-indução.....	340
Bobina de indução.....	340
Telefone.....	341
Dínamos.....	342
Motores elétricos.....	344
Sistemas de unidades elétricas	345
Corrente alternativa.....	347
Geradores de corrente alter-	
nada.....	350
Motores de corrente alternada.	350
Transformadores.....	350

### Descargas nos gases

Oscilações elétricas.....	352
Ondas electro-magnéticas.....	353
Rádio comunicação.....	355
Radiofonia.....	356

Televisão.....	357
Condução de electricidade nos	
gases.....	359
Potencial explosivo.....	360
Descargas nos gases rarefeitos	360
Raios catódicos.....	364
Isclógrafo catódico.....	368
Microscópio electrónico.....	369
Raio X.....	371
Ampólas de raio X.....	371
Raios canais.....	372
Emissão termo-iônica.....	373
Triodos.....	373
Efeito foto-elétrico.....	374
Constituição de matéria.....	375
Radioactividade.....	377
Teoria da relatividade.....	380
Teoria da matéria.....	387
Teorias da luz.....	394

1. Propagação retilínea da luz. Sombras. Reflexão da luz. Espelhos planos e curvos. Refração da luz. Lâminas, prismas e lentes. Instrumentos de ótica.
2. Estudo físico da luz. Velocidade da luz. Energia radiante. Espectros das radiações. Espectroscopia. Fotometria.
3. Difração. Interferência luminosa. Dupla refração. Polarização da luz. Polarimetria.
4. Carga elétrica. Campo elétrico. Indução eletrostática. Condensadores.
5. Massas magnéticas. Campo magnético. Magnetismo terrestre.
6. Corrente elétrica. Grandezas características. Lei de Ohm. Efeitos térmicos da corrente elétrica. Efeitos químicos. Pilhas e acumuladores. Correntes derivadas. Medida das resistências. Circuito de corrente contínua.
7. Campo magnético das correntes elétricas. Solenóides e electroímãs. Ação recíproca de corrente e ímãs. Indução electromagnética. Geradores e motores de corrente contínua.
8. Noções sobre correntes alternadas. Geradores e motores de corrente alternada. Transformadores. Noções sobre oscilações elétricas. Ondas electromagnéticas.
9. Condução da electricidade através dos gases, Raio X. Efeitos termo-iônico e fotoelétrico. A radioactividade. Noções sobre a constituição da matéria. Teorias modernas da física.

\* Portaria número 966, de 2/10/51.

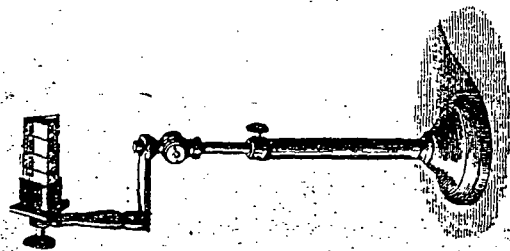


Fig. 70 - Poliprisma.

fôsse de  $S$  para  $S'$  o ângulo de incidência seria  $i_1$  e o desvio seria mínimo, porém, vindo de  $S'$  para  $S$ , de acôrdo com o princípio de retôrno inverso, o trajeto é o mesmo, logo, o desvio também é mínimo, conquanto a incidência seja agora  $i_2$ , diferente de  $i_1$ . Esta conclusão é contrariada pela experiência, que nos mostra só haver um ângulo de incidência que corresponde ao desvio mínimo e que, portanto, necessariamente se tem  $i_1 = i_2$ .

Experiências cuidadosas confirmam êste fato, do qual resulta também serem iguais os ângulos  $r_1$  e  $r_2$ .

Pôndo  $i_1 = i_2 = i$  e  $r_1 = r_2 = r$ , verificamos que, para a posição de desvio mínimo, as fórmulas (3) e (4) do § 67 se transformam em:

$$(3') \quad A = r + r = 2r.$$

(4')  $\delta_m = i + i - A = 2i - A$ , indicando por  $\delta_m$  o desvio mínimo.

Aplicação numérica: Um raio luminoso, contido na secção principal de um prisma de  $n = \sqrt{2}$  e  $A = 60^\circ$  incide numa das faces com

o ângulo de incidência que corresponde ao desvio mínimo. Calcular êste desvio.

Solução: Pela equação (3') obtemos:  $60 = 2r$  e  $r = 30$ .

Pela equação (1) temos:

$$\text{sen } i = \sqrt{2} \cdot \text{sen } 30^\circ = \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{\sqrt{2}}{2}, \text{ logo, } i = 45^\circ.$$

Finalmente, pela (4'):  $\delta_m = 2 \cdot 45^\circ - 60^\circ = 30^\circ$ .

§ 70. **Condição de emergência.** — Quando um raio luminoso penetra num prisma mais refringente que o meio exterior e vai incidir na face oposta sob o ângulo  $r_2$ , só dará raio emergente, se  $r_2$  fôr menor ou igual ao ângulo limite:  $r_2 \leq l(1)$ . Ora,  $A = r_1 + r_2$  e, portanto, o menor valor de  $r_2$  corresponde ao maior valor de  $r_1$  e êste, por sua vez, adquire maior valor quando  $i_1 = 90^\circ$ , porém, neste caso,  $r_1 = l$  e  $r_2 = A - r_1 = A - l$ . Assim sendo, a condição (1) para que exista raio emergente, é que  $A - l \leq l$ , donde tiramos:  $A \leq 2l$ , logo, *nenhum raio luminoso emergirá de um prisma cujo ângulo de refringência seja maior do que o dôbro do ângulo limite da substância que o formá.*

Aplicação numérica: Determinar o maior ângulo que pode ter um prisma de vidro para que haja raio emergente.

O ângulo limite do vidro é  $l = 41^\circ 50'$ .

Solução: Só pode haver raio emergente se  $A$  fôr menor do que  $83^\circ 40'$ , logo, um prisma retangular não fornece raio emergente e por isso, pode ser empregado como um espelho.

O prisma que nunca dá raio refletido é um prisma de reflexão total, como se obtém no prisma de vidro com  $A = 90^\circ$ .

§ 71. **Aplicação do desvio mínimo.** — Já vimos que havendo desvio mínimo  $A = 2r$  e  $\delta_m = 2i - A$ , donde tiramos:

$$r = \frac{A}{2} \quad \text{e} \quad i = \frac{A + \delta_m}{2}$$

Substituindo êstes valores na fórmula  $n = \frac{\text{sen } i}{\text{sen } r}$ , temos:

$$n = \frac{\text{sen } \frac{A + \delta_m}{2}}{\text{sen } \frac{A}{2}}$$



de um elemento em outros com emissão de energia. Esta transmutação artificial com o nome de desintegração atômica tomou grande vulto nos nossos dias com a descoberta da bomba atômica, que aproveita a enorme energia libertada quando um isótopo do urânio, de peso atômico 236, se desintegra para dar dois átomos de pesos atômicos quase iguais. É esta formidável energia que está sendo aproveitada para explodir cidades inteiras, modificando bruscamente os destinos da humanidade.

### TEORIAS MODERNAS DA FÍSICA

#### § 379. Teoria da relatividade (\*).

1) *Relatividade clássica.* — O simples fato do movimento de um pêndulo no interior de um trem se apresentar para um observador colocado neste trem da mesma maneira, quer o trem esteja em repouso ou em movimento retilíneo uniforme, mostra que esta experiência não pode servir para indicar o estado de repouso ou de movimento do trem.

Nas mesmas condições, a queda livre de um corpo se apresenta vertical quer o trem esteja em repouso ou em movimento retilíneo uniforme, conquanto, para um observador colocado na superfície da Terra, esta queda se realize sobre uma parábola quando o trem está em movimento uniforme. Assim, podemos concluir que *as leis da mecânica, obtidas para um sistema de eixos ligados ao trem, são as mesmas que se verificam na superfície da Terra ou em qualquer outro sistema em movimento de translação uniforme em relação aos anteriores.*

A conclusão acima acarreta a *impossibilidade de se verificar o movimento de translação uniforme de um sistema por meio de experiências mecânicas realizadas neste próprio sistema*, o que constituiu o *princípio da relatividade já conhecido na mecânica clássica.*

2) *Relatividade do espaço.* — Em 1881 o físico americano MICHELSON procurou esclarecer a influência do deslo-

(\*) Transcrito de "Humanidades", número 3, Rio, 1947.

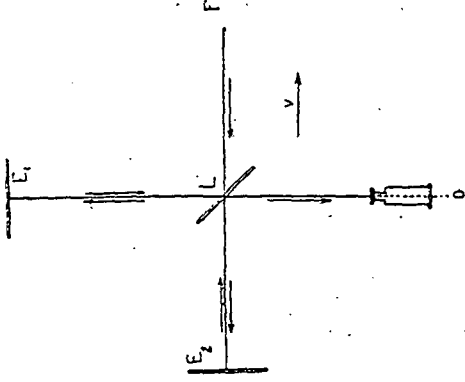


Fig. 378 — Experiência de Michelson.

camento da Terra na velocidade da luz, e para tal utilizou um feixe luminoso, que, incidindo sobre uma lâmina transparente com ângulo de 45°, em parte se reflete para  $E_2$  e parte atravessa para  $E_1$ . Como  $E_1$  e  $E_2$  são espelhos, estes raios se refletem e vêm se superpor na luneta (fig. 378). Ora, quando o trajeto  $LE_1$  é paralelo ao deslocamento da Terra, o  $LE_2$ , lhe é perpendicular, sendo que uma rotação de 90° no aparelho faz estes trajetos trocarem de posição, devendo assim, revelar a influência do movimento da Terra sobre a velocidade da luz. As experiências não indicaram, todavia, qualquer modificação da velocidade da luz na superfície terrestre, e este fato foi interpretado por LORENTZ como consequência de uma *contração* sofrida por qualquer comprimento no sentido do seu próprio deslocamento, *contração* esta tanto mais acentuada quanto maior é a velocidade e satisfazendo à relação.

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}},$$

em que  $l_0$  é o comprimento em repouso na Terra,  $l$  o comprimento depois da contração,  $V$  a velocidade do sistema e  $c$  a velocidade da luz.

Assim podemos concluir que o espaço é relativo visto que sua grandeza depende do sistema de referência e com isto a distância de dois pontos deixa de ser *invariante*. Pondo em relevo esta relatividade do espaço, citamos o exemplo de HENRY POINCARÉ no qual éle diz: (\*) “se nós, os nossos instrumentos de medida e os demais corpos que nos rodeiam, fôssemos aumentados ou diminuídos numa mesma proporção isto nos passaria despercebido”, aliás, ANATOLE FRANCE (\*\*) com grande intuição também afirma: “As coisas em si mesmas não são nem grandes nem pequenas e quando nós achamos que o Universo é vasto, essa idéia é puramente humana.

Se éle fôsse de súbito reduzido ao tamanho de uma avelã, tódas as coisas conservando as suas proporções, nós não poderíamos perceber essa mudança. A Estréla Polar, fechada conosco dentro da avelã, gastaria como no passado, cinquenta anos para nos enviar a sua luz (*Le jardin d'Épicure*).”

3) **Relatividade do tempo.** — Em relação ao tempo podemos levantar objeções que também mostram ausência de significado absoluto, pois “não é possível notar nenhuma alteração quando os nossos relógios e todos os demais fenômenos se aceleram ou se retardam na mesma proporção”.

Por outro lado, suponhamos um trem tendo em cada extremidade uma lâmpada e no meio um observador que, portanto, se acha à mesma distância de cada uma delas. Regulemos em seguida, um dispositivo mecânico que leve as lâmpadas a emitirem sinais luminosos simultâneos para o observador quando o trem está parado e assim, poderemos verificar que estes sinais deixam de ser simultâneos quando o trem se desloca com um movimento retilíneo uniforme que leva o observador ao encontro da luz proveniente da locomotiva. Este fato nos mostra que fenômenos simultâneos para sistema fixo à Terra, não o é para sistema que se desloque na sua superfície e que portanto, até a *simultaneidade é relativa*. É oportuno salientar que a velocidade da luz, sendo extremamente grande em relação à do trem, estas divergências não se fizeram notar durante muito tempo e só foram razoável-

(\*) POINCARÉ: Últimos pensamentos. Livraria Garnier, 1924, Rio.

(\*\*) ANTONIO COSTA: Introdução à teoria da Relatividade, Rio, 1922.

mente analisadas a partir do século passado com Fitzgerald, Lorentz, Poincaré e finalmente Einstein que completou o seu estudo, tomando como postulado a constância da velocidade da luz no vácuo que, tendo o valor de 300 000 km/s, não pode ser ultrapassada por nenhuma outra.

Para explicar esta variação do tempo, LORENTZ introduziu a noção de *tempo local* como grandeza matemática e que pode ser relacionado ao tempo em outro sistema por meio de fórmula por éle estabelecida e que damos a seguir.

4) **Transformações de coordenadas.** — Os sistemas de eixos coordenados que se deslocam entre si com translações uniformes são os chamados *sistemas de Galileu* e quando êstes eixos são paralelos e o deslocamento se faz ao longo do eixo dos  $x$  com a velocidade  $v$ , a passagem de um sistema para o outro na teoria clássica se faz pelas fórmulas:

$$\begin{aligned}x' &= x - vt \\y' &= y \\z' &= z \\t &= t\end{aligned}$$

Na mecânica relativista, em que espaço e tempo dependem dos sistemas de referências, estas fórmulas não se aplicam e são substituídas pelas chamadas *fórmulas de transformação de Lorentz* que as obteve levando em consideração a contração dos corpos e a variação do tempo quando o sistema se desloca.

As fórmulas de Lorentz são as seguintes:

$$\begin{aligned}x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\y' &= y \\z' &= z \\t' &= \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}\end{aligned}$$

As fórmulas de Lorentz se transformam aproximadamente nas de Galileu sempre que  $v$  é muito pequeno e pode ser desprezado em relação a  $c$ , motivo pelo qual a mecânica clássica é uma primeira aproximação da mecânica relativista, mais geral e precisa.

5) *Teoria da relatividade restrita*. — Os trabalhos de LORENTZ e POINCARÉ permitiram estender o princípio da relatividade aos fenômenos eletromagnéticos e assim passar ao seguinte enunciado: *é impossível verificar um movimento de translação uniforme de um sistema por meio de experiências mecânicas, óticas ou eletromagnéticas realizadas no interior d'êste sistema*. Todas estas teorias pareciam conseqüências de hipóteses absurdas, como a contração longitudinal e o tempo local de Lorentz, quando em 1905 ALBRECHT EINSTEIN, nascido em 1879, retomando o assunto admitiu a hipótese de que a *velocidade da luz no vácuo é constante e de valor máximo*, isto é, não pode ser superada por nenhuma outra velocidade existente. Assim ficam estabelecidos como postulados que:

1.º) A natureza do universo é tal que um observador em um sistema de referência em translação uniforme não pode verificar o movimento do seu sistema.

2.º) A velocidade da luz é a mesma em todas as direções e independente do movimento do sistema de referência.

Com estes postulados foram totalmente refundidos os conhecimentos da Física e tornou-se possível interpretar a variação do tempo quando o sistema se desloca.

Como a velocidade da luz é constante, podemos substituir cada segundo pelo espaço de 300 000 km e assim dar ao tempo o aspecto de uma quarta coordenada de modo a considerar a posição de um ponto dependente de quatro coordenadas ( $x, y, z, t$ ) que constituem um espaço quadrimensional ou Universo a quatro dimensões de Minkowski.

Desta teoria resulta que a energia cinética de um ponto material, deixa de ser  $\frac{mv^2}{2}$ , tornando-se

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

a qual tende para infinito quando  $v$  tende para  $c$ .

Como nova conseqüência encontramos ainda uma inércia para qualquer energia  $x$  no espaço e da qual resulta a massa:

$$m = \frac{x}{c^2},$$

de tal maneira que se torna possível a transformação de energia em matéria e vice-versa.

Confirmando esta conclusão, PLANC afirma que 2 gramas de hidrogênio se combinam com 16 gramas de oxigênio, formando água com perda de 3 milionésimos de mg.

6) *Relatividade generalizada*. — Em 1916 o próprio EINSTEIN estendeu a teoria da relatividade aos sistemas submetidos a quaisquer movimentos, bastando para tal acrescentar-lhes um campo de gravitação convenientemente escolhido.

Introduz assim EINSTEIN o princípio da equivalência, afirmando que *um campo de gravitação, para os fenômenos físicos, equivale a um campo de inércia de aceleração constante*.

Dêste princípio resulta a impossibilidade de se verificar o movimento de um sistema por experiências realizadas no interior do próprio sistema e com isto, torna-se inadmissível a existência de qualquer meio de referência privilegiado para a descrição dos fenômenos físicos, ou seja, nega a existência do próprio éter, isto é, de um meio imponderável capaz de ser encontrado em toda parte e no qual a luz realizasse sua propagação.

Como exemplo de aplicação dêste princípio vemos que na superfície da Terra ficamos submetidos a uma força centrífuga que poderia nos indicar a rotação do nosso planeta, mas que é mascarada pela gravitação terrestre.

É ainda a teoria da relatividade que justifica a propagação não retilínea da luz ao passar no campo de gravitação do Sol, o que se verificou por ocasião de eclipses.

A ausência de qualquer meio arrastado pela Terra e no qual se realize a propagação da luz, ainda está de acôrdo com a experiência da aberração das estrélas e da qual resulta a necessidade de se desviar a luneta de observação quando se deseja focalizar uma estréla. A ausência do éter como suporte de propagação da luz, evita as dificuldades encontradas na explicação de não haver amortecimento desta energia análogo ao que se verifica com o som.

7) **Questionário.** — Com o objetivo de provocar curiosidade nos alunos e levá-los a consulta bibliográfica especializada, apresentamos o seguinte questionário:

1.º) Suponhamos um trem e exatamente no seu meio um observador que dispõe neste ponto de duas fontes luminosas rigorosamente reguladas para emitirem sinais luminosos simultâneos periodicamente.

Suponhamos em seguida que estas fontes luminosas, sem qualquer modificação, são levadas para as extremidades do trem e exatamente à mesma distância do observador. Quando o trem está parado, sem dúvida, os sinais ainda são simultâneos para o observador no meio do trem.

Levando em consideração o conceito relativista da simultaneidade, será que o trem estando em movimento os sinais deixam de ser simultâneos? É preciso observar que, deixando de haver simultaneidade, então a luz percorre espaços iguais (cada metade do trem) em tempos diferentes, o que é contra o postulado da velocidade constante para a luz.

2.º) Verificada a constância da velocidade da luz por processo ondulatorio (interferência), não seria interessante verificá-lo por processo corpuscular para mostrar íntima relação entre onda e corpúsculo?

3.º) A aberração das estrélas se observa pelo ângulo que o eixo da luneta faz com a direção do raio luminoso proveniente da estréla. Ora, se collocarmos uma lâmpada no trajeto deste raio luminoso, a luz proveniente da lâmpada segue o mesmo trajeto até à objetiva da luneta, logo deve ser observado na ocular sem qualquer modificação na posição do aparelho e com isto, concluímos que a observação da lâmpada também

se faz com aberração. O fenômeno da aberração é resultante do movimento da Terra e conhecida a velocidade da luz, permite determinar a velocidade com que a Terra se desloca. Como a luneta e a lâmpada estão na superfície terrestre, será esta uma experiência realizada na Terra e capaz de indicar seu movimento contrariando a relatividade?

4.º) A experiência de FIZEAU mostra que a velocidade da luz é maior na água que se desloca no mesmo sentido que a luz, do que no caso inverso.

Sabemos que a velocidade da luz é menor nos meios mais densos, logo, é menor quando cresce a massa atravessada em cada cm do trajeto percorrido. Ora, o deslocamento da água, em sentido contrário ao da luz aumenta a massa atravessada.

Será que este falso aumento de densidade explica o resultado de FIZEAU?

### § 380. Teoria da matéria (\*).

1) **Origem da teoria atômica.** — Já os grandes filósofos gregos Leucipo e Demócrito (IV século a. C.) julgavam que a matéria pode ser dividida até se reduzir a partículas mínimas que foram chamadas *átomos* e que pelas suas qualidades, dimensões e quantidade permitam explicar as propriedades dos corpos.

Esta hipótese aceita por Epicuro, sucessor de Demócrito, foi levada para Roma por Lucrécio (95-52 a. C.) que fez dela objeto para o famoso poema intitulado *De Natura Rerum*. Durante a longa idade média, a teoria atômica, como todos os demais conhecimentos científicos, ficou estagnada para só reiniciar sua evolução no fértil Renascimento, quando foi retomada por vários pesquisadores que lhe deram bases científicas.

É assim que no fim do século XVIII LAVOISIER define a matéria como constituída de partículas que não se tocam e entre as quais se acha um flúido que é o calor.

Ampliando esta hipótese, DALTON no século XIX, não só admite os gases constituídos por partículas sem atração

(\*) Transcrito de "Humanidades", números 4 e 6 — Rio, sob o título *Noções elementares sobre teorias modernas da Física*, F. ALCÂNTARA GOMES FILHO.

## **ANEXO 4**

- EXEMPLO DE CONTEÚDO MINISTRADO  
NO COLEGIAL ANOS 60-70.
- DESTAQUE PARA CONTEÚDOS DE  
ELETRODINÂMICA.
- EXEMPLO DE TEXTO PITORESCO: A  
NOÇÃO DE MASSA MAGNÉTICA.

Antonio Tagliaro

# FÍSICA

TERCEIRA SÉRIE  
CURSO COLEGIAL  
10.<sup>a</sup> Edição

capa de Luís Antônio Borges

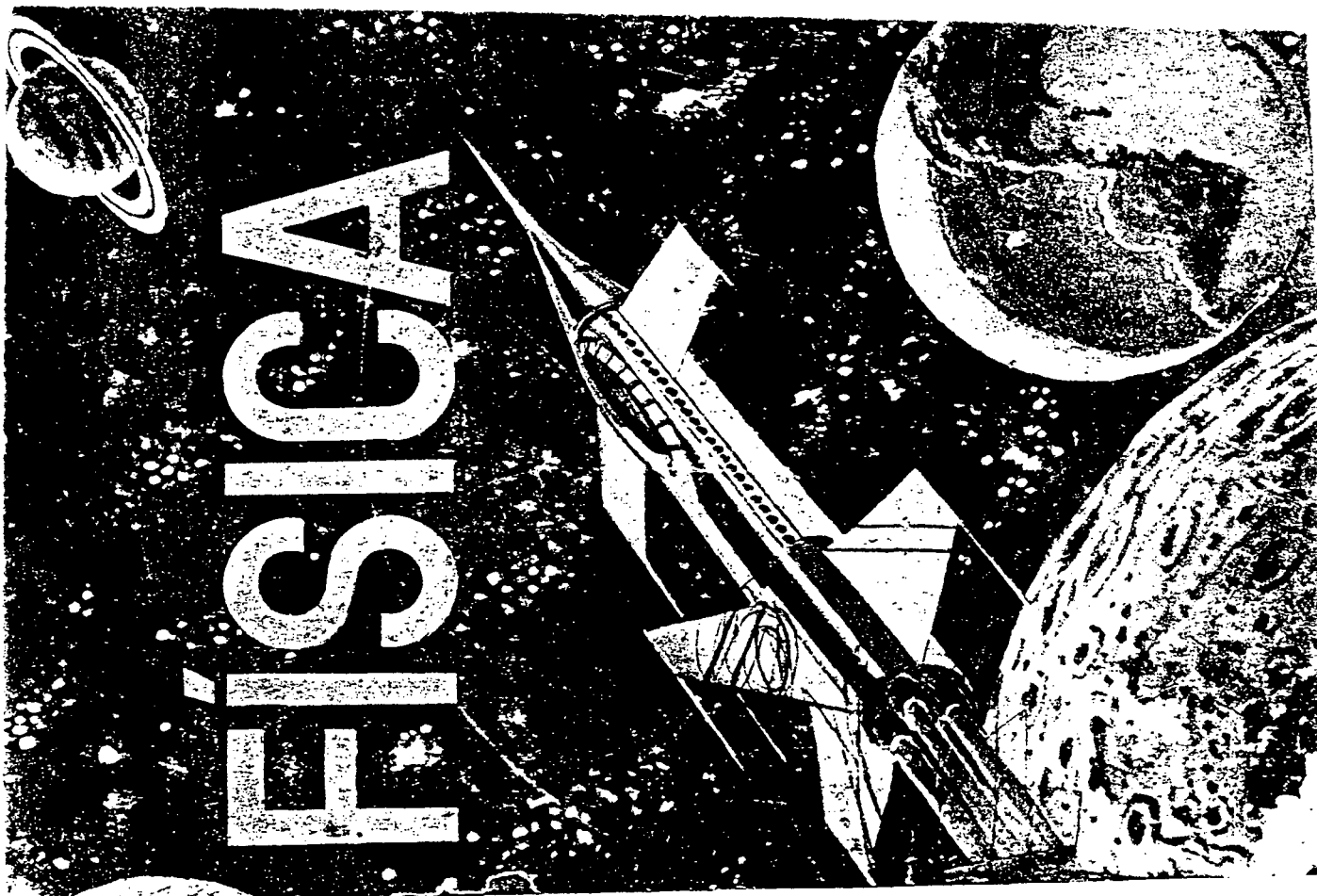
Editora F. T. D., S. A.

Irmãos Maristas

Rua do Lavapés, 1023 - Fones: 37-7928 e 37-4603 - C. P. 30.402

São Paulo (12) - S. P. - Brasil

1966



## INSTRUÇÕES METODOLÓGICAS PARA O ESTUDO DE FÍSICA

1. — a) *Ótica*, definições; teorias; propagação retilínea da luz. b) Sombras e penumbras. c) Fenômenos luminosos na superfície de separação de dois meios; reflexão da luz, suas leis. d) Espelhos planos, aplicações; espelhos esféricos; construção geométrica das imagens, equação dos focos conjugados; aberrações; espelhos parabólicos. e) Refração da luz, suas leis; índice de refração; reflexão total, aplicações. f) Refração nas lâminas de faces paralelas; meios separados por superfícies paralelas, refração atmosférica, miragem; prisma ótico; marcha de um raio luminoso através do prisma; fórmulas do prisma; estudo experimental do desvio; desvio mínimo; lentes, tipos de lentes, centro ótico; lentes convergentes e divergentes, imagens; equação dos focos conjugados, aberrações; convergência das lentes, dioptria, aplicações. g) O olho humano e a visão; instrumentos de ótica: de propagação, de ampliação, de aproximação; fotografia.
2. — a) *Da ótica física*; velocidade da luz, sua determinação experimental. b) Natureza complexa da luz branca, sua decomposição e recomposição; radiações monocromáticas, espectro das radiações; espectroscopia; cores dos corpos; incandescência. c) Fontes de luz, iluminamento; fotometria.
3. — a) Fenômenos de difração. b) Interferências luminosas, franjas de interferências, análise de Newton. c) Dupla refração; nicóis. d) Imagem mecânica dos fenômenos de polarização; polarizadores e analisadores; polarização pela reflexão, polarização cromática e rotatória. e) Polarimetria.
4. — a) Manifestações da *eletricidade*: massas elétricas, atrações e repulsões elétricas; corpos condutores e corpos isolantes; duas espécies de eletricidade, fluido neutro, eletroscópio; teorias antigas, teorias modernas, elétrons; lei de Coulomb; quantidade de eletricidade; distribuição de eletricidade sobre os corpos; poder das pontas; fenômenos de influência; máquinas eletrostáticas. b) Campo elétrico, sua representação, linhas de força; campo uniforme, fluxo e força, potencial, sua medida; diferença de potencial, analogia hidráulica. c) Indução eletrostática. d) Capacidade, farad; condensadores, grupamento de condensadores, descargas de condensadores.
5. — a) *Ímãs*: pólos de um ímã; massa magnética; lei de Coulomb. b) Campo magnético, linhas de força, intensidade, fluxo magnético; momento magnético; indução magnética; permeabilidade magnética, substâncias paramagnéticas e diamagnéticas. c) Campo magnético terrestre; bússolas.
6. — a) *Corrente elétrica*, caracteres gerais; analogia hidráulica. b) Quantidade de eletricidade, coulomb; intensidade da corrente, ampère; diferença de potencial, volt; energia elétrica, trabalho e potência; resistência elétrica, analogia hidráulica; resistividade, ohm; variações da resistência elétrica, coeficiente de temperatura, condutância, condutividade. c) Lei de Ohm: queda da tensão em um condutor, analogia hidráulica; grupamento de resistências; distinção entre força eletromotriz e diferença de potencial; resistência interna de um gerador; lei de Pouillet; rendimento elétrico e rendimento industrial de um gerador; receptores. d) Efeitos térmicos da corrente; lei de Joule; potência elé-

## PROGRAMA DE FÍSICA DO 3.º CIENTÍFICO

1. Propagação retilínea da luz. Sombras. Reflexão da luz. Espelhos planos e curvos. Refração da luz. Lâminas, prismas e lentes. Instrumentos de ótica.
2. Estudo físico da luz. Velocidade da luz. Energia radiante. Espectros das radiações. Espectroscopia. Fotometria.
3. Difração. Interferência luminosa. Dupla refração. Polarização da luz. Polarimetria.
4. Carga elétrica. Campo elétrico. Indução eletrostática. Condensadores.
5. Massas magnéticas. Campo magnético; Magnetismo terrestre.
6. Corrente elétrica. Grandezas características. Lei de Ohm. Efeitos térmicos da corrente elétrica. Efeitos químicos. Pilhas e acumuladores. Correntes derivadas. Medida das resistências. Circuito de corrente contínua.
7. Campo magnético das correntes elétricas. Solenóides e eletroímãs. Ação recíproca de correntes e ímãs. Indução eletromagnética. Geradores e motores de corrente contínua.
8. Noções sobre correntes alternadas. Geradores e motores de corrente alternada, Transformadores. Noções sobre oscilações elétricas, Ondas eletromagnéticas.
9. Condução da eletricidade através dos gases. Raio X. Efeitos termoiônico e fotoelétrico. A radioatividade. Noções sobre a constituição da matéria. Teorias modernas da física.

# ÍNDICE

trica transformada em calor, produção de aquecimento elétrico, aplicações; efeitos Peltier e Thompson, ou de Lord Kelvin; termoelectricidade, pilhas termoelétricas; aplicações da termoelectricidade na determinação da temperatura. *e*) Efeitos químicos; eletrólise da água, voltímetro; leis da eletrólise, aplicações. *f*) Geradores químicos: pilhas, suas substituições; polarização, despolarizantes; considerações gerais sobre as pilhas, agrupamento: acumuladores. *g*) Correntes derivadas: leis de Kirchhoff, aplicações. *h*) Medidas das resistências.

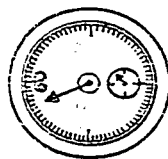
7. — *a*) Experiência de Oersted; sentido da corrente, regra de Ampère; campo magnético das correntes elétricas. *b*) Solenóide, seu campo magnético, regra de Maxwell; força magnetomotriz e relutância, circuitos magnéticos, eletroímãs; indução magnética de um eletroímã; ciclo de imantação, histerese: classificação geral dos corpos de um eletroímã; aplicação dos eletroímãs. *c*) Ação recíproca de corrente e ímãs. *d*) Indução eletromagnética, correntes de indução; força eletromotriz de indução; indução pelas correntes, auto-indução; sentido da corrente, regras práticas; bobina de indução; correntes de Foucault; telefonia. *e*) Máquinas geradoras de corrente contínua; teoria elementar do dínamo, excitação; rendimento. *f*) Sistemas de unidades elétricas, magnéticas e eletromagnéticas, C. G. S. (eletrostático e eletromagnético) e eletroprático.

8. — *a*) Generalidades sobre as correntes alternativas, características das correntes alternativas simples; intensidade eficaz e força eletromotriz eficaz; potência da corrente alternativa, propriedades. *b*) Princípios dos alternadores, motores de corrente alternativa, sua classificação. *c*) Conversão da corrente alternativa em corrente contínua; conversores; transformadores, princípio em que se fundam; uso dos transformadores. *d*) Oscilações elétricas, analogia hidrodinâmica; descarga oscilante, oscilador de Hertz. *e*) Ondas eletromagnéticas; produção, velocidade de propagação, comprimentos de ondas; radiocomunicação, seu estado atual. *f*) Efeito termoiônico; válvula de três eletrodos, radiotelegrafia, radiotelefonía, televisão, radiogoniometria; correntes de alta frequência, suas aplicações.

9. — *a*) Descarga elétrica, condições que determinam a produção de uma descarga elétrica entre dois condutores; descargas elétricas nos gases rarefeitos; tubos de gases rarefeitos; raios catódicos, suas propriedades; determinação dos caracteres dos elétrons; aplicação dos raios catódicos; raios positivos. *b*) Raios X, suas propriedades; radioscopia e radiografia; aplicações dos raios X; raios canais. *c*) Efeito fotoelétrico, leis relativas à sua emissão; células fotoelétricas, seu emprego; propriedades da corrente fotoelétrica. *d*) Radioatividade, sua descoberta; raios das substâncias radioativas; corpos radioativos. *e*) Noções sobre a constituição da matéria: próton, nêutron. *f*) As teorias modernas da física.

Todas as vezes que o curso comportar a presença dos alunos no gabinete de física em horas extracurriculares, ser-lhes-á facultado o uso de aparelhos, bem como a execução dos seguintes trabalhos:

- a*) determinação da distância focal de um espelho côncavo-esférico;
- b*) determinação de um índice de refração;
- c*) distância focal de uma lente;
- d*) revelação e impressão fotográficas;
- e*) prática com o microscópio;
- f*) prática com o espectroscópio;
- g*) comparação de intensidades luminosas;
- h*) prática com a bússola;
- i*) montagem e associação de pilhas;
- j*) medida de uma resistência elétrica.



Homenagem ao Prof. Imão Mário Marciano .....	V
Prohusão .....	VI
Pródromo .....	VII
Programa .....	VIII
Instruções metodológicas para o estudo de Física .....	IX
Numeração .....	XI

## I) Fotologia

### a) Ótica geométrica

1. Propagação retilínea da luz. Giologia .....	1
2. Reflexão da luz .....	37
3. Espelhos planos .....	47
4. Espelhos esféricos .....	81
5. Refração da luz .....	101
6. Prisma .....	114
7. Lentes .....	192
8. Instrumentos de ótica .....	150
9. Ótica da visão .....	180

### b) Ótica física

10. Natureza ondulatória da luz. Velocidade .....	200
11. Radiações monocromáticas. Espectros .....	212
12. Interferências luminosas .....	227
13. Polarização da luz .....	241
14. Fotometria .....	251

## II) Eletrologia

### a) Eletrostática

15. Força. Carga. Campo eletrostático .....	265
16. Potencial eletrostático .....	280
17. Indução eletrostática. Capacidade .....	285
18. Condensadores .....	294



b) *Magnetismo*

19. Magnetismo .....	315
----------------------	-----

c) *Eletrocinética*

20. Corrente elétrica: generalidades .....	335
21. Unidades elétricas. Lei de Ohm .....	353
22. Efeitos térmicos .....	365
23. Efeitos químicos .....	377
24. Geradores químicos .....	388
25. Associação de geradores e receptores .....	497
26. Circuitos derivados. Medições de resistências .....	407
27. Leis de Kirchhoff .....	419

d) *Eletrodinâmica ou Eletromagnetismo*

28. Campo magnético das correntes .....	427
29. Indução eletromagnética .....	451
30. Geradores mecânicos de corrente contínua .....	459
31. Unidades elétricas .....	469
32. Correntes alternadas .....	475
33. Oscilações elétricas. Ondas eletromagnéticas .....	499
34. Descarga elétrica .....	618
Sistema Internacional de unidades .....	572
Unidades do sistema S I .....	575
Grandezas MKSA racionalizadas .....	577
Definições legais .....	578
Prefixos dos múltiplos e submúltiplos internacionais .....	579
Comentário relativo às diferentes unidades .....	580
Alfabeto grego .....	583
A. electricidade no século XX .....	684
Peixes elétricos .....	586
Ciclorama .....	589
Frequencímetro .....	590
Diversas tabelas .....	592
Epllogo .....	602



Fig. 5.

## 7. — Magnetização pela ação da Terra

Como o ímã, a Terra é capaz de magnetizar o ferro ou o aço; mas sua ação é fraca.

Por exemplo, uma barra de ferro macio, mantida na direção da agulha de declinação, adquire logo certo magnetismo devido à influência da Terra, mas desaparece quando a barra muda de direção, particularmente quando toma direção perpendicular.

Pode-se conservar o magnetismo de barra de ferro, martelando-a, comprimindo-a, torcendo-a (de modo especial nas pontas) enquanto essa barra fica na direção da agulha de declinação.

Nas mesmas condições, o aço leva muito tempo para se magnetizar, por ter bastante força coerciva; conserva, porém, a magnetização que adquire pela influência da Terra.

É deste modo que vários instrumentos de aço, como linhas, adquirem espontaneamente sensível magnetismo.

## 8. — Noção de massa magnética

Quando dois polos de dois ímãs produzem, nas mesmas condições, a mesma atração ou a mesma repulsão sobre o polo norte de uma agulha imantada, dizem-se que têm massas magnéticas iguais.

Se um deles produz atração e o outro repulsão, dizemos que as massas magnéticas são iguais e contrárias. Se um produz maior atração ou repulsão, tem maior massa magnética, etc. Logo, as massas magnéticas são quantidades que se medem por meio das forças de atração ou repulsão produzidas.

## (CAMPO MAGNÉTICO)

## 9. — Campo magnético

O campo magnético de um polo é a porção do espaço onde esse polo exerce sua ação atrativa ou repulsiva sobre o ferro. Pode-se

Mas se aproximarmos, da extremidade dessa barra, o polo de um ímã (um polo norte, por exemplo), o efeito imediato será que certo número das moléculas magnéticas, no interior da barra, irão orientar-se de modo a facilitar a passagem do fluxo magnético que sai do polo norte do ímã (fig. 4, 2). As faces sul dessas ímãs moleculares serão viradas para o polo norte do ímã indutor e as faces norte para o lado oposto, de modo que a barra terá um polo sul em frente ao polo norte do ímã e um polo norte na extremidade oposta.

Nesta teoria, a força coerciva seria a resistência que opõem as moléculas magnéticas para se orientarem e, orientadas que forem, para tomarem do novo posição sem ordem magnética.

Afastando-se o polo norte do ímã, a barra de ferro perde sua magnetização porque a orientação de suas moléculas se desfaz logo e completamente.

No aço magnetizado, uma temperatura de uns 800°C destrói igualmente toda a orientação das moléculas magnéticas e faz cessar a magnetização.

A saturação magnética é o fato pelo qual uma barra não pode magnetizar-se acima de certo limite. A teoria molecular do magnetismo explica esse fenômeno da saturação, admitindo-se que todas as moléculas magnéticas da barra saturada estão completamente orientadas (fig. 4); então, qualquer trabalho de maior magnetização é improficuo, pois que não há mais moléculas magnéticas a acrescentar às que já estão orientadas na barra saturada.

## 5. — Magnetização

Magnetizar (imanizar ou imantar) consiste em comunicar as propriedades magnéticas, principalmente ao ferro ou ao aço.

Fôrça coerciva é a resistência que o aço e outros corpos magnéticos opõem à sua magnetização instantânea sob a influência de um ímã e à sua desmagnetização depois que foram magnetizados.

No aço, a fôrça coerciva cresce com a intensidade da temperatura. A oxidação, a torção, as pressões, a martelagem dão fôrça coerciva ao ferro macio.

É a magnetização que produz todos os ímãs artificiais; realiza-se pela ação de outros ímãs, pela ação da Terra ou pela ação das correntes elétricas; este último processo produz os ímãs mais poderosos e mais perfeitos.

A magnetização do aço pela ação de outros ímãs é temporária por simples contato e permanente pelos processos de fricção.

## 6. — Magnetização do aço por fricção

O aço magnetiza-se mais facilmente que o ferro macio; mas, uma vez magnetizado, conserva a magnetização durante muito tempo.

examinar um campo magnético como segue:

1.º Quando se aproxima de um ímã uma pequena agulha magnética, esta toma direções variadas conforme o ponto do proximidade do ímã, que ocupar (fig. 6).

2.º Coloquemos uma fôlha do papel rígido sobre um ímã reto (fig. 7) e peneiremos devagar um pouco do limalha do ferro acima da fôlha. Sacudindo levemente a fôlha, a limalha dispõe-se ao redor dos pólos o forma o que se chama *espectro magnético*. Cada grãozinho do limalha, magnetizado por influência, comporta-se como se fosse minúscula agulha magnética e orienta-se. Por isso, a limalha desceba curvas numerosas e apontadas junto dos pólos, mas o apontadas junto dos pólos, *N* e *S*, menos numerosas e espaçadas na zona neutra, *m*.

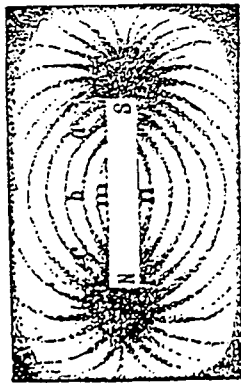


Fig. 7. — Espectro magnético de um ímã.

Essas curvas manifestam as *linhas de força*. Num campo magnético, *uma linha de força* é a trajetória *abc* que a unidade de massa magnética norte, suposta isolada da massa sul o abandonada em qualquer parte do campo, percorreria sob a ação das forças deste campo.

Por convenção, no exterior de um ímã, as *linhas de força dirigem-se do pólo norte para o pólo sul*; depois, entram de novo no ímã pelo pólo sul, percorrem-no e saem outra vez pelo pólo norte, para recommear o mesmo ciclo.

A totalidade das linhas de força que percorrem um ímã e passam por um pólo, chama-se *fluxo magnético* desse ímã.

Colocando-se uma pequena agulha magnética móvel em vários pontos de um campo magnético, ela tomará sempre uma direção tangente às *linhas de força* (fig. 6).

## 10. — Lei de Coulomb

Servindo-se da balança de torção, Coulomb verificou que a ação mútua de dois pólos magnéticos obedece à mesma lei que a das massas gravificas ou elétricas:

A *força de atração ou de repulsão que se exerce entre dois pólos magnéticos é proporcional às massas magnéticas e inversamente pro-*

porcional ao quadrado de sua distância. Se *m* e *m'* designam as quantidades do magnetismo que agem uma sobre a outra e *r* sua distância em centímetros, a força, em dinas, tem por expressão

$$f = \frac{mm'}{r^2}$$

Esta fórmula é verdadeira em sinal, considerando-se a repulsão, positiva e a atração, negativa.

O coeficiente  $\mu$ , chamado *permeabilidade magnética*, depende da natureza do meio, suposto homogêneo e indefinido em que se acham colocadas as quantidades de magnetismo. No vácuo, vale 1; no ar vale 1,000.000.4, isto é, sensivelmente 1.

*Experiência.* — Verifica-se a lei de Coulomb pela balança magnética (fig. 8). O ímã *NS* é fixo; o ímã *N'S'*, móvel num plano vertical em torno de *O*, é a balança. Mantém-se horizontal, apesar da repulsão experimentada por *N'*, deslocando-se convenientemente a sobrecarga conhecida *p* ao longo do braço *OS'*. De  $f = pa$ , tira-se o valor de *f*, em dinas ou grammas-pêso. Faz-se variar a distância elevando ou abaixando *NS*.

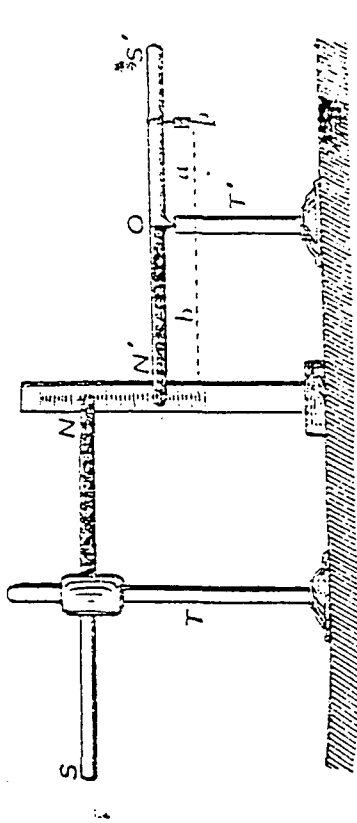


Fig. 8.

## 11. — Unidade de massa magnética

Com a lei de Coulomb, a *unidade de magnetismo* é a quantidade de magnetismo que, colocada a 1 cm de quantidade igual, no vácuo, a repele com força igual a 1 dina. Chama-se unidade de magnetismo, abreviadamente u. e. m. C. G. S.

Essa unidade é ponto de partida, como veremos, de um sistema coerente de unidades elétricas, o sistema das unidades electromag-

néticas, distinto do sistema das unidades eléctricas que já conhecemos. Veremos também mais tarde a relação que existe entre os dois sistemas.

12. — Medida das massas magnéticas

Para medir as massas magnéticas  $m_1$  e  $m_2$  de dois finâs, procura-se, experimentalmente, o valor do seu quociente ou razão  $R = m_1/m_2$  e o de seu produto  $P = m_1 m_2$ . Essas duas equações fornecem os valores

$$m_1 = \sqrt{PR} \quad \text{e} \quad m_2 = \sqrt{P/R}$$

*Experiência.* — Para determinar a razão  $R = m_1/m_2$ , coloca-se uma pequena agulha imanada (bússola ou magnetómetro) entre dois pólos de mesmo nome dos finâs para estudar (fig. 9), a distâncias  $d_1$  e  $d_2$  dos pólos, do modo que a agulha permaneça na direcção do meridiano magnético. Seja  $m$  a massa magnética da bússola; teremos, então

$$\frac{mm_1}{d_1^2} = \frac{mm_2}{d_2^2} \quad \text{donde tiramos} \quad R = \frac{m_1}{m_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \quad (1)$$

Para determinar o produto  $P = m_1 m_2$ , coloca-se um dos finâs num dos pratos de uma balança sensível (fig. 10), e equilibra-se com tara no outro prato. Coloca-se depois o outro finâ em cima do primeiro, a uma distância determi-

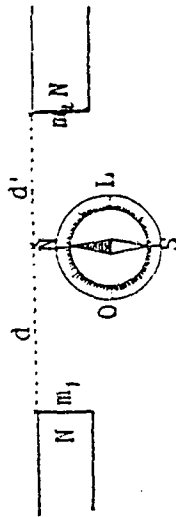


Fig. 9. — Avaliação de R.

nada  $d$  entre os pólos  $NN'$  em presença. Se  $d$  for bastante pequeno e os finâs bastante compridos, as ações de  $S'$  sobre  $N$  e  $S$ , assim como a ação de  $N'$  sobre  $S$  poderão ser desprezíveis, ficando apenas a repulsão entre  $N$  e  $N'$ . A força repulsiva  $f$  é igual ao peso acrescentado à tara para restabelecer o equilíbrio. Se

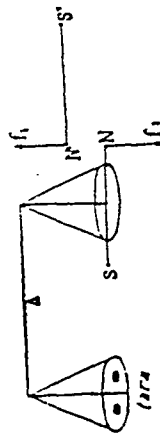


Fig. 10. — Avaliação de P.

$$p = \frac{mm_2}{d^2}; \quad \text{dando,} \quad P = mm_1 = pd^2 \quad (2)$$

De (1) e de (2) tiramos finalmente

$$m_1 = \frac{dd_1}{d_2} \sqrt{p} \quad \text{e} \quad m_2 = \frac{dd_2}{d_1} \sqrt{p}$$

13. — Intensidade do campo magnético

*Intensidade do campo magnético, num ponto P, é a ação magnética exercida pelo campo sobre a unidade de massa magnética norte colocada nesse ponto.* Segundo a lei de Coulomb, tem-se, no vácuo ou no ar.

$$H = \frac{m}{d^2}$$

em que  $H$ , intensidade do campo, exprime em dinas a ação da massa magnética  $m$  sobre a unidade polar positiva colocada a distância  $d$ .

A unidade de campo magnético é o gauss: intensidade de um campo magnético que exerce a ação de 1 dina sobre a unidade polar positiva a 1 centímetro de distância.

Com essa noção, a lei de Coulomb, num meio do permeabilidade  $\mu$ , se traduz por

$$f = \mu H \text{ dinas}$$

A intensidade  $H$  representa-se graficamente por um vetor e designa o número de linhas de força que atravessam normalmente 1 cm<sup>2</sup> de superfície do campo.

O campo é uniforme quando, em todos os seus pontos, a intensidade é constante em grandeza e em direção; nesse caso, as linhas de força são paralelas e equidistantes. Exemplo do campo aproximadamente uniforme é o espaço compreendido entre as extremidades de um finâ em forma de U.

Eis os valores de alguns campos magnéticos:

Componente horizontal do campo terrestre .....	0,2 gauss
Entre os ramos de um finâ em U .....	1.000 gauss
No entreferro de um dínamo .....	15.000 gauss
Entre os pólos de poderoso electro-finâ .....	20.000 gauss

## **ANEXO 5**

- DESCRIÇÃO DO CONTEÚDO PROGRAMÁTICO NO CURSO COLEGIAL NOS ANOS 60/70.
- DESTAQUE PARA AS FIGURAS E DESCRIÇÃO DE EXPERIÊNCIAS.

*Tom. 2*

ANTÔNIO DE SOUZA TEIXEIRA JUNIOR

# FÍSICA

CURSO COLEGIAL

SEGUNDO VOLUME



EDITORA DO BRASIL S/A.  
SAO PAULO - Rua Conselheiro Nébias, N.º 887  
Belém - Fortaleza - Recife - Salvador - Rio de Janeiro  
B. Horizonte - Goiânia - Curitiba - Florianópolis - P. Alegre

1966

# FÍSICA

EDITORA DO BRASIL S/A

	Pág.		Pág.
Kelvin (Biografia) .....	11	58 — Emissão e absorção da radiação térmica .....	100
Capítulo I		59 — Radiômetro .....	102
O CALOR E SEUS EFEITOS		60 — Garrafa-termo .....	103
I, 1 — AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA		Exercícios .....	103
1 — Temperatura .....	13	Questionário .....	103
2 — Medição da Temperatura — Escalas Termométricas .....	13	Clausius (Biografia) .....	105
3 — Escolha da Substância Termométrica .....	14	Capítulo IV	
4 — Escalas usuais .....	15	MUDANÇAS DE ESTADO E HIGROMETRIA.	
5 — Mudança de escala termométrica .....	17	IV, 1 — MUDANÇAS DE ESTADO E SUAS LEIS	
6 — Deslocamento do zero .....	18	61 — Estado físico .....	107
7 — Sensibilidade dos termômetros .....	19	62 — Calor latente e calor sensível .....	107
8 — Comparação dos termômetros de mercurio .....	19	63 — Fusão e Solidificação .....	110
9 — Termômetro normal .....	19	64 — Influência da pressão sobre a fusão .....	112
10 — Termômetros diversos .....	20	65 — Sobre-fusão .....	113
11 — Medida das altas temperaturas .....	20	66 — Calor de fusão .....	114
12 — Ordem de grandeza de algumas temperaturas .....	22	67 — Tipos de fusão .....	115
I, 2 — DILATAÇÃO DOS SÓLIDOS E LÍQUIDOS		68 — Vaporização .....	115
13 — Dilatação dos sólidos .....	23	69 — Ebulição .....	121
14 — Estudo experimental da dilatação .....	24	70 — Leis da ebulição .....	122
15 — Dilatação linear .....	26	71 — Curva das pressões máximas do vapor da água .....	123
16 — Dilatação Superficial .....	27	72 — Pontos de ebulição notáveis .....	124
17 — Dilatação cúbica .....	28	73 — Aplicações e anomalias da ebulição .....	124
18 — Variação da densidade com a temperatura .....	29	74 — Experiências relativas à vaporização .....	125
19 — Dilatação dos líquidos .....	31	75 — Calor de vaporização .....	127
I, 3 — DILATAÇÃO DOS GASES		76 — Calor de fusão .....	129
20 — Determinação do coeficiente absoluta dos líquidos .....	33	77 — Liquefação .....	130
21 — Aplicações da dilatação .....	35	78 — Isotermias .....	131
22 — Dilatação irregular da água. Experiência de Hoop .....	38	79 — Liquefação do ar — Método de Linde .....	132
I, 4 — TEORIA CINÉTICA DOS GASES		80 — Solidificação dos gases .....	133
39 — Teoria cinética dos gases .....	52	81 — Produção industrial do frio .....	133
40 — Caminho livre médio .....	55	82 — Sublimação .....	134
Exercícios .....	57	83 — Ponto triplo .....	134
Questionário .....	63	84 — Destilação .....	135
Gay — Lussac (Biografia) .....	65	85 — Problemas .....	135
Capítulo II		IV, 2 — HIGROMETRIA.	
CALORIMETRIA		85 — Vapor d'água na atmosfera .....	139
41 — Calorimetria .....	67		
42 — Unidades de calor .....	69		
43 — Calor específico e capacidade térmica .....	69		
44 — Lei de Dulong e Petit .....	72		
45 — Determinação do calor específico de sólidos e líquidos .....	72		
46 — Calor específico dos gases .....	78		
47 — Aplicação da calorimetria .....	80		
Exercícios .....	80		
Questionário .....	80		
Wien (Biografia) .....	83		
Capítulo III			
PROPAGAÇÃO DO CALOR.			
48 — Introdução .....	85		
49 — Propagação do calor nos sólidos .....	85		
50 — Condutibilidade através de chapas .....	86		
51 — Aplicações da condutibilidade .....	88		
52 — Condução do calor nos líquidos — convecção .....	89		
53 — Aplicações .....	90		
54 — Radiação. Corpo negro .....	93		
55 — Calor luminoso e calor obscuro .....	95		
56 — Reflexão da energia radiante .....	96		
57 — Corpos diatérmicos e atérmicos .....	97		

86 — Ponto de orvalho. Fenômenos meteorológicos .....	140				
87 — Importância do estado higrométrico .....	141				
88 — Higrômetros .....	141				
89 — Homogeneidade .....	146				
90 — Fase .....	146				
91 — Dissolução .....	147				
92 — Corpos solúveis e insolúveis .....	147				
93 — Saturação .....	147				
94 — Coeficiente e curva de solubilidade .....	148				
95 — Supersaturação .....	148				
96 — Título e concentração das soluções ..	149				
97 — Calor de dissolução ..	149				
98 — Abaixamento do ponto de congelação. Ponto de eutexia ..	150				
99 — Criometria .....	150				
100 — Pseudo — Soluções ..	150				
101 — Soluções coloidais ..	150				
101 — Misturas frigoríficas .....	151				
Questionário .....	153				
Vander Waals (Biografia) ..	155				
Capítulo V					
GASES REAIS					
102 — Equação de estado Sadi Carnot (Biografia) ..	157				
102 — Equação de estado Sadi Carnot (Biografia) ..	161				
Capítulo VI					
VI, 1 — Os PRINCÍPIOS DA TERMODINÂMICA.					
103 — Introdução .....	163				
104 — Termodinâmica .....	163				
105 — Transformações .....	164				
106 — Transformação de calor em trabalho — 1.º Princípio da Termodinâmica .....	167				
107 — Equivalente mecânico da caloría .....	168				
108 — Determinação experimental do equivalente .....	169				
109 — Energia de um sistema .....	171				
110 — 2.º Princípios da Termodinâmica .....	173				
VI, 2 — MAQUINAS TERMICAS.					
111 — Introdução .....	174				
112 — Máquinas térmicas. Rendimento .....	174				
113 — Máquina a vapor ..	174				
114 — Ciclo de Ran Kine ..	179				
115 — Refrigerador .....	180				
116 — Ciclo de Carnot .....	182				
117 — Interêsse do ciclo de Carnot .....	184				
118 — Entropia .....	185				
119 — Princípio do Aumento de Entropia ..	187				
120 — Motor de Explosão ..	187				
121 — Motor de Explosão a dois tempos .....	189				
122 — Motor Diesel .....	191				
123 — Turbinas a vapor .....	191				
124 — Turbinas a gás .....	192				
125 — Motores a jacto .....	193				
125 — Exercícios .....	196				
125 — Questionário .....	197				
Fresnel (Biografia) .....	199				
Capítulo VII					
MOVIMENTO VIBRATORIO.					
VII, 1 — MOVIMENTO VIBRATORIO.					
126 — Movimento vibratório .....	201				
127 — Movimento periódico. Período, amplitude e elongação ..	203				
128 — Movimento harmônico simples. Fase, período e frequência ..	206				
129 — Experiências sobre registro de vibrações ..	209				
130 — Equações do movimento harmônico ..	210				
131 — Dinâmica do movimento harmônico ..	214				
132 — Composição de vibrações .....	217				
133 — Movimentos de mesmo período sobre o mesmo eixo .....	217				
135 — Movimentos sobre eixos ortogonais ..	224				
135 — Movimentos sobre eixos ortogonais ..	224				
136 — Movimentos harmônicos de mesmo período sobre eixos ortogonais ..	225				
137 — Movimentos harmônicos de períodos diferentes, sobre o mesmo eixo ..	221				
138 — Movimentos sobre eixos ortogonais ..	224				
139 — Movimentos harmônicos de mesmo período sobre eixos ortogonais ..	225				
140 — Movimentos harmônicos de períodos diferentes sobre eixos ortogonais ..	230				
141 — Movimento vibratório ..	232				
142 — Método óptico .....	233				
143 — Oscilações amortecidas entre retidas .....	234				
144 — Composição de movimento harmônico com os movimentos retilíneo uniforme e circular uniforme ..	235				
145 — Energia do movimento vibratório ..	235				
VII, 2 — PROPAGAÇÃO ONDULATORIA.					
146 — Movimento ondulatório .....	237				
147 — Frente de onda. Vibrações longitudinais e transversais ..	239				
148 — Propagação do movimento vibratório. Equação de onda ..	240				
149 — Relações analíticas entre as grandezas do movimento ondulatório .....	243				
150 — Superposição de ondas. Interferência. Ondas estacionárias, reflexão de ondas ..	244				
151 — Experiências ..	217				
152 — Estudo analítico ..	218				
153 — Movimentos de períodos diferentes, sobre o mesmo eixo ..	221				
154 — Movimentos sobre eixos ortogonais ..	224				
155 — Movimentos harmônicos de mesmo período sobre eixos ortogonais ..	225				
156 — Movimentos harmônicos de períodos diferentes sobre eixos ortogonais ..	230				
157 — Registro gráfico do movimento vibratório ..	232				
158 — Método óptico .....	233				
159 — Oscilações amortecidas entre retidas .....	234				
160 — Composição de movimento harmônico com os movimentos retilíneo uniforme e circular uniforme ..	235				
161 — Energia do movimento vibratório ..	235				
VII, 2 — PROPAGAÇÃO ONDULATORIA.					
162 — Movimento ondulatório .....	237				
163 — Frente de onda. Vibrações longitudinais e transversais ..	239				
164 — Propagação do movimento vibratório. Equação de onda ..	240				
165 — Relações analíticas entre as grandezas do movimento ondulatório .....	243				
166 — Superposição de ondas. Interferência. Ondas estacionárias, reflexão de ondas ..	244				
167 — Duas ou mais ondas, todas transversais ou todas longitudinais polarizadas no mesmo plano, do mesmo período, com o mesmo eixo de propagação .....	245				
168 — Batimentos .....	247				
169 — Ondas propagando-se em sentidos opostos. Ondas estacionárias .....	250				
170 — Duas ondas propagando-se segundo eixos ortogonais, de mesmo período .....	255				
171 — Ressonância, suas condições .....	256				
172 — Exercícios .....	259				
173 — Questionário .....	262				
174 — Helmholtz (Biografia) ..	263				
Capítulo VIII					
VIII, 1 — NATUREZA, PROPAGAÇÃO E VELOCIDADE DO SOM.					
175 — Natureza e propagação do som .....	265				
176 — Mecanismo da propagação .....	265				
177 — Infra-sons e ultra-sons .....	266				
178 — Superfície de onda. Princípio de Huygens .....	267				
179 — Propagação do som através dos diferentes meios materiais ..	268				
180 — Velocidade do som ..	269				
181 — Determinação da velocidade do som ..	271				
182 — Efeito Doppler-Fizeau .....	273				
VIII, 2 — REFLEXÃO, REFRAÇÃO E INTERFERÊNCIA.					
183 — Reflexão do som ..	278				
184 — Eco .....	280				



161 — Refração do som ..	Pág. 281	180 — Síntese de um som	Pág. 307
162 — Interferência .....	284	181 — Aparêlho auditivo do homem .....	307
163 — Ressonância .....	286	VIII, 5 — FONTES SONORAS.	
VIII, 3 — QUALIDADES DO SOM.			
164 — Qualidades do som	288	182 — Fontes Sonoras ..	310
165 — Altura .....	288	183 — Cordas vibrantes ..	310
166 — Determinação da altura do som .....	288	184 — Fórmula de Lagrange. Lei das cordas vibrantes .....	314
167 — Registro e Produção mecânica dos sons. Fonógrafo. Filmes sonoros .....	292	185 — Aplicações das cordas vibrantes .....	316
168 — Intensidade do som; tubo e corneta acústica; porta-voz .....	293	186 — Tubos sonoros .....	316
169 — Relação entre a intensidade e a amplitude .....	294	187 — Leis das vibrações nos tubos sonoros ..	319
170 — Medida da intensidade. Lei de Weber Ferrner .....	295	188 — Relação entre a frequência e o comprimento do tubo .....	320
171 — Bel e decibell .....	296	189 — Aplicação dos tubos sonoros .....	321
172 — Timbre .....	297	190 — Vibrações de placas e membranas .....	321
VIII, 4 — ESCALAS MUSICAIS.			
173 — Intervalo Musical ..	298	191 — Vibração nas varas.	322
Acordes. Som musical e ruído .....	298	192 — Lei das vibrações transversais nas varas .....	323
174 — Intervalo logarítmico .....	299	193 — Diapásão .....	323
175 — Escala musical. Comparação da grandeza dos intervalos .....	299	194 — Aplicações das varas vibrantes .....	323
176 — Sustenidos e Bemóis	302	195 — Determinação da velocidade do som. Experiências de laboratório .....	324
177 — Sons harmônicos ..	303	Exercícios .....	326
178 — Timbre dos sons ..	303	Questionário .....	328
179 — Análise dos sons. Ressonadores .....	305	Bibliografia .....	331



K E L V I N  
1824 - 1907

William Thomson (Lord Kelvin), considerado por muitos como o físico de maior projeção da Grã Bretanha, na segunda metade do século XIX, nasceu em Belfast em 1824, e morreu em Glasgow, em 1907.

Realizou o jovem William Thomson brilhantes estudos secundários em Glasgow, sendo considerado um gênio precoce; aos 15 anos, suas leituras prediletas eram as obras de Lagrange, Poisson, Laplace e a Teoria analítica do Calor, de Fourier.

Aos 17 anos, entrou para a Universidade de Cambridge, terminando, em 1845, seus estudos, tendo se distinguido notavelmente como estudante. Realizou então uma viagem de estudos a Paris, onde conheceu, entre outros, a Liouville, Chasles, Sturm, Cauchy, Biot e Regnault.

Em 1846 assumiu a cátedra de Filosofia Natural da Universidade de Glasgow, com a idade de 22 anos.

Em 1893 foi William Thomson nomeado par da Inglaterra, adotando então o título de Lord Kelvin, nome este de um pequeno rio que atravessa a sua cidade natal. Sua atividade, na Câmara dos Lords, foi muito profícua, ao contrário de Newton, que teve atuação apagada.

Entre outros trabalhos em física, citemos os seguintes, devidos a Kelvin: Escala termodinâmica absoluta de temperatura, Teoria dos fenômenos elétricos, Descarga oscilante, Efeito Thomson, Galvanômetro de Espelho, Fonte de Thomson, Placas e Membranas Vibrantes, Cabo Transatlântico, etc.

## O CALOR E SEUS EFEITOS

### Avaliação da temperatura. Dilatação dos sólidos, líquidos e gases. Gases perfeitos.

#### I, 1 — AVALIAÇÃO DA TEMPERATURA

##### 1. — Temperatura

Dois corpos quaisquer, M e M<sub>1</sub>, podem dar lugar a “sensações” diferentes: Suponhamos que o primeiro nos pareça “quente” e o segundo “frio”. Colocados em contacto, verifica-se, ao fim de certo tempo, que o primeiro está menos quente e o segundo menos frio. Observa-se, além disso, que ao fim de certo tempo os dois corpos darão lugar à mesma sensação de calor e que suas propriedades permanecem constantes (por exemplo, não há variação de volume). Dizemos, então, que os dois corpos estão em *equilíbrio térmico*.

Dizemos que corpos em equilíbrio térmico estão à mesma temperatura e que corpos a diferentes temperaturas não estão em equilíbrio térmico.

##### 2 — Medição da Temperatura — Escalas Termométricas.

Medir a temperatura de um corpo ou de um sistema de corpos, é associar-lhes um número tal que, a corpos em equilíbrio térmico, corresponda sempre um mesmo número e a corpos não em equilíbrio térmico, correspondam números diferentes. Todo conjunto de regras que permita efetuar esta correspondência, chama-se *escala termométrica*.

A medida da temperatura é sempre *indireta*, isto é, medimo-la através de seus efeitos sobre os corpos. Sabe-se, por exemplo, que os corpos, quando aquecidos, aumentam de volume. Daí medir-se a temperatura de um corpo pelo aumento

de seu volume. Chama-se *termômetro* o aparelho que dá a temperatura de um corpo.

3 — *Escolha da Substância Termométrica* — Recorre-se de preferência aos líquidos para construção dos termômetros usuais. Os sólidos se dilatam pouco, mas, por meio de mecanismos apropriados, poderíamos tornar apreciáveis as variações de volume. Eles apresentam, porém, a desvantagem de sofrer modificações moleculares, o que torna a correspondência volume — temperatura não biunívoca (à mesma temperatura, temos volumes diferentes).

Os gases constituem as melhores substâncias termométricas: em virtude de sua grande dilatação, permitem grande sensibilidade nos termômetros. Estes termômetros apresentam, porém, inconvenientes de outra ordem (variação com pressão) de modo que se destinam só às medidas de extrema precisão.

Dentre os líquidos, dá-se preferência ao mercúrio, pelos seguintes motivos:

- 1 — Sua dilatação é bastante regular.
- 2 — É fácil ser obtido puro.
- 3 — É bom condutor de calor.

4 — O mercúrio só se solidifica a — 39°C e entra em ebulição a 358°, o que lhe permite servir para medir temperaturas entre limites distanciados.

O defeito mais grave que apresenta é a sua dilatação (7 vezes maior que a do vidro). Isto faz com que a dilatação do vidro tenha apreciável valor na medida da temperatura, tornando as medidas dependentes do conhecimento da dilatação das diversas espécies de vidro que constituem o termômetro.

Sabe-se que certos fenômenos, como a fusão e a ebulição de corpos puros, dão-se sempre à mesma temperatura, desde que as condições exteriores sejam as mesmas. Daí o motivo de tomar-se para referência a temperatura da fusão do gelo e a do vapor de água em ebulição sob pressão atmosférica de 760mm/Hg, na construção das escalas termométricas.

A estas temperaturas chamaremos “pontos fixos fundamentais” e o intervalo entre as mesmas “intervalo fundamental”.

4 — *Escala usuais.*

As escalas comumente utilizadas são as seguintes:

- 1 — Escala Centígrada ou de Celsius.
- 2 — " Réaumur.
- 3 — " Fahrenheit.

Existe ainda a escala absoluta de temperatura da qual falaremos mais tarde.

1 — *Escala Centígrada ou de Celsius* — Nesta escala o ponto zero corresponde à temperatura da fusão do gelo e o ponto 100 à temperatura d vapor de água em ebulição.

Vejamos como se constrói um termômetro de mercúrio graduado nesta escala.

Para a construção de um termômetro de mercúrio, toma-se um tubo de secção constante, com um reservatório de paredes finas, num extremo (fig. 1). Verifica-se a regularidade da secção do

tubo, pela observação das gotas do mercúrio, no seu interior. O comprimento da gota deve ser o mesmo em qualquer posição (fig. 1). Adapta-se, à extremidade superior do tubo um pequeno funil. Coloca-se mercúrio no mesmo e aquece-se o tubo. O ar, pelo aquecimento, dilata-se e é expulso do tubo, através do mercúrio; resfriando-se o tubo, o mercúrio, encontrando menor pressão do ar interno é impelido, em parte, para dentro do tubo. Repetindo-se a experiência, enche-se por fim completamente

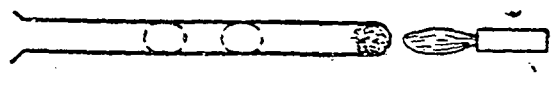


Fig. 1  
reservatório e tubo. Retira-se o funil do tubo e fecha-se a extremidade superior com o maçarico (fig. 1).  
*Graduação* — O zero da escala é obtido mergulhando o tubo (fig. 2), em gelo fundente e marcando com um traço, no

Fig. 2

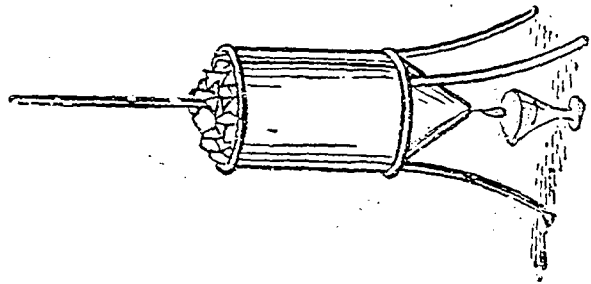


Fig. 2), em gelo fundente e marcando com um traço, no

tubo (fig. 2), em gelo fundente e marcando com um traço, no

mal à variação de temperatura necessária para produzir em certa massa de hidrogênio, uma variação de pressão igual à

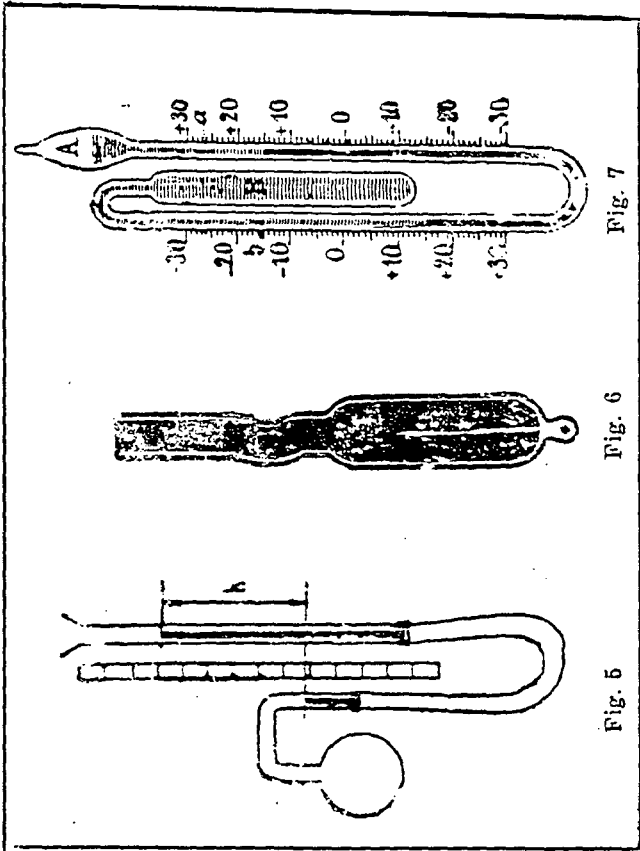


Fig. 5

Fig. 6

Fig. 7

centésima parte da variação de pressão dêsse gás, se ele passasse da temperatura do gelo fundente para a temperatura da água em ebulição, a 760 mm/Hg.”

10 — *Termômetros diversos.*

Conforme o uso a que se destinem, os termômetros assumem tipos diversos, alguns dos quais descreveremos rapidamente.

a) *Termômetros clínicos.* — Destinam-se a medir temperaturas entre 35° e 44°C e por isso possuem escala graduada entre êsses valores, somente. Possuem ainda um estrangulamento na haste, que impede ao mercúrio descer quando a medida da temperatura tiver sido terminada (fig. 6).

b) *Termômetros de máxima e mínima.* — Destinam-se a indicar a maior e a menor temperatura ocorrida em determinado intervalo de tempo.

O termômetro de Six e Bellani (fig. 7) é constituído por um tubo em U, contendo mercúrio na parte inferior. Um dos ramos termina por um reservatório A, que está *parcialmente* cheio de álcool. O outro ramo termina pelo reservatório B, todo cheio de álcool. Aos extremos da coluna de mercúrio são adaptados dois índices de ferro esmaltado.

A temperatura se elevando, a dilatação do álcool e do mercúrio se produz para o lado de A. O álcool passa em torno do índice *b*, sem arrastá-lo, enquanto que o mercúrio levanta o índice *a*. Quando a temperatura baixa, o índice *a* fica na posição em que o mercúrio o deixou, passando o álcool em torno dele. O índice *b* fica suspenso até que a coluna de mercúrio entre em contacto com o mesmo, arrastando-o. A extremidade inferior do índice *a* indica então a temperatura máxima e a de *b* a mínima.

Os índices *a* e *b* são reconduzidos à posição primitiva, ao fim do período de observação, para o contacto com as duas colunas de mercúrio, por meio de um ímã.

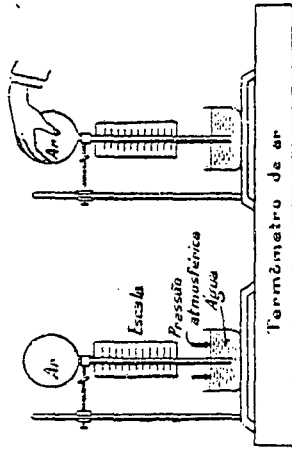


Fig. 8

c) *Termômetro de gás* — Pode-se construir com facilidade um termômetro de gás, da seguinte maneira: Toma-se um bulbo de vidro e solda-se ao mesmo um tubo de vidro; a extremidade do tubo é imersa em água ou noutro líquido qualquer, de preferência colorido. O aparelho é ajustado de maneira tal que o líquido suba até a parte média do tubo, de início. Quando a temperatura sobe, o ar do tubo se dilata, comprime o líquido interno ao tubo e êle desce. O nível do líquido pode então indicar a temperatura. Este termômetro possui grande sensibilidade, indicando leves variações de temperatura (fig. 8).

1) — Cada corpo se funde (solidifica) a uma temperatura determinada, chamada temperatura de fusão (solidificação) que varia muito pouco com a pressão; a temperatura de fusão (solidificação) é aquela mesma à qual o líquido se solidifica (fundido).

2) — Durante a fusão (solidificação), a temperatura permanece constante.

O calor fornecido (cedido) é empregado no trabalho interno de desmantelamento (recomposição) molecular.

Exemplos de alguns pontos de fusão em °C:

Alcool etílico .....	114
Alumínio .....	658
Antimônio .....	630
Aço .....	1350
Chumbo .....	327
Cera .....	64
Enxôfre .....	119
Estanho .....	232
Fósforo .....	44
Ferro .....	1530
Gêlo .....	0
Iridio .....	2350
Mercúrio .....	— 39
Nitrogênio .....	— 210
Oxigênio .....	— 219
Oxido de magnésio .....	2800
Platina .....	1770
Prata .....	960
Zinco .....	420

64 — *Influência da pressão sobre a fusão.*

Para variações de pressão muito grandes, temos a seguinte lei de Clapeyron:

$$\Delta T = \frac{\Delta P}{J} \cdot T \left( \frac{s - o}{r} \right)$$

- J — equivalente mecânico da caloria = 0,239 joule.
- s — volume específico do líquido.
- o — " " " sólido.
- r — calor de fusão.
- $\Delta P$  — aumento de pressão.
- T — ponto de fusão.
- $\Delta T$  — variação do ponto de fusão.

Temos que "em geral o aumento de pressão faz descer o ponto de fusão, para os corpos que se contraem na passagem de

sólido a líquido". Isto ocorre com o gelo; este, ao se fundir, diminui de volume; vice-versa, a água ao se solidificar aumenta de volume.

A densidade do gelo a  $0^\circ$  é 0,918; a da água à mesma temperatura é 0,9998.

Fato análogo ocorre com o bismuto e a prata.

A quasi totalidade das substâncias, como o ouro, o enxofre, o cobre, etc., se contraem na solidificação.

*Experiências* — Tome um pouco de gelo, e comprima o mesmo com a mão. Verifique a formação imediata de água, por influência da compressão. Quando a pessoa anda sobre a neve, forma-se uma crosta de gelo em torno dos sapatos.

A experiência seguinte, conhecida pelo nome de regêlo, pode ser feita e demanda algum tempo: tome um bloco de gelo, entre duas tábuas, como indica a figura 67 e coloque sobre o mesmo um barbante, que sustenta em suas extremidades dois pesos; sob a ação dos pesos, o gelo se funde e o barbante atravessa o bloco; após a passagem do barbante se a temperatura externa for baixa, a água se solidifica e ao fim de algum tempo o barbante atravessa o gelo, sem que este se divida.

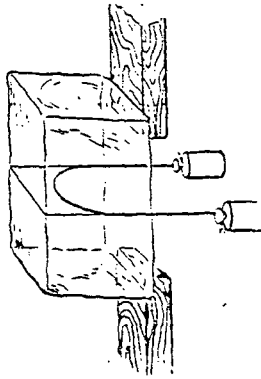


Fig. 67

### 65 — Sobre fusão.

*Experiência* — Adicionemos cristais de tiosulfato de sódio à água. Quando se aquece o conjunto, verifica-se que os cristais se fundem à temperatura de  $48^\circ\text{C}$ , quando então esta permanece estacionária, até a fusão total do sólido, após o que a temperatura continua crescendo.

Retiremos então a água do fogo, após ter atingido temperatura acima de  $48^\circ\text{C}$ , e deixemos que a mesma se resfrie, determinando-se, a intervalos regulares de tempo, a sua temperatura.

Se conservarmos a água em absoluto equilíbrio, sem sofrer trepidações, verifica-se que se atinge temperatura inte-

ortogonais, temos para a trajetória resultante elipses que passam por formas diversas.

### 150 — Ressonância, suas condições.

Consideremos uma tábua apoiada somente pelas suas extremidades; uma pessoa, colocada no centro da tábua, pode comunicar a esta impulsos verticais de cima para baixo, em concordância com as oscilações que a tábua vai adquirindo.

Temos então dois movimentos ritmados que se somam, podendo produzir a ruptura da tábua: o movimento oscilatório próprio desta, devido à sua elasticidade e o movimento constituído pelos impulsos periódicos fornecidos pela pessoa.

O movimento resultante é então grandemente reforçado, em casos como este, em que se provocam vibrações de dada frequência em um corpo e as reforçamos por meio de vibrações de mesma frequência e em fase; vibrações estas fornecidas por um agente externo qualquer.

A tábua, no exemplo dado, constitui o que chamamos ressoador e o agente externo (a pessoa que pula) é o excitador. O fenômeno resultante é chamado ressonância.

A ressonância apresenta-se particularmente importante na instalação de máquinas de grande peso. O problema no caso consiste em achar a parte que vibra em ressonância com a máquina e alterar a sua frequência natural, mudando sua massa ou então a força que produz o fenômeno.

Em 1850, na ponte pênsil de Angers (França), ao passar um batalhão em marcha cadenciada, verificou-se infelizmente o fenômeno de ressonância, vibrando a ponte em concordância de fase e de frequência com o ritmo da marcha dos soldados, o que provocou a ruptura da mesma.

Nos Estados Unidos, não faz muito tempo, houve também a ruptura de uma ponte pênsil, durante uma tempestade, pelo mesmo motivo.

O caso I estudado (superposição de movimentos ondulatórios de mesmo período) nos mostra a produção de um movimento resultante com a amplitude igual ao dobro da amplitude dos movimentos componentes, quando temos concordância de fase, o que vem confirmar os fenômenos de ressonância, obtidos experimentalmente.

### Experiências:

I — Tomam-se dois pêndulos *A* e *B* de mesmo comprimento, suspensos a uma corda. Imprimem-se oscilações ao

pêndulo A, de massa maior. Estas oscilações se transmitem, através do ar e da corda, ao pêndulo B, que vibra por ressonância.

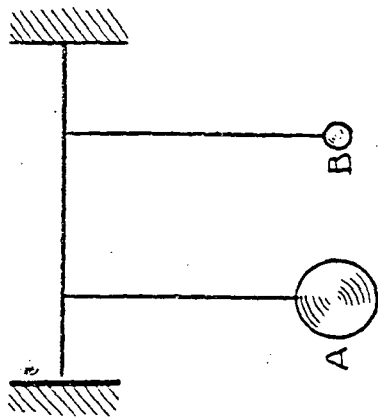


Fig. 193

2 — Variando o comprimento do pêndulo B, êste oscila sob a influência de A, mas o movimento é irregular. A amplitude cresce, passando por um máximo e decresce em seguida, anulando-se por fim; em seguida, o movimento se repete, passando por um máximo, anulando-se de novo, etc., sendo diferentes os períodos de A e de B. Temos o fenômeno dos *batimentos*.

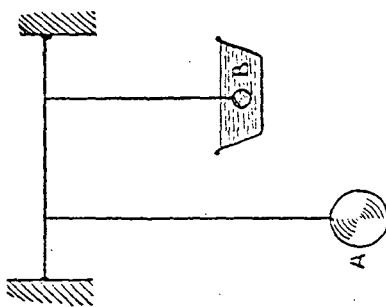


Fig. 194

3 — Coloca-se o pêndulo B em um vaso cheio de água e faz-se A oscilar. B se põe em movimento, com um período idêntico ao de A, mesmo que possua comprimento diferente do de A. Diz-se que há sincronização.

4 — Esta experiência nos permite verificar que quando o ressoador é suficientemente amortecido, êle pode repetir as oscilações do excitador independente da frequência que lhe é própria. Chamamos vibrações forçadas estas oscilações, que não dependem mais das características do ressoador.

## **ANEXO 6**

- APRESENTAÇÃO DO PSSC.
  - PREFÁCIO.
- GUIA DO LABORATÓRIO -  
AGRADECIMENTOS.
- PREFÁCIO DO GUIA DO LABORATÓRIO.
- EXEMPLO DO LIVRO TEXTO – ALUNO.
  - EXPERIMENTO.
- INTRODUÇÃO AO GUIA DO PROFESSOR

# Física

Parte I

Texto organizado pelo

Physical Science Study Committee

6.<sup>a</sup> Edição

1970



EDART - SÃO PAULO



# APRESENTAÇÃO

A Ciência vem evoluindo com velocidade crescente. O número de informações disponíveis dobra aproximadamente cada dez anos. Mais rapidamente ainda cresce a aplicação da Ciência e seu impacto na vida diária, tornando cada vez maior o problema do ensino básico de Ciências ao jovem.

Este grave problema foi relegado pelo Homem de Ciência até bem recentemente. O ensino de Ciências, quer nas escolas primárias, quer nas escolas médias, e, com o tempo, até o dos primeiros anos dos cursos superiores, nem sempre foi entregue aos elementos mais capacitados. "Educadores" infiltraram-se no ensino de Ciências, e, nada conhecendo de Ciência, de sua evolução e estrutura, tornaram este ensino o mais eficiente método de limitar a evolução cultural e técnica de um povo.

Em 1950, organizamos o IBECC-UNESCO, Seção de São Paulo, iniciando entre nós um movimento, através do qual chamávamos a atenção para a importância do problema, e alertávamos os cientistas para liderarem a reforma do ensino de Ciências. Lutando contra a indiferença do Homem de Ciência, preocupado com a marcha de seu setor de investigação, conseguimos lentamente, nos anos seguintes, prosseguir em nossas atividades, e, em 1954, já desenvolvíamos um amplo programa para atacar os problemas mais agudos e característicos de nossa formação, particularmente o do desinteresse pela experimentação.

Em 1957, fomos aos E. U. A. conhecer um famoso físico que, com outros colegas, liderava lá um movimento semelhante — o Prof. Francis L. Friedman, do MIT, trágica e prematuramente desaparecido, justamente na época em que planejamos visitá-lo. A ele, a nossa comovida homenagem. Tomamos conhecimento, através do Prof. Friedman, do gigantesco esforço desenvolvi-

do pela equipe do PSSC, na qual se destacava o Prof. Jerrold R. Zacharias, também do MIT, e que congregava um grande número de físicos famosos, alguns dos quais nobelistas, professores de escolas médias, e industriais, tendo realizado um trabalho que revolucionou o ensino da Física e de toda a Ciência.

Que razão nos levou a escolher o Curso do PSSC para o Brasil? Não foi certamente porque não dispúnhamos de vinte milhões de dólares para realizar um projeto semelhante, ou porque não contássemos com um grupo de físicos de igual envergadura, ou porque não estivéssemos habituados a ensaiar cientificamente projetos de inovações no ensino que envolvem o futuro de nossa mocidade. Fizemo-lo porque nos convencemos de sua excelência, acompanhando cuidadosamente sua evolução nos Estados Unidos, desde seu início, e realizando alguns testes no Brasil. E em 1961, enviamos aos E. U. A. um dos elementos de nossa equipe de professores, para participar de um Curso de Verão, através do qual tomamos contacto direto com o Curso do PSSC.

Em janeiro de 1962, organizamos o I Curso de Verão, no qual foram preparados quarenta professores, hoje liderando o PSSC na América Latina. Na oportunidade, veio a São Paulo, para dirigir o Curso, entre outros professores dos E. U. A., o Dr. Uri Haber-Schaim, do Educational Services Incorporated, entidade que supervisiona o PSSC. O Curso foi repetido em 1963, desta vez com caráter nacional, dirigido por um grupo de professores do Brasil, acrescido de um professor-visitante dos E. U. A. E, aos poucos, vão se multiplicando os cursos locais, liderados pelos participantes do I e II Cursos de Verão.

O PSSC não é um livro-texto, mas uma combinação de texto, guia de laboratório, guia para o professor, equipamento específico, filmes, testes.

## 6 APRESENTAÇÃO

e literatura complementar, o conjunto representando uma nova filosofia de ensino de Ciência.

Hoje, como nós, numerosos países americanos, europeus, asiáticos, e africanos, estão preparando a tradução das publicações do Curso do PSSC. Em 1962, lançamos o Guia de laboratório, primeira tradução mundial. Foi êle usado no I e II Cursos de Verão, bem como em Cursos de Verão de diversos países da América Latina. Ainda em 1962, através do Plano de Emergência do Ministério da Educação e Cultura, sendo Ministro o Prof. Darci Ribeiro, iniciamos a tradução do livro-texto e dos filmes. Está a cargo da Editôra da Universidade de Brasília a edição preliminar do livro-texto em quatro volumes, correspondentes às quatro partes do original, cada um conjugado à respectiva parte de laboratório. Também, com o auxílio da Editôra da Universidade de São Paulo, iniciamos a publicação dos livros da Science Study Series, que constituem a literatura complementar do Curso.

Fabricamos em nossas oficinas, e estamos fornecendo, todo o equipamento idealizado no ESI, o qual coincide plenamente com o conceito que temos sobre como deve ser o equipamento para

ensino de Física na escola secundária: simples, econômico, permitindo a redescoberta de fenômenos científicos fundamentais, quantitativamente, ao invés da aparelhagem complexa e cara que pouco ou nada estimula a mente do jovem.

Não teria sido possível desenvolver tão amplo programa, sem o auxílio que nos foi prestado pela Fundação Ford e Fundação Rockefeller, e a colaboração da National Science Foundation e Pan American Union.

O programa não está terminado. Iniciamos a tradução do Guia para o professor e dos filmes. No ESI, elemento de nossa equipe colabora no preparo dos "Tópicos Avançados" do PSSC, para nível universitário.

Será êste o ponto final? A Física continuará crescendo certamente, e caberá aos físicos a contínua avaliação, no sentido de indicar as introduções que se fazem necessárias e o que lhes deve ceder lugar.

Dr. ISAIAS RAW  
Diretor Científico do IBICC-UNESCO.  
Seção de São Paulo

# PREFÁCIO

O Physical Science Study Committee é constituído por um grupo de professores de física, de nível universitário e secundário, trabalhando no desenvolvimento de um curso aperfeiçoado de introdução à física. O projeto teve início em 1956 com uma doação da National Science Foundation, a qual forneceu a principal ajuda financeira. A Fundação Ford e a Fundação Alfred P. Sloan contribuíram, também, na manutenção do programa.

Este livro-texto é a alma do curso do PSSC: nele a física é apresentada não como um simples conjunto de fatos, mas basicamente como um processo em evolução, por meio do qual os homens procuram compreender a natureza do mundo físico. Além do livro-texto existem, estreitamente correlacionados, um guia de laboratório e um conjunto de aparelhos modernos e baratos, um grande número de filmes testes padronizados; uma série crescente de publicações preparadas por expoentes nos respectivos campos e um extenso livro do professor, diretamente ligado ao curso.

O curso de física do PSSC é o resultado do trabalho realizado, por mais de quatro anos, por algumas centenas de pessoas, em sua maior parte professores de física de colégios e universidades. Há, no fim do livro, uma resenha desta colaboração. É oportuno destacar, entretanto, o trabalho de dois destes colaboradores. O Professor Jerrold R. Zacharias, do Departamento de Física do Massachusetts Institute of Technology, reuniu um grupo de expoentes em física e em educação, que deu origem ao projeto; ele trabalhou ativamente em todas as fases do projeto. O Professor Francis L. Friedman, também do Departamento de Física do MIT, e membro do Comitê desde o início, desempenhou o papel principal no desenvolvimento do livro-texto, e contri-

buiu significativamente em todas as partes do programa.

Este novo curso difere de forma marcante, sob muitos aspectos, do curso de introdução à física, habitualmente ministrado nos Estados Unidos. Para ter certeza de que este novo sistema era consistente e suscetível de ser aplicado, foi solicitado o auxílio de professores e alunos. Em 1957-58, oito escolas e 300 estudantes experimentaram os primeiros materiais. Seus comentários e sugestões ajudaram a melhorar e ampliar o conteúdo e o sistema. Depois, em 1958-59, aproximadamente 300 escolas e 12.500 estudantes valearam-se do curso, e em 1959-60, quase 600 escolas e 25.000 alunos participaram do terceiro ano de prova. O curso foi, então, cuidadosamente revisto, à luz desta experiência.

As reações de professores e alunos mostram que uma grande percentagem de estudantes se interessa por este curso, e com bom aproveitamento. Seus conceitos se firmam por meio de trabalhos no laboratório, análise do texto, e estudo dos filmes. O curso atrai tanto os estudantes inclinados para as humanidades como os já interessados em ciência.

## *O Curso do PSSC*

O curso do PSSC compreende quatro partes estreitamente interligadas. A Parte I consiste numa introdução geral às noções físicas fundamentais de tempo, espaço e matéria: como nós as compreendemos e medimos. Quando o aluno aprende o alcance praticamente ilimitado das dimensões, do imensamente grande ao infinitamente pequeno, dos microssegundos a bilhões de anos, ele verifica como estas grandezas podem ser medidas. Ele aprende que os instrumentos valem

como uma extensão de seus sentidos. A experiência de laboratório mostra que inicialmente medimos por contagem direta, e estendemos, a seguir, nosso alcance de medidas pela calibração e pelo uso de instrumentos simples, tais como estroboscópios ou telémetros.

A partir destas experiências, medindo tempo e espaço, passa o estudante à compreensão de velocidade e aceleração, de vetores e de movimento relativo. Prossegue, então, estudando a matéria, que vemos se movimentando no espaço e no tempo. Neste primeiro exame da matéria desenvolvemos os conceitos de massa e de sua conservação. Usamos, então, a evidência experimental acumulada por físicos e químicos para concluir que a matéria é formada por um número relativamente pequeno de átomos diferentes. Prepara-se, no laboratório, a experiência direta. Aí os estudantes calculam, por exemplo, o tamanho de uma molécula, a partir de medidas de finas películas de óleo. Filmes complementam esta prática direta de laboratório, mostrando experiências que estariam além do alcance de estudantes.

Do começo ao fim, o estudante é levado a concluir que a física deve ser estudada como um todo. Tempo, espaço, e matéria, em particular, não podem ser separados. Ele percebe, além disso, que a física é um assunto em desenvolvimento, e que este desenvolvimento resulta do trabalho de imaginação de homens e mulheres a ele semelhantes.

Os tópicos no curso do PSSC são escolhidos e ordenados de modo a evoluir do simples e do comum às mais sutis idéias da física atômica moderna. Na Parte I avistamos um amplo quadro do universo. Ao examinarmos mais detalhadamente certos campos da física, iniciamos, na Parte II, o estudo da luz. Vivemos pela luz, e o estudante passa sem dificuldade ao estudo de sombras nítidas e difusas, da reflexão em espelhos, e da refração da luz em superfícies ópticas. A evolução natural do tema nos leva a desenvolver uma teoria (ou modelo) corpuscular da luz. A discussão deste modelo ilustra repetidamente o modo pelo qual se desenvolve, virtualmente, todo conhecimento científico. Filmes — como por exemplo o filme sobre a pressão da luz — ajudam, de novo, o estudante a ir além do laboratório.

Submetido a constantes exames, o modelo corpuscular se revela inadequado, e o estudante percebe que necessitamos de outro modelo — um modelo ondulatório. O laboratório, novamente, fornece uma fonte insubstituível de experiência, e aqui o estudante se familiariza com as proprie-

dades das ondas. Ele observa o comportamento de ondas em cordas e na superfície da água. Ele começa a identificar o grupo de características que constituem o comportamento ondulatório. O conhecimento da interferência e da difração surge diretamente do estudo de ondas em uma cuba. Pela primeira vez, possivelmente, os halos de luz em volta das lâmpadas de rua, as côres das manchas de óleo, e a formação de imagens por meio de lentes, surgem como aspectos da natureza ondulatória da luz.

Durante a primeira metade do curso, a ênfase principal está na cinemática de nosso mundo: onde estão as coisas, qual é seu tamanho, como se movimentam, e não por que. Na Parte III voltamos a um estudo mais detalhado do movimento, desta feita sob um ponto de vista dinâmico. Com aparelhamento simples de laboratório, os estudantes descobrem a lei do movimento de Newton. Eles aprendem a prever os movimentos quando as forças são conhecidas, e a determinar as forças quando são dados os movimentos. Assim preparados, acompanham eles a extraordinária história da descoberta da gravitação universal, a sábia suposição de Newton, que o fez saltar das leis conhecidas do movimento para a lei da atração gravitacional.

Introduz-se as leis da conservação da quantidade de movimento e da energia por uma associação entre a teoria e a investigação de laboratório. Estas leis constituem uma parcela substancial da Parte III, e damos ênfase a seu emprêgo em situações nas quais não é possível a observação minuciosa do movimento, como por exemplo na descoberta do nêutron por Chadwick e na teoria cinética dos gases.

A Parte IV inicia o aluno em eletricidade e através dela, na física do átomo. O estudante se vale, então, do conhecimento de dinâmica, adquirido na Parte III. Começamos com observações qualitativas, e prosseguimos com um estudo quantitativo das forças que se exercem entre cargas. Aprendemos a medir forças elétricas pouco intensas, e percebemos que a carga elétrica se apresenta em unidades naturais. Estudamos, então, o movimento de partículas carregadas em campos elétricos, e aprendemos a determinar as massas do elétron e do próton.

Segue-se uma discussão sobre campos magnéticos produzidos por ímãs e correntes, e um estudo das forças por eles exercidas sobre cargas em movimento. Como parte final da eletricidade, discutimos as leis da indução, e damos ao estudante uma percepção qualitativa da natureza electromagnética da luz. Muitas das idéias fun-

damentais são exploradas no laboratório — a lei de Coulomb, o campo magnético em volta de uma corrente, a força exercida por um campo magnético sobre um fio condutor percorrido por uma corrente, são exemplos.

Valemo-nos, a esta altura, do conhecimento adquirido em escala macroscópica para pesquisar a estrutura dos átomos. Acompanhando o trabalho de Rutherford, estabelecemos o modelo nuclear do átomo. Algumas perguntas, entretanto, ficam sem resposta. Por que, por exemplo, é um determinado átomo estável? Por que não se desintegra ao emitir luz? Buscando as respostas, descobrimos que a luz é tanto corpuscular como ondulatória. Percebemos, ainda mais, que apesar da matéria se comportar como partículas, em alguns aspectos também se comporta como ondas. Combinando ambas as propriedades, podemos compreender a estabilidade do átomo de

hidrogênio e a estrutura de seus níveis de energia. Dado que nesta parte do curso a experimentação direta se torna mais difícil e mais dispendiosa, são filmes que trazem ao estudante experiências como a de Millikan e a da interferência de fótons. No fim do curso, chegamos ao modelo moderno de átomos.

Ficou patente ser perfeitamente possível ensinar o curso do PSSC tal como é apresentado. É um curso proveitoso para uma ampla variedade de colégios. Os que colaboraram na estruturação deste curso desejam, entretanto, aperfeiçoá-lo progressivamente. Como o Physical Science Study Committee prossegue neste desenvolvimento, suas sugestões serão sempre bem recebidas.

JAMES R. KILLIAN, JR.  
Chairman, Board of Trustees  
Educational Services Incorporated

A idealização das experiências apresentadas neste guia tem origem múltipla, provindo de elementos pertencentes e estranhos ao PSSC. O desenho dos aparelhos, o planejamento e a própria publicação deste Guia, representam o resultado do esforço constante de muitos. Houve amplo intercâmbio de idéias e colaboração recíproca entre os elementos que desde o início se ocuparam com o livro-texto, e os que primeiramente desenvolveram o programa experimental. É praticamente impossível, pois, citar o nome de todos os participantes, e indicar suas contribuições individuais. Nas últimas páginas do livro-texto encontra-se um agradecimento mais discriminado. Limitar-me-ei, por força das circunstâncias, a uma brevíssima descrição das principais etapas que conduziram à apresentação deste Guia.

As idéias iniciais relativas à importância do trabalho experimental, a projetos de experiências e procedimentos que as tornassem eficazes, surgiram de palestras em reuniões realizadas, durante o inverno e a primavera de 1957, pelos Professores Francis L. Friedman, Elbert P. Little, e Professores Edward M. Purcell, Walter C. Michels, Philip Morrison, e Jerrold R. Zacharias.

No MIT, durante o verão de 1957, os grupos que elaboravam o livro-texto desenvolveram, de modo ponderável, o programa experimental. Um grupo, liderado pelo Professor Zacharias, debateu questões de ordem geral, relativas à situação da parte prática no desenvolvimento do Curso, enquanto que os problemas de equipamento foram enfrentados por um outro grupo, chefiado pelo Professor Uno Ingard.

O trabalho relativo às experiências apresentadas nas Partes I e II prolongou-se durante todo

o ano. Quase no fim do verão de 1958, estava pronta para ser utilizada em escolas uma edição preliminar das Partes I e II do Guia de Laboratório, publicado por Richard Brinckerhoff da Phillips Exeter Academy.

Durante o ano letivo de 1958-1959 foram desenvolvidas as Partes III e IV do Guia, tendo sido revistas, durante o verão de 1959, as Partes I e II, aproveitando-se a experiência auferida pela utilização do material em escolas. Este trabalho foi efetuado, principalmente, por Judson B. Cross da Phillips Exeter Academy, James Henry e James Strickland da equipe do PSSC, Professor Guenter Schwarz da Florida State University, John H. Walters da Browne e Nichols School, e por mim.

Fomos enormemente auxiliados por Ervin Hoffart no trabalho de testar um grande número de experiências, por Nathaniel C. Burwash no planejamento dos aparelhos, e por Miss J. Carolyn Safford na composição do Guia.

Percy Lund foi o desenhista e as fotografias foram tiradas por Miss Berenice Abbott e Dr. Strickland.

No trabalho de direção da equipe empenhada na parte experimental, fui beneficiado com múltiplas sugestões feitas pelo Professor Friedman, o qual se manteve vigilante no desenvolvimento de nossa atividade.

A presente edição difere da anterior apenas em detalhes. A maior parte das modificações decorrem de melhorias introduzidas nos aparelhos. Richard T. Wareham da D. C. Heath, contribuiu valiosamente para a caprichosa e prática apresentação deste Guia.

## PREFÁCIO

A física descreve o mundo que nos rodeia. Nós procuramos estabelecer as relações existentes entre as várias facetas observadas no comportamento da natureza. O laboratório constitui a fonte principal de conhecimento, no sentido de compreensão deste propósito básico da física. As idéias, os conceitos, e as definições, só têm, na verdade, um sentido efetivo quando baseados em experiências.

Para proporcionar esta oportunidade, foi desenvolvido um programa experimental como parte integrante do curso de física do Physical Science Study Committee. O planejamento deste programa obedece ao escopo de familiarizar basicamente os alunos com as realidades do mundo físico. Ele lhes possibilita enfrentar, por si próprios, as principais leis da física, de um modo mais ou menos intenso, de acordo com suas possibilidades.

O trabalho prático integra este Guia, bem como o equipamento correlato com o qual são realizadas as experiências. (Informações adicionais e sugestões são encontradas no Guia do Professor). A maioria das experiências deste Guia é apresentada de forma a facilitar a leitura do texto. Desta maneira, os alunos investigam os fenômenos físicos, ao invés de, simplesmente, verificarem conclusões conhecidas. Ao realizar experiências cujo resultado, de antemão, lhe é desconhecido, fica o aluno tomado por uma sensação de participação pessoal nas descobertas científicas; tornam-se-lhe mais significativas a ciência e a importância do cientista. As instruções foram limitadas, por este motivo, aos aspectos meramente técnicos das experiências; fornece-se a necessária orientação sobre as idéias físicas em breves introduções e por meio de perguntas-chave.

Os alunos não são obrigados a terminar uma experiência numa etapa determinada. Existe, geralmente, uma parte básica inicial que todos os alunos completam. Alguns alunos, de acordo com suas possibilidades, enfrentarão as questões mais avançadas, propostas no fim da descrição de cada experiência. Oferece-se, desta forma, ao professor e ao aluno, possibilidade de múltipla escolha, se bem que instruções explícitas asseguram o realce que deve ser dado às idéias importantes. Este sistema, além disso, motiva um número apreciável

de alunos, a desenvolverem, por iniciativa própria, interessantes pesquisas correlacionadas.

É muito simples o equipamento preparado para realizar este programa. Dois motivos explicam tal fato: um pedagógico, e outro financeiro. Aparelhos complicados ocultam, em geral, a simplicidade da questão investigada, enquanto que os aparelhos simples favorecem, seja a observação dos princípios de física, seja a compreensão da forma como tais princípios repercutem no planejamento de aparelhos medidores. Acrescente-se que os aparelhos são feitos de materiais comuns, fato que possibilita sua reprodução e uso em casa. O laboratório auxilia, desta maneira, a remover o muro que existe entre o mundo particular do aluno e o da ciência. (Estes dois mundos são, na realidade, um só e, se se manifestam distintos, a ciência deixou de ser um estudo constante do universo para se transformar em doutrina rígida).

O Guia de Laboratório, como o livro-texto, está dividido em quatro partes. A primeira parte trata, principalmente, de questões como — “Quanto tempo leva?” “Qual é o tamanho?” “Com que velocidade se move?”. As partes II a IV tratam das leis fundamentais e dos conceitos de óptica, dinâmica, eletricidade, e física atômica. Nessas partes, são perguntas típicas — “Como se refrata a luz?” “De que forma a aceleração depende da força?” “Qual é a massa de um elétron?”.

No decorrer do trabalho de laboratório, os alunos aprendem que as experiências se originam de uma concatenação de idéias, devendo ser planejadas de forma que seus resultados possam ser interpretados, e que são incompletas, se não analisadas.

Este programa prático, bem como as demais partes do curso do PSSC, foi testado por centenas de professores e muitos milhares de alunos. Sua experiência mostrou que o programa pode ser extremamente bem sucedido. As experiências dão, realmente, profundidade e significado ao livro-texto e, em troca, este, auxiliando a interpretação das experiências, conduz à volta ao laboratório. Desta maneira, a reciprocidade entre a teoria e a prática, tão característica do desenvolvimento da ciência, se efetua de forma perfeitamente ao alcance dos alunos.

## AOS ALUNOS

Este Guia foi elaborado com o propósito de auxiliá-lo em seu trabalho experimental. Ele oferece uma introdução geral aos problemas visados, dá sugestões técnicas, reservando-lhe, porém, o trabalho de raciocinar. Você trabalhará independentemente, durante a realização de grande parte das experiências. Se seu gosto coincide com o de muitos outros que já fizeram estas experiências, aprenderá rapidamente, em as realizando, a apreciar este tipo de trabalho prático.

Você deparará com muitas perguntas ao longo deste Guia. A resposta a estas questões requererá, por vezes, que você pense um pouco nos conhecimentos adquiridos anteriormente, ou, então, será necessário efetuar um pequeno cálculo. Outros casos exigirão o prosseguimento da experimentação. Fica a seu critério, em cada caso, decidir o que fazer.

Bons hábitos de trabalho são vantajosos. Leia sempre a descrição completa da experiência, antes de iniciar o trabalho, de sorte a ter uma compreensão nítida do que pretende fazer. Anote cuidadosamente o que ocorre durante a realização da experiência. Possuirá, então, os

dados, aos quais poderá recorrer, se necessário, e noções suficientes para saber como procedeu em seu trabalho.

Efetuando uma experiência, sempre que preciso, repita as medidas várias vezes. Diversas leituras são geralmente melhores que uma só. Você decidirá em que casos é necessário um maior número de medidas.

Muitas destas práticas requerem o auxílio de um ou mais participantes. Examine, com seus companheiros, os resultados obtidos. Trabalhando em conjunto na análise de resultados, você aprenderá mais do que se a efetuar isoladamente.

Não lhe será possível, provavelmente, realizar todas as partes de cada experiência. Não se precipite: é mais vantajoso fazer minuciosamente metade dos itens sugeridos, do que completar a experiência de um modo superficial. Parte da análise dos resultados, freqüentemente, pode ser feita em casa.

Na maioria das experiências, os aparelhos usados são muito simples. Você mesmo pode fazer muitas partes, e prosseguir as experiências em sua casa.



## EXEMPLO DO LIVRO TEXTO – ALUNO

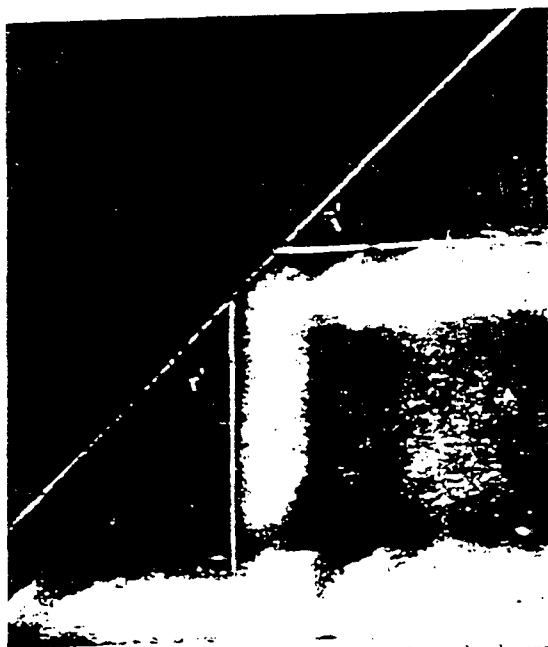
98 ONDAS E LUZ

mento é a de seu raio, e o sentido e o de se afastar do centro do círculo. Esta direção é normal à crista da onda, exatamente como a direção de propagação de ondas retas é normal as suas cristas.

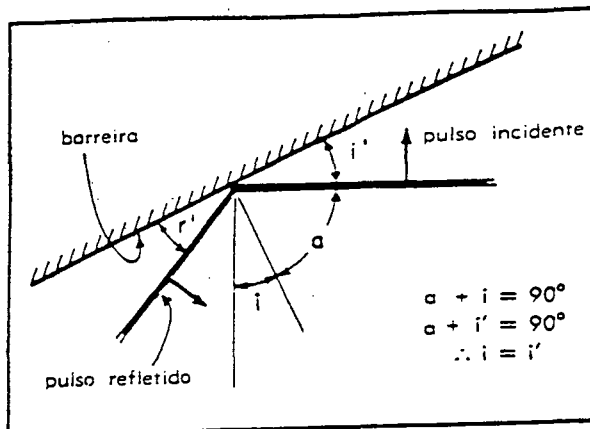
### 17 – 3. Reflexão

Lembramos que um pulso produzido em uma moia pode ser refletido, e podemos esperar que as ondas na água também sofram reflexão. Considere um pulso reto que se afasta da régua em direção ao extremo oposto da cuba. Para refleti-lo, colocamos um obstáculo no meio da cuba, paralelamente à régua. O pulso incide sobre o obstáculo, e volta refletido na direção de onde procede, exatamente como um pulso em uma moia.

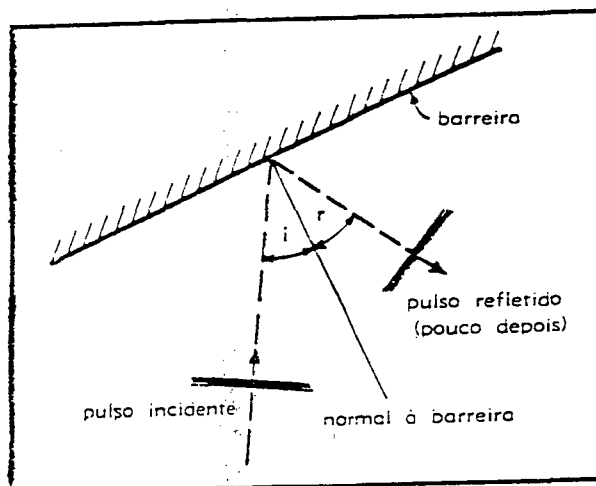
Mudemos, então, a posição da barreira refletora, de modo que o pulso não mais lhe seja paralelo. Na Fig. 17 – 6 vemos dois pulsos retos, um se aproximando, e outro sendo refletido na barreira. Simboliza-se por  $i$ , o ângulo que o pulso incidente forma com a barreira refletora, sendo o ângulo entre o pulso refletido e a barreira indicado por  $r$ . Meça os ângulos  $r$  e  $i$ .



17 – 6. Dois pulsos retos. *A* se aproxima da barreira, movendo-se para cima na fotografia. Enquanto a parte superior de *B* está ainda se movendo para cima, a sua parte inferior, que aparece como uma crista de onda, vertical e branca, foi refletida, e se move para a direita. Traçou-se a linha diagonal branca para indicar a posição do bordo da barreira.



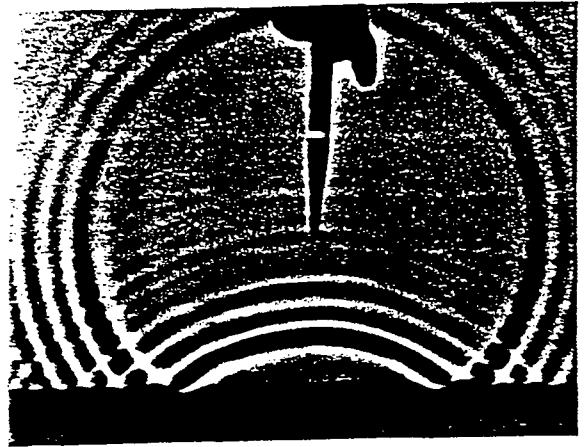
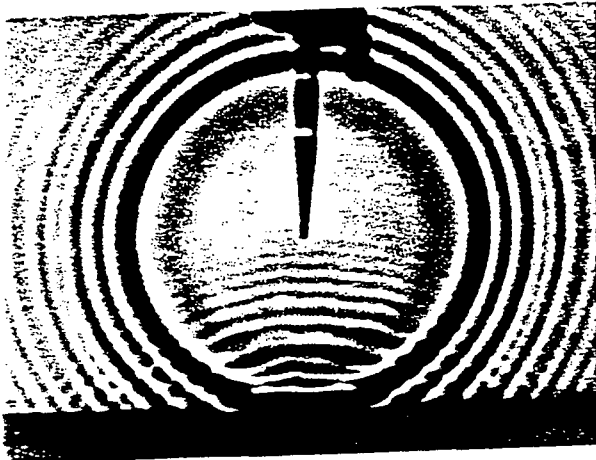
17 – 7. Um pulso reto incide sobre uma barreira. O ângulo de incidência  $i$  é igual ao ângulo  $i'$  que o pulso forma com a barreira.



17 – 8. Reflexão de uma onda reta por uma barreira reta. Tal como para a luz, o ângulo de reflexão  $r$  é igual ao ângulo de incidência  $i$ .

na fotografia, e você verificará que  $r = i$ . Se repetirmos a experiência para diferentes ângulos  $i$ , encontraremos sempre  $r = i$ .

Este resultado se assemelha à lei da reflexão da luz em espelhos, que obtivemos na Seção 12-4. Verificamos, então, que o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência. Mas, em óptica os ângulos eram medidos entre a direção de propagação e a normal à superfície refletora. Podemos definir os ângulos de incidência  $i$  e de reflexão  $r$  para as ondas do mesmo modo — isto é, como o ângulo formado pela direção de propagação (que é normal à crista da onda) e a normal à barreira.



17 - 9. Reflexão de um pulso circular em uma barreira reta. Na fotografia da esquerda, o pulso se aproxima da barreira, enquanto que na da direita, parte d'ele foi refletido.

A construção na Fig. 17 - 7 demonstra que o ângulo de incidência  $i$  é igual ao ângulo  $i'$ . Uma construção semelhante demonstra que  $r = r'$ . A igualdade observada  $r' = i'$  se torna, então,  $r = i$ , isto é, o ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência. Mostramos, portanto, que as ondas e a luz seguem a mesma lei de reflexão (Fig. 17 - 8).

Um pulso circular que se expande pode também sofrer reflexão em uma barreira retilínea. A Fig. 17 - 9 mostra a aproximação e reflexão de tal pulso. Observamos que a parte refletida do pulso é um arco de círculo. O centro deste círculo está em um ponto  $P'$ , simétrico da fonte  $P$  em relação à barreira. O pulso refletido parece proceder de  $P'$ . Isto corresponde à situação em óptica, em que dispuzemos uma fonte pontual em frente a um espelho. A luz refletida parecia proceder, então, do ponto imagem atrás do espelho. (Veja Figs. 12 - 9 e 12 - 10). Utilizando barreiras curvas ou combinações de duas ou mais barreiras retilíneas, podemos demonstrar com a cuba de ondas todos os fenômenos de reflexão que estudamos em conexão com a luz. A formação de imagens por espelhos decorreu das leis da reflexão em óptica; o mesmo ocorre na cuba de ondas, na correspondente formação de imagens por "espelhos".

#### 17 - 4. Velocidade de propagação e ondas periódicas

Em meios diferentes as ondas se propagam com velocidades diferentes. Por exemplo, podemos ver as ondas formadas em uma moia aumen-

tarem de velocidade quando esticamos a moia, e ver as ondas produzidas em um tubo de borracha se amortecerem quando o enchemos com água. Nesta seção aprenderemos como fazer medidas quantitativas da velocidade de ondas na água, utilizando uma cuba de ondas. Há diversas maneiras de fazer tal medida.

Uma delas consiste em produzir um pulso reto, e medir com um cronômetro o tempo  $t$  que o pulso leva para percorrer uma distância específica  $l$ . A velocidade  $v$  é, então, igual à distância percorrida dividida pelo tempo empregado em percorrê-la:

$$v = \frac{l}{t}$$

Outra maneira consiste em produzir dois pulsos, um após o outro. Quando se produz o segundo pulso (após um intervalo de tempo  $t$ ), o primeiro pulso já percorreu uma distância  $l$ . Dai por diante, ambos os pulsos se propagam juntos, permanecendo constante a distância  $l$  entre eles. Podemos medir esta distância com uma régua, e, novamente  $v = l/t$ . Estes métodos são simples em princípio, mas na prática é bastante difícil seguir os pulsos e medir as distâncias e os tempos requeridos.

Um terceiro método baseia-se na produção de pulsos sucessivos, em intervalos de tempo iguais,  $T$ . Ao fazer isto, o gerador de ondas repete seu movimento uma vez em cada intervalo  $T$ . Tal movimento se denomina *periódico*, e o intervalo de tempo  $T$  constitui o *período*. Outra maneira de descrever este movimento periódico consiste em indicar quantas vezes o movimento se repete na unidade de tempo, isto é, dar a *frequência*  $f$

## PARTE

### LABORATÓRIO

#### 1 — 1. Pequenos intervalos de tempo

Todos sabem cronometrar o tempo que leva um atleta para percorrer 100 m. Bastaria para isto um relógio de pulso, comum, com um ponteiro de segundos, desde que fôsse suficiente uma precisão razoável. Pode você, entretanto, medir o tempo que leva o martelinho vibrador de uma campainha elétrica para completar uma vibração? Ligue uma pilha a uma campainha durante alguns segundos, e tente! (Fig. 1). Você verificará que o tempo correspondente a uma vibração é tão curto, que se torna impossível medi-lo simplesmente com um relógio. Através da presente experiência, você aprenderá um método que possibilita medir pequenos intervalos de tempo, como o que foi referido.

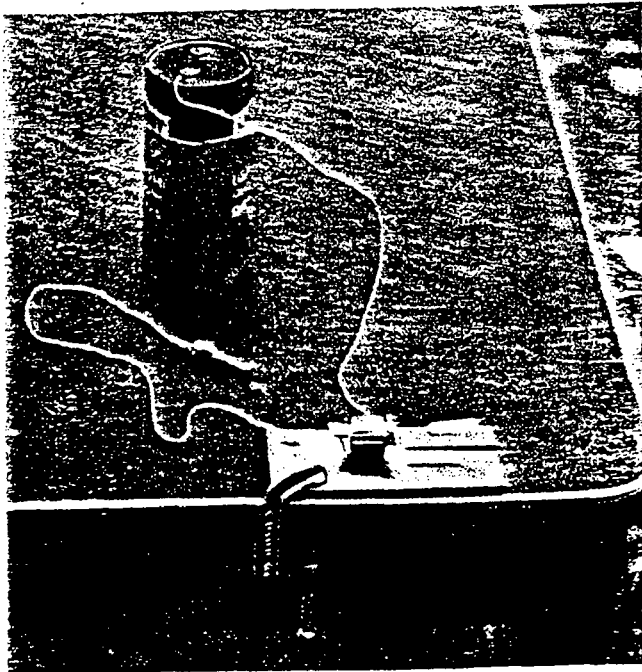


Figura 1

Iniciemos com um "martelinho" maior, representado por uma barra de aço, carregada, e que não vibra tão rapidamente (Fig. 2). Puxe a presilha para o lado, e solte-a. Pode você medir, usando seu relógio de pulso, o tempo que leva a lâmina para completar uma vibração?

Contrariamente ao deslocamento do atleta, o movimento da lâmina se repete regularmente. Você pode aproveitar esta repetição, medindo o tempo necessário para completar, digamos, 10 vibrações. Aumentaria, desta forma, a precisão de sua medida?

Você conta facilmente as vibrações da lâmina; precisa, entretanto, dispor de um meio de fazê-lo mais rapidamente, de modo a poder contar as vibrações do martelo. Um dos meios consiste em usar um disco estroboscópico (Fig. 3). Tape,

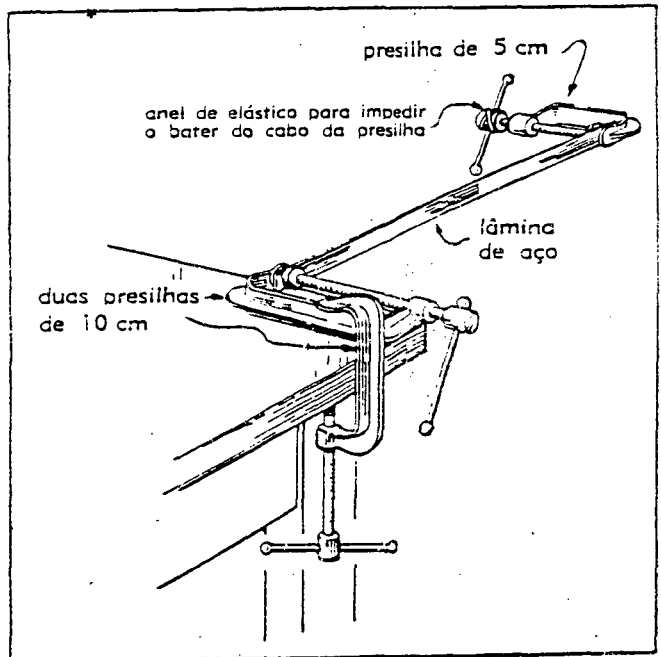


Figura 2



Figura 3

inicialmente, com fita adesiva, tôdas as fendas do estroboscópio, exceto uma. Olhando para a presilha que vibra, gire o estroboscópio diante de seus olhos, vagarosamente, como indica a Fig. 3. Mudando a velocidade de rotação, "pare" o movimento da presilha numa das extremidades de sua oscilação. Como se relacionam os tempos de uma rotação do disco e de uma vibração da presilha? Será esta a única relação para a qual a lâmina parece estar parada?

Seu companheiro pode, então, medir o tempo necessário para você completar dez rotações do estroboscópio. Em seguida, você pode calcular o tempo que leva a presilha para efetuar uma vibração.

Transfira a presilha para o meio da lâmina (mais perto da mesa), e tente de novo "parar" o movimento da lâmina em vibração (puxe a presilha, e não a extremidade da lâmina). Remova a fita da fenda do estroboscópio oposta à fenda que não foi vedada, e tente "parar" o movimento novamente. Qual é, agora, a relação entre o tempo necessário para completar um

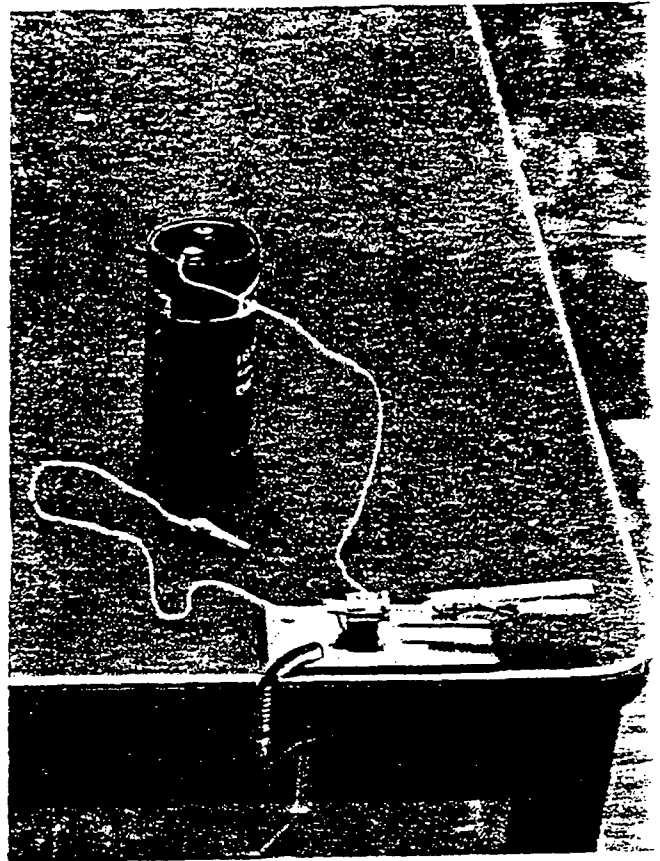


Figura 4

giro do estroboscópio e o tempo de uma vibração da presilha? Qual é o tempo necessário para completar uma vibração se a presilha for deslocada para ainda mais perto da mesa?

Antes de você tentar propriamente medir o tempo correspondente a uma vibração do martelinho da campainha, adapte-lhe um prendedor de roupa como está indicado na Fig. 4. Reduzir-se-á, desta forma, a velocidade do martelinho, dando-lhe uma oportunidade de exercitar o uso do estroboscópio. Experimente parar o movimento do martelinho com o prendedor de roupa usando seu estroboscópio com quatro fendas descobertas. A fim de calcular o tempo necessário para uma vibração do martelinho carregado, você, provavelmente, descobrirá a conveniência de medir o tempo que corresponde a vinte rotações do disco.

Repita a medida feita, deixando as doze fendas descobertas. Como pode você ter certeza que seus cálculos, em ambos os casos, não fornecem o dôbro do valor correto?

Você está, então, habilitado a medir o tempo correspondente a uma vibração do martelinho

da campainha, sem o prendedor de roupa. De que ordem de grandeza foi aumentada sua possibilidade de medir curtos intervalos de tempo?

Determinando o tempo que corresponde a uma vibração do martelinho, você calibrou a campainha e pode, então, utilizá-la para medir curtos intervalos de tempo.

Você pode usar este aparelho como registrador de tempo para medir o intervalo de tempo que decorre entre o bater de duas palmas (Fig. 5). À medida que a fita de papel passa, o martelinho nela deixa marcas; em intervalos iguais

Não podemos "parar" um movimento não repetitivo, observando-o por meio de um estroboscópio. Contando, entretanto, quantas vezes vemos o móvel transferir-se de um lugar para outro, podemos encontrar o tempo que leva para percorrer esta distância. Para facilitar a contagem, podemos registrar permanentemente o movimento, seja fotografando-o através de um estroboscópio (Fig. 6), seja usando o marcador de tempo.

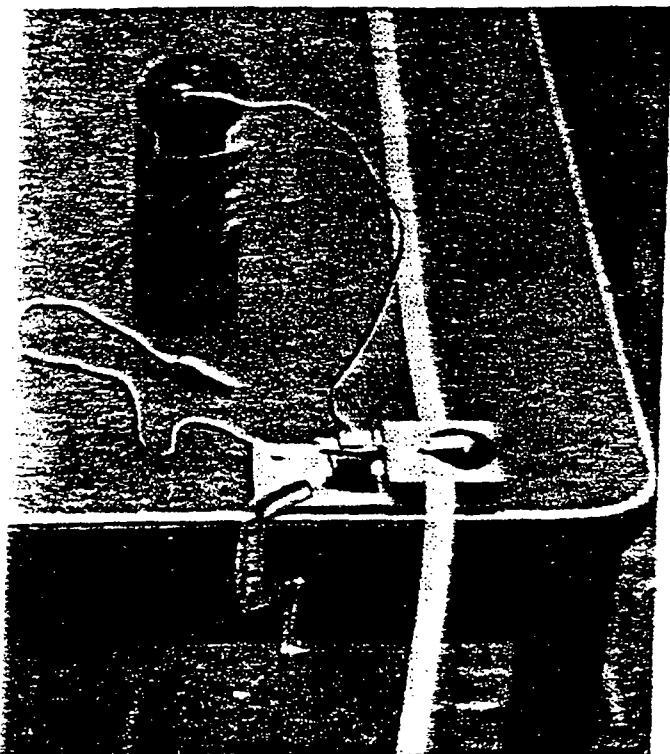


Figura 5

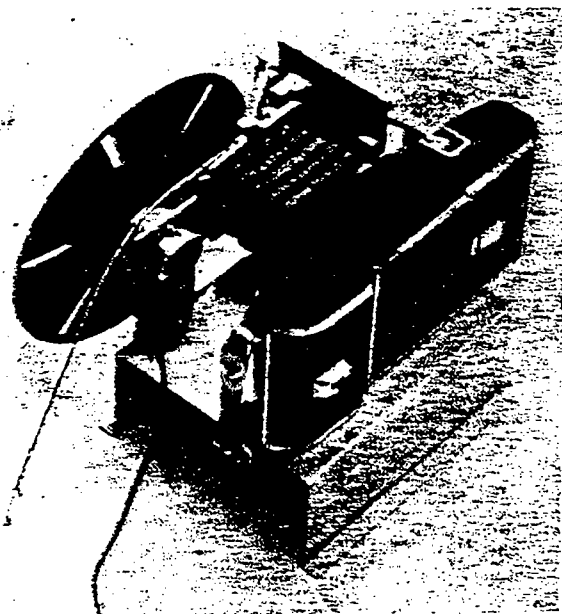


Figura 6

Prenda a fita a um pequeno objeto, e meça o tempo necessário para que ele caia da mesa ao chão.

Como poderia você utilizar a fita e um relógio para calibrar o marcador de tempo-campainha?

Confronte o tempo correspondente a uma vibração medido quando o martelinho vibra livremente, com aquele obtido com o martelinho marcando a fita.

de tempo. Faça a fita correr diversas vezes, a fim de certificar-se que o martelinho a está marcando, e para determinar a velocidade com que ela deve ser puxada de forma a ter as marcas convenientemente espaçadas para efeito de contagem. Enquanto você puxa a fita através do marcador de tempo, seu companheiro deve bater palmas duas vezes. Ligue o marcador de tempo ao ouvir o som da primeira palma, e desligue-o à segunda batida. Conte o número de marcas obtidas na fita, e determine o intervalo de tempo decorrido entre as palmas.

## 1 - 2. Grandes distâncias

As distâncias da ordem de um metro são facilmente medidas com uma régua. Para distâncias muito maiores, o uso de régua se torna pouco prático e, em alguns casos, impossível.

Diversos são os instrumentos que permitem aumentar nossa possibilidade de medir distâncias maiores. Você pode calibrá-los experimentalmente e usá-los com sucesso, sem compreender como funcionam. Uma aferição matemática, por

## INTRODUÇÃO AO GUIA DO PROFESSOR

O curso do PSSC é mais do que um livro de texto. É um conjunto coordenado de diversas fontes para o ensino da Física no curso secundário. Inclui um texto, guia de laboratório, material para laboratório, filmes correlatos, testes, e uma coleção crescente de material para leitura complementar "Science Study Series"<sup>\*</sup>. Para ajudar os professores a se familiarizarem detalhadamente com o conteúdo e as finalidades do curso do PSSC, um certo número de Colégios e Universidades têm desenvolvido programas para professores, baseados no material do PSSC. Um bom material pode contribuir para desenvolver um bom curso, mas o elemento mais importante de um curso do PSSC bem sucedido é o professor. Ele contribui com o trabalho indispensável para a interpretação e o esclarecimento da substância do curso. Sua apresentação pode ser dosada na medida das necessidades e habilidades de cada aluno. Somente ele pode fornecer, dia a dia, o estímulo e a inspiração pessoal que só pode vir de um homem competente, entusiasta e sensível aos interesses de cada um dos alunos.

A finalidade deste Guia é auxiliar os professores a introduzir o material do PSSC nos programas de classe e de laboratório. Para esse fim, o Guia fornece informações básicas e detalhadas sobre todo o conjunto do material, faz sugestões concretas para atividades de classe e laboratório, e discute seções selecionadas do curso, num nível dirigido mais aos professores do que aos alunos. O Guia não pretende estabelecer regras rígidas e imediatas para o ensino do curso, mas sim dar sugestões, das quais algumas serão diretamente úteis e outras estimularão o desenvolvimento de outros assuntos. A maior parte do Guia está baseada na expe-

riência de muitos professores, que encontraram bons métodos de apresentar o curso do PSSC. Os autores receberão, de bom grado, sugestões de professores que vierem a usar o Guia.

Com maiores detalhes, do modo como são encaradas pelos autores, as funções do Guia são:

1) Colocar tópicos individuais, com realce das finalidades e do conteúdo do curso inteiro. Além do desenvolvimento do texto, é frequentemente necessário aos professores entenderem as razões para um argumento particular ou sequência de idéias.

2) Apresentar ao professor certos tópicos do curso num grau mais elevado do que no livro de texto para os alunos. Através de discussões que aproveitam a maturidade, experiência e treino do professor, o Guia espera ajudá-lo a poupar tempo, ganhando e aumentando a compreensão dos detalhes da estrutura e do conteúdo do curso.

3) Sugerir o uso apropriado do material correlacionado com cada parte do texto: experiências de laboratório; filmes; problemas para Casa, Classe e Laboratório; demonstrações; livros da "Science Study Series"; e ocasionalmente, outros assuntos.

4) Providenciar informações detalhadas sobre o uso de experiências e aparelhos de laboratório. O Guia do Professor, na parte referente ao laboratório, inclui informações, finalidades e o tempo favorável para as várias experiências, respostas às perguntas formuladas no Guia de Laboratório para os alunos, e sugestões concretas para manipular o material de laboratório e desenvolver as experiências.

5) Sugerir possíveis planejamentos para o ensino do curso. Para um professor que esteja dando o curso pela primeira vez, é importante ter alguma indicação de um planejamento realístico que levará sua classe até a Parte IV, no fim do ano escolar. Para os professores que

(\*) NOTA: Os livros da coleção "Science Study Series", mencionados no livro texto e Guia do Professor, são editados pela EDART - SÃO PAULO, com o título de "Série Estudos de Ciência".

ensinaram o curso, os planejamentos sugeridos são de menor importância. No entanto, servem para todos como um memorando de ênfase relativa, com a qual a experiência tem mostrado, como diferentes partes do curso podem ser tratadas, a fim de conseguir tanto a integridade, como a profundidade adequada. O planejamento do curso é discutido com maiores detalhes na próxima seção, o Ensino do Curso do PSSC.

6) Apresentar soluções para os problemas das seções para Casa, Classe e Laboratório, do texto. Para os problemas que podem ser respondidos com brevidade ou numericamente, respostas abreviadas são dadas no começo das páginas do CCL de cada capítulo. Em seguida, soluções detalhadas são dadas para cada problema. As soluções detalhadas não tencionam, particularmente, dar indicações rápidas. Nem pretendem ser modelos para soluções dos alunos. Procuram auxiliar o professor a preparar a discussão dos problemas em classe. Por causa disso, as soluções detalhadas conduzem o problema de tal maneira que o professor possa discuti-lo em classe. Incluem muito mais "conversa" do que seria de esperar em um dever para casa de um aluno.

7) Sugerir, ocasionalmente, problemas complementares. Problemas extras podem ser usados como exercícios para casa, mas, considerando o grande número de problemas das seções de Casa, Classe e Laboratório do livro de texto, tais problemas provavelmente são mais apropriados para teste ou discussão em classe.

O Guia é dividido em quatro partes, correspondendo às Partes I, II, III e IV do texto. Uma seção geral, Ensino do Curso do PSSC, está incluída nesta parte do Guia.

Cada parte do Guia inclui uma seção introdutória, discutindo as características importantes do conteúdo dessa Parte do curso e sugerindo planejamentos apropriados aos vários capítulos. Em seguida, cada Parte do curso é discutida, capítulo por capítulo. Cada capítulo inclui um sumário, sugestões para o planejamento das várias seções ordenadamente, e uma lista de materiais relativos àquele capítulo. Então, cada seção ou um grupo conveniente de seções é discutido. Em geral, estas discussões são organizadas em parágrafos encabeçados: FINALIDADE, ÊNFASE, CONTEÚDO, DESENVOLVIMENTO, e COMENTÁRIOS.

# ANEXO 7

## PROJETO HARVARD

- CAPA.
- PREFÁCIO DA ED. PORTUGUESA.
  - PREFÁCIO DOS AUTORES.
- TEXTO SOBRE ALGUNS MÉTODOS PARA MEDIR A ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE.
  - CAPA DO GUIA DO PROFESSOR
- GUIA DO PROFESSOR : ORGANIZAÇÃO DAS AULAS; ORIENTAÇÕES SOBRE USO DE MÚLTIPLOS MEIOS DE COMUNICAÇÃO.
- GUIA DO PROFESSOR: DISCUSSÃO E ORIENTAÇÃO SOBRE CADA ITEM DO CONTEÚDO.

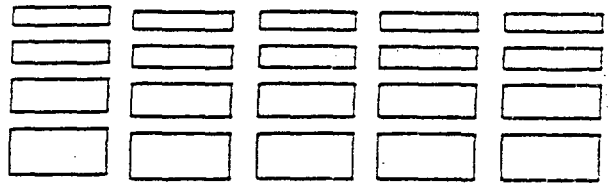




# PROJECTO FÍSICA

## UNIDADE 1 CONCEITOS DE MOVIMENTO

TEXTO E MANUAL  
DE EXPERIÊNCIAS  
E ACTIVIDADES



*Prof. José de Pinho Alués '86*

## Prefácio da Edição Portuguesa

Na segunda metade da década de 50 iniciou-se nos Estados Unidos amplo movimento de renovação do ensino das ciências experimentais que cedo se alargou à Europa e a vários países da África, Ásia e América Latina e do qual se dá conta numa obra publicada em 1972 na Universidade de Maryland, intitulada "Eight Report of the International Clearinghouse on Science and Mathematics Curricular Developments". Aqui se enumeram e descrevem sumariamente os novos projectos de ensino produzidos em mais de 50 países das mais diversas partes do mundo e nos mais diversos estados de desenvolvimento, mas onde é notável a ausência de Portugal.

O desencadeamento do movimento atribui-se frequentemente ao Physical Science Study Committee (PSSC), que produziu um dos mais conhecidos currícula de física e do qual quatro edições em língua inglesa, traduções inúmeras e adaptações diversas, constituem o balanço de 20 anos de influência.

Alguns anos mais tarde no Reino Unido a Fundação Nuffield decide também empreender um grande projecto para o ensino das ciências tendo neste caso sido considerado como prioritário o ensino da física, química e biologia do nível "O", isto é, o referente às idades entre os 11 e os 15 anos.

A revolução principal provocada pelos novos cursos resulta de estes assumirem novos objectivos e preconizarem novas metodologias de ensino, dos quais resultam também sequências temáticas diferentes das que nos habituámos a ver nos livros de física. Pretende-se que os jovens aprendam a ciência, participando activamente em todos os processos científicos, vivendo as dificuldades e alegrias próprias da descoberta científica. De uma maneira simples deseja-se que os alunos se comportem como "pequenos cientistas".

Uma nova visão do ensino das ciências começa a esboçar-se na segunda metade da década de 60. Os jovens tornam-se cada vez mais sensíveis às interações da ciência com a sociedade e exigem que a sua discussão seja feita nas classes de ciências. É neste contexto que um grupo de professores reunidos em torno da Graduate School of Education da Universidade de Harvard, atento à camada jovem que começava a desinteressar-se da ciência, assume com notável clareza as aspirações da

época e decide iniciar estudos para a organização de um curso de física em que os aspectos humanísticos fossem amplamente contemplados. Alguns destes professores, depois de vários ensaios e avaliações, produzem mais tarde o "Project Physics Course" cuja primeira edição aparece nos Estados Unidos em 1970.

A consciência que tínhamos do divórcio existente entre Portugal e os demais países em matéria de ensino da física, aliado ao facto de termos tido um conhecimento profundo do Project Physics Course, levou-nos a procurar o Serviço de Educação da Fundação Calouste Gulbenkian, instituição já então conhecida pelo acolhimento dado às iniciativas no campo da biologia, e a propor-lhe um plano cuja meta final consistia na adaptação ao sistema de ensino português de um projecto de física reconhecido como o mais adequado e actualizado.

A Fundação Calouste Gulbenkian acolheu do melhor modo a iniciativa, tendo-se estabelecido, depois de discussões e decisões várias, adaptar o Project Physics Course num plano dividido em três fases.

Com a presente tradução dá-se cumprimento à primeira fase a qual atinge já um duplo objectivo:

- 1 — torna o projecto acessível a todos os professores e alunos que desejem participar na adaptação, e
- 2 — proporciona um apreciável conjunto de recursos de aprendizagem utilizáveis em diversas situações de ensino do curso complementar, prático ou mesmo universitário.

Na segunda fase pretende-se realizar uma série de «workshops» e seminários com o objectivo de permitir um contacto mais completo com os vários recursos de aprendizagem do projecto, nomeadamente filmes, transparências e equipamento de laboratório.

A terceira fase será dedicada à adaptação dos textos. Pretende-se que esta resulte do maior número possível de críticas e sugestões surgidas durante a segunda fase ou trazidas ao nosso conhecimento por outra qualquer via, nomeadamente por escrito e dirigidas ao Serviço de Educação — Ensino da Física, Fundação Calouste Gulbenkian, Avenida de Berna, Lisboa - I.

Todos os que neste projecto têm trabalhado dedicadamente esperam deste modo ter contribuído para que em Portugal se abram novas perspectivas no domínio do ensino da física.

Pelo Grupo de Coordenadores

MARIA ODETE VALENTE

## PREFÁCIO

**Generalidades** O "Project Physics Course" baseia-se nas ideias e nos resultados experimentais de um projecto curricular nacional que se desenvolveu em três fases. Primeiro, os três autores colaboraram no estabelecimento dos objectivos principais e nos tópicos de um novo curso introdutório. Trabalharam juntos de 1962 a 1964 com o suporte financeiro da Carnegie Corporation de New York, sendo a primeira versão do texto ensaiada com resultados encorajadores.

Estes resultados preliminares conduziram à segunda fase do projecto, altura em que o U. S. Office of Education e a National Science Foundation concederam uma série de bolsas com início em 1964. Foi igualmente concedido um inestimável suporte financeiro pela Ford Foundation, Alfred P. Sloan Foundation, Carnegie Corporation e Universidade de Harvard. Um número elevado de colaboradores de todas as partes do país trabalhou com o grupo durante mais de quatro anos sob o título de "Harvard Project Physics". No centro do projecto, localizado na Universidade de Harvard, Cambridge, Massachusetts, o corpo principal do projecto e dos consultores incluía físicos, astrónomos, químicos, historiadores e filósofos da ciência, professores de universidades e de escolas secundárias, educadores de ciência, psicólogos, especialistas de avaliação, engenheiros, realizadores, artistas e projectistas. Os professores das classes experimentais assim como os alunos dessas classes foram de vital importância para o sucesso do Harvard Project Physics. À medida que se desenvolvia uma versão experimental do curso, ela era ensaiada nos Estados Unidos e Canadá. Os professores e alunos comunicavam as suas críticas e sugestões aos membros do projecto em Cambridge. Estes relatos constituíam a base para a revisão do ano seguinte. O número de professores que participaram na fase experimental elevou-se a 100. Cerca de 5 000 alunos participaram no último ano de ensaio num programa de pesquisa formal, em larga escala, levado a cabo para avaliação dos resultados obtidos através do projecto.

No auge do desenvolvimento do curso e das actividades de colheita de dados, entrou-se na fase final do projecto. Durante os últimos dois anos, o trabalho do projecto centrou-se no desenvolvimento e na realização de programas de preparação de professores, na dissemi-

nação de informações acerca do curso, na análise de grande quantidade de dados resultantes da avaliação e na redacção de um relatório completo sobre os resultados, numa tentativa de se descobrir como poderia o curso ser reformulado adaptando-se a audiências específicas.

Gostariamos se fosse possível de enumerar todas as contribuições de cada uma das pessoas que participaram nalguma parte do Harvard Project Physics. Infelizmente isso não é possível, uma vez que a maioria dos colaboradores trabalharam em diversos materiais e tiveram responsabilidades múltiplas. Acresce ainda o facto de cada capítulo do texto, experiência, aparelho, filme ou outro elemento do programa experimental beneficiar das contribuições de muita gente. Havia de facto muitos colaboradores para ser possível mencioná-los todos. Estes, incluem administradores das escolas e universidades que participaram nas experiências, directores e professores das instituições de formação de professores, professores que utilizaram o curso a seguir ao ano de avaliação e em especial os milhares de alunos que não só concordaram em usar a versão experimental do curso como estavam também decididos a apreciá-lo criticamente e a contribuir com as suas opiniões e sugestões.

**Objectivos** Desde o início o Harvard Project Physics teve três grandes objectivos: organizar um curso de física orientado humanisticamente, atrair um número maior de alunos para o estudo da física introdutória e descobrir algo mais sobre os factores que influenciam a aprendizagem da ciência. O último envolveu pesquisa educacional extensa cujos resultados foram já publicados em revistas.

Há cerca de dez anos tornava-se claro ser necessário um novo curso introdutório que atraísse maior número de candidatos. O problema que se punha ao Harvard Project Physics era o de projectar um curso humanístico que fosse útil e interessante para alunos com uma gama variada de capacidades, conhecimentos prévios e projectos futuros de carreira. Na prática, significava projectar um curso que deveria ter os seguintes efeitos:

1 — Ajudar os alunos a aumentarem o seu conhecimento do mundo físico concentrando-os nas ideias que melhor caracterizam a física enquanto ciência, em vez de os centrar em pedaços isolados de informação.

2 — Ajudar os alunos a verem a física como uma maravilhosa actividade com muitas facetas humanas. Isto significa apresentar o assunto numa perspectiva cultural e histórica, e mostrar que as ideias da física têm uma tradição ao mesmo tempo que modos de adaptação e mudança evolutivos.

3 — Aumentar a oportunidade de cada aluno na participação em experiências de ciência, imediatamente compensadoras, mesmo enquanto adquirindo o conhecimento e as capacidades úteis a longo prazo.

4 — Tornar possível aos professores a adaptação do curso aos interesses e capacidades variados dos seus alunos.

5 — Ter em conta a importância do professor no processo educativo no vasto espectro de situações de ensino.

Como respondeu o Harvard Project Physics a este desafio? Num certo sentido, cada aluno que entra neste curso deve responder a esta questão pessoalmente. Contudo, é um prazer indicar que o estudo

dos muitos resultados e opiniões de alunos, levado a cabo em universidades e escolas nos Estados Unidos e Canadá conduziu a resultados gratificantes, desde as excelentes classificações obtidas nos testes de conhecimento de física, até à satisfação pessoal de cada um dos alunos. É evidente que a composição diversificada dos alunos dos grupos experimentais correspondeu bem ao conteúdo da física, à ênfase humanística do curso e aos seus flexíveis e variados materiais de apoio.

O "Project Physics Course" hoje Utilizando a última versão do curso desenvolvido pelo Harvard Project Physics como ponto de partida e tendo em consideração os resultados das experiências realizadas, os três colaboradores originais decidiram desenvolver uma versão adaptada a uma publicação em grande escala. É com especial prazer que agradecemos a assistência dada pelo Dr. Andrew Ahlgren da Universidade de Minnesota. O Dr. Ahlgren foi de inestimável valor pelas suas capacidades como professor de física, pelo seu talento editorial, a sua versatilidade e energia e sobretudo pelo cometimento aos objectivos do Harvard Project Physics.

Gostaríamos também de especialmente agradecer à senhora Joan Laws cujas capacidades administrativas, confiança e reflexão tanto contribuíram para o nosso trabalho. O editor Holt, Rinehart and Winston, Inc., de New York forneceu a coordenação, o suporte editorial e o trabalho de base necessário ao grande empreendimento da versão final de todos os componentes do Project Physics Course, incluindo textos, aparelhos de laboratório, filmes, etc. A Damon-Educational Division localizada em Westwood, Massachusetts, trabalhou de perto connosco no melhoramento dos desenhos dos aparelhos e na verificação da sua integração adequada ao projecto.

Desde a sua última utilização na versão experimental, todos os materiais têm sido mais intimamente integrados e de novo escritos. O curso consiste hoje em uma grande variedade de materiais de aprendizagem entre os quais o livro de texto é apenas um; existem ainda as colectâneas de textos, manuais de actividades, guias para o professor, livros de instrução programada, filmes sem-fim "loop", filmes de 16 mm, transparências, aparelhos e livros de testes. Com a ajuda dos materiais de instrução e a orientação do professor, com o próprio interesse do aluno e esforço, cada aluno pode esperar ter com o curso uma experiência bem sucedida e válida.

Nos próximos anos, os materiais do Project Physics serão revistos tantas vezes quantas as necessárias para a remoção das ambiguidades ainda existentes e clarificação das instruções de modo a tornar os materiais mais interessantes e relevantes para os alunos. Deste modo pedimos a quantos usem este curso que nos enviem (ao cuidado de Holt, Rinehart and Winston, Inc, 383 Madison Avenue, New York, New York 10017) todas as sugestões e críticas. E agora — bem-vindos ao estudo da física.

F. James Rutherford  
Gerald Holton  
Fletcher G. Watson

## EXPERIÊNCIA 1-7 A MEDIÇÃO DA ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE $a_g$

Parece-nos hoje estranha a ideia de Aristóteles, de que os corpos em queda sobre a Terra procuram os seus lugares naturais. É que, no fim de contas, conhecemos a resposta: é a força da gravidade que faz cair os objectos.

Mas o que é exactamente a gravidade? Newton procurou dar um sentido prático à ideia de gravidade, procurando as leis de acordo com as quais ela actua. Junto da Terra, os corpos caem em direcção a ela com uma certa aceleração devido à "atração" gravitacional da Terra. Mas como poderá a Terra fazer com que um corpo colocado a uma certa distância caia em direcção a ela? Como se transmitirá a força gravitacional? Terá a aceleração devida à gravidade sido sempre igual? Ainda hoje não foram respondidas satisfatoriamente estas como muitas outras questões a respeito da gravidade.

Quer faça uma ou várias partes desta experiência, os efeitos da gravidade tornar-se-ão para si mais familiares — descubra por si só a aceleração dos corpos em queda livre — e, de qualquer modo, virá a aprender mais a respeito da gravidade nos próximos capítulos.

### Método A: $a_g$ a partir da queda livre

Mede-se nesta experiência a aceleração de um objecto em queda. Uma vez que a distância e portanto a velocidade da queda são demasiado pequenas para que se torne importante a resistência do ar, e uma vez que as outras formas de atrito são muito pequenas, a aceleração de um corpo em queda é, muito aproximadamente,  $a_g$ .

### A Realização da Experiência

O objecto em queda é um peso vulgar de laboratório, munido de um gancho, com uma massa de pelo menos 200 gramas. (O arrasto da fita de papel que lhe será associada tem um efeito demasiado grande na queda de pesos mais leves). O peso é suspenso de uma fita de papel com cerca de 1 metro de comprimento. Reforce a fita, recobrimdo-a com duas voltas de papel numa das extremidades, e fazendo neste reforço um pequeno orifício a cerca de



um centímetro da ponta, de onde se pendurará o peso. Manuseando-o cuidadosamente, este dispositivo poderá aguentar pelo menos um quilograma de peso.

Ao deixar cair o peso suspenso, um diapasão em vibração com um dos braços encostado à fita de papel marcará nesta intervalos de tempo iguais.

O diapasão deverá ter uma frequência entre cerca de 100 vibrações/segundo e cerca de 400 vibrações/segundo. Para obter o registo sobre a fita de papel, o diapasão deverá ter um pequeno cone de feltro (cortado da ponta de um marcador, por exemplo) colado num dos seus braços, próximo da extremidade. Uma massa tão pequena como esta afecta a frequência do diapasão de muito menos do que 1 vibração/segundo. Saturar a ponta de feltro com uma ou duas gotas de tinta, ponha o diapasão em vibração e segure a ponta, suavemente, de encontro à fita de papel. Durante a queda, a fita de papel será convenientemente guiada entre duas tachas pregadas na borda de uma mesa. A maneira mais fácil de proceder consiste em ter um assistente a segurar na fita, com o peso na ponta, bem na vertical, até encostar a ponta em vibração do diapasão de encontro a ela e dizer "Agora". Depois

de praticar com alguns ensaios, obter-se-á habilidade suficiente para marcar várias dezenas de centímetros de fita com uma linha ondulante, à medida que a fita acelerada pela queda do peso passa pelo diapasão estacionário em vibração.

Em vez de usar o cone de feltro embebido em tinta, poder-se-á premir um canto do diapasão em vibração de encontro a um quadrado de 2 ou 3 centímetros de lado de papel químico que as tachas segurem, com a face impregnada virada para o lado da fita em queda. Com alguma prática, este método pode levar a obter uma série de pontos sobre a fita, sem retardar seriamente a sua queda.

#### A Análise das Fitas de Papel

Marque com um A a crista de uma das primeiras alternâncias (ou pontos) da fita, desenhada evidentemente no início do movimento. Conte 10 intervalos entre cristas (ou pontos) e marque o fim do décimo intervalo com um B. Continue a marcar cada décima crista com uma letra, até ao fim do registo, que deverá ter pelo menos 40 alternâncias.

No ponto A, a fita tinha já uma velocidade  $v_0$ . Deste ponto até B, a fita percorreu uma distância  $a$  que chamaremos  $d_1$ , no tempo  $t$ . Esta distância é descrita pela equação da queda livre:

$$d_1 = v_0 t + \frac{a_e t^2}{2}$$

Ao cobrir a distância de A a C, a fita gastou um tempo exactamente duplo do anterior,  $2t$ , e caiu uma distância  $d_2$  descrita (substituindo  $t$  por  $2t$  e simplificando) pela equação:

$$d_2 = 2v_0 t + \frac{4a_e t^2}{2}$$

Do mesmo modo, as distâncias AD, AE, etc., são descritas pelas equações:

$$d_3 = 3v_0 t + \frac{9a_e t^2}{2}$$

$$d_4 = 4v_0 t + \frac{16a_e t^2}{2}$$

e assim por diante.

Todas estas distâncias são medidas a partir de A, escolhido arbitrariamente como ponto de partida. Para determinar as distâncias percorridas em cada intervalo de tempo correspondente a 10 cristas (ou pontos), há que subtrair cada equação da imediatamente anterior, o que dá:

$$AB = v_0 t + \frac{a_e t^2}{2}$$

$$BC = v_0 t + \frac{3a_e t^2}{2}$$

$$CD = v_0 t + \frac{5a_e t^2}{2}$$

$$DE = v_0 t + \frac{7a_e t^2}{2}$$

Destas equações se pode ver que o peso cai uma maior altura em cada intervalo de tempo subsequente. Além disso, ao subtrair cada uma destas distâncias: AB, BC, CD, ... da distância imediatamente seguinte, vê-se que o *aumento* da distância de queda é constante. Isto é, cada diferença  $BC - AB = CD - BC = DE - CD = a_e t^2$ . Esta quantidade é o aumento da distância de queda em cada intervalo de 10 cristas e é, portanto, uma aceleração. A nossa fórmula mostra que um corpo cai com uma aceleração constante.

Das medidas de AB, AC, AD, etc., construa uma coluna de AB, BC, CD, DE, etc., registando na coluna seguinte os valores de  $a_e t^2$ . Os valores de  $a_e t^2$  deverão ser todos iguais (dentro da precisão das medidas). Porque? Faça as suas medidas tão precisamente quanto possível com o equipamento de que disponha.

Obtenha a média de todos os valores de  $a_e t^2$ , a aceleração em centímetros/(intervalo de 10 cristas)<sup>2</sup>. Pretende-se determinar a aceleração em cm/s<sup>2</sup>. Chamando-se  $n$  à frequência do diapasão (vibrações/segundo), a extensão do intervalo de tempo  $t$  será de  $10/n$  segundos. Substituindo o  $t$ , correspondente a 10 cristas, por  $10/n$  segundos obter-se-á a aceleração  $a_e$  em cm/s<sup>2</sup>.

1. Que valor obteve para  $a_g$ ? Qual o erro percentual do valor obtido? (O valor ideal para  $a_g$  é de cerca de  $9.8 \text{ m/s}^2$ ).

### Método B: $a_g$ a partir de um pêndulo

Pode-se medir facilmente a aceleração devida à gravidade a partir da oscilação de um pêndulo. É claro que o pêndulo não cai directamente para baixo, mas o tempo que ele leva a fazer uma oscilação depende de  $a_g$ . O tempo  $T$  necessário para uma oscilação completa é de

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{a_g}}$$

Nesta fórmula  $l$  é o comprimento do pêndulo. Medindo  $l$  com uma régua e  $T$  com um relógio, poder-se-á obter o valor de  $a_g$ .

Aprenderá a dedução desta fórmula num curso de física mais desenvolvido. Os cientistas usam frequentemente fórmulas não deduzidas por eles próprios, desde que confiem na sua validade.

### A Efecuação das Medidas

A fórmula diz respeito a um pêndulo no qual toda a massa está concentrada no corpo dele pendurado. Portanto, o melhor pêndulo a usar será aquele que tiver um corpo constituído por uma esfera de metal, suspenso por um fio fino. Poder-se-á então estar seguro de que quase toda a massa está concentrada no corpo. O comprimento do pêndulo,  $l$ , é a distância entre o ponto de suspensão e o centro do corpo pendurado.

O fio de sustentação poderá ter qualquer comprimento conveniente. Meça  $l$  tão precisamente quanto possível.

Poronha o pêndulo em movimento, mas com uma pequena amplitude de oscilação. A fórmula não é muito correcta quando se trata de grandes oscilações, como poderá verificar por si próprio, mais tarde.

Meça a duração de pelo menos 20 oscilações completas, ou mesmo mais se possível.

A vantagem de medir muitas oscilações, em vez de uma só, consiste no facto de reduzir os erros cometidos no arranque e paragem do cronómetro a uma pequena fracção do tempo total medido. (Ao dividir por 20, para obter o tempo correspondente a uma única oscilação completa, o erro do valor calculado para esta será apenas de  $1/20$  do que se teria se se medisse uma única oscilação completa).

Divida o tempo total pelo número de oscilações, para determinar o tempo  $T$  de uma oscilação.

Repita a medida pelo menos uma vez, para verificação.

Substitua finalmente as quantidades medidas na fórmula e resolva-a em relação a  $a_g$ .

O valor aceite normalmente para  $a_g$  é de  $9.80 \text{ m/s}^2$ .

1. Que valor obteve para  $a_g$ ?
2. Qual é o erro percentual? O erro percentual é obtido dividindo o erro obtido pelo valor aceite e multiplicando por 100:

$$\frac{\text{valor aceite} - \text{valor calculado}}{\text{valor aceite}} \times 100$$

$$= \frac{\text{erro obtido}}{\text{valor aceite}} \times 100$$

Com algum cuidado, o valor que obteve para  $a_g$  deverá concordar com o valor aceite a menos de 1%.

3. Qual das medidas que teve que fazer acha que foi a menos precisa?

Se acha que a medida menos precisa foi a do comprimento do pêndulo, e se pensa que o erro que cometeu não foi superior a 0,5 cm, mude o valor de  $l$  de 0,5 cm e calcule novamente o valor de  $a_g$ . Variou o valor de  $a_g$  o suficiente para cobrir o erro anteriormente calculado? (Se  $a_g$  aumentou e se o valor anterior de  $a_g$  era já demasiado alto, isto quer dizer que deveria ter alterado o valor de  $l$  no sentido contrário. Tente novamente!)

Se o erro que estimou para a medida do comprimento do pêndulo não for suficiente para explicar a diferença entre o valor calculado para  $a_g$  e o valor aceite, tente alterar o tempo



total medido de alguns décimos de segundo — considerando assim um possível erro na medida deste tempo. Haverá então que recalcular  $T$  e depois  $a_g$ .

Se nenhuma destas tentativas resultar (nem uma conjugação de ambas, tomadas no sentido conveniente), é quase certo que terá cometido um erro nos cálculos ou na leitura dos aparelhos de medida. É altamente improvável que o valor de  $a_g$  na sua escola difira do valor aceite por mais do que uma unidade no terceiro dígito.

#### Método C: $a_g$ a partir de um filme em câmara lenta (Filme Sem-fim)

Poder-se-á filmar um objecto em queda livre, junto de uma régua graduada, com uma câmara de filmar de alta velocidade. Poder-se-á então determinar  $a_g$  na projecção do filme à velocidade normal, medindo o tempo necessário para que o objecto caia determinadas distâncias.

Um método semelhante é utilizado nos *Filmes Sem-Fim* 1-5 e 1-6. São dadas instruções pormenorizadas para o seu uso nas *Notas sobre os Filmes Sem-Fim*, nas páginas 193 e 194.

#### Método D: $a_g$ a partir da queda de gotas de água

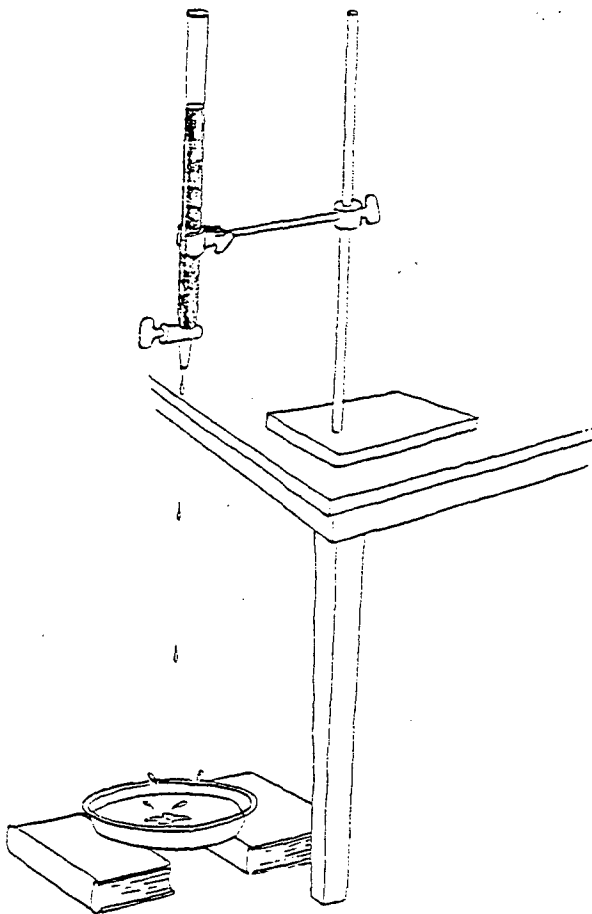
Poder-se-á medir a aceleração da gravidade,  $a_g$ , servindo-se simplesmente de gotas de água a cair sobre uma travessa.

Ponha uma travessa ou um prato de metal ou um tabuleiro de metal no chão e monte um tubo de vidro com uma válvula ou uma torneira na ponta inferior, de tal modo que as gotas de água que saem da torneira caiam pelo menos um metro até atingir a travessa. Assente a travessa em três ou quatro pedaços de madeira, de modo que as gotas de água façam bastante ruído ao chocar nela, como se fosse num tambor.

Ajuste cuidadosamente a torneira, de modo que uma gota atinja a travessa no mesmo instante em que a seguinte começa a cair da

torneira. Será fácil de conseguir isto *olhando* para as gotas que saem da torneira enquanto se *ouve* o ruído que elas provocam na travessa. Ao acabar de ajustar a torneira, o tempo que cada gota leva a cair até à travessa será igual ao intervalo de tempo entre a saída de uma gota e a da seguinte.

Ajustada a taxa de saída das gotas, determine o intervalo de tempo  $t$  entre duas gotas. Para obter uma maior precisão, conte o número de gotas que caem em meio minuto ou num minuto, ou meça o tempo necessário para que caiam 50 ou 100 gotas.



É natural que os resultados sejam mais precisos se se fizerem vários ensaios, ajustando de cada vez a taxa de formação das gotas e tomando finalmente a média dos números de

gotas ou dos tempos medidos. Esta média de vários ensaios deverá ter um valor mais próximo da taxa real de queda das gotas, do número de gotas ou do intervalo de tempo do que aconteceria se se fizesse só um ensaio.

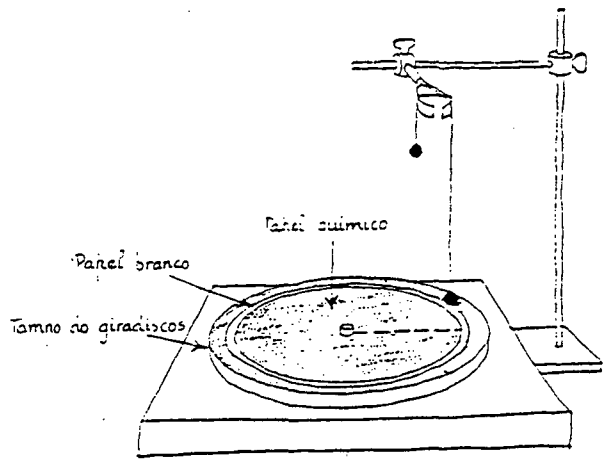
Dispõe agora de todos os dados que necessita. Conhece o tempo  $t$  que uma gota gasta para cair, a partir do repouso, de uma distância  $d$ . A partir destes valores poderá calcular  $a_g$ , já que sabe que  $d = \frac{1}{2}a_g t^2$ , para os objectos que caem a partir do repouso.

1. Qual o valor que obteve para  $a_g$ ?
2. Qual é o erro percentual? Compare-o com o de outros métodos que tenha usado.
3. O que acha que provocou esse erro? Poderá ter sido um deficiente funcionamento da torneira, permitindo por vezes a saída de mais água que o desejado? Como pode este facto afectar a sua resposta?  
Suponha que a distância de queda diminui pela formação de uma poça na travessa. Como seria o resultado alterado por este facto?  
Suponha que a pressão da água diminui depois de um certo período de gotejar: este facto aumentaria ou diminuiria a taxa de formação de gotas? Obtém o mesmo número de contagens ao reencher o tubo depois de cada ensaio?  
Poderia o início e a paragem da sua contagem de gotas, perante o tempo marcado no relógio, afectar a sua resposta? Que outros factos poderão ser responsáveis pelo seu erro?
4. Será capaz de adaptar este método de medida da aceleração da gravidade, de modo a usá-lo em casa? Resultará ele no lava-loiças da cozinha? Ou se a água cair de uma altura maior, como por exemplo da ponta de uma caleira?

**Método E:**  $a_g$ , a partir da queda de uma bola e um gira-discos

Poder-se-á também medir  $a_g$  com a ajuda de um gira-discos, de um suporte com um

gancho, de uma folha de papel químico e outra de papel branco, de duas pequenas bolas perfuradas e de um pedaço de fio fino.



Ligiem-se as duas bolas com o fio, colocado de modo a abraçar o gancho do suporte. Alinhem-se as bolas segundo o raio do gira-discos e coloque-se a bola mais abaixo imediatamente acima do papel químico, como se mostra na figura.

Com o gira-discos em movimento, queime-se o fio: cada uma das bolas cairá no papel químico, deixando uma marca no papel branco colocado por baixo dele.

Meça-se a distância vertical entre as bolas e a distância angular entre as marcas. Com estes valores e conhecendo a velocidade do gira-discos determine-se o tempo que durou a queda livre.

1. Qual o valor obtido para  $a_g$ ?
2. Qual o erro percentual?
3. Qual será a fonte de erro mais provável? Explique.

**Método F:**  $a_g$ , a partir de uma fotografia estroboscópica

A fotografia de uma pequena lâmpada em queda, com uma câmara polaróide, fornece

um registo que pode ser representado num gráfico e analisado de modo a dar um valor médio de  $a_0$ .

1. Qual o valor obtido para  $a_0$ ?
2. Qual o erro percentual?
3. Qual será a fonte de erro mais provável? Explique.

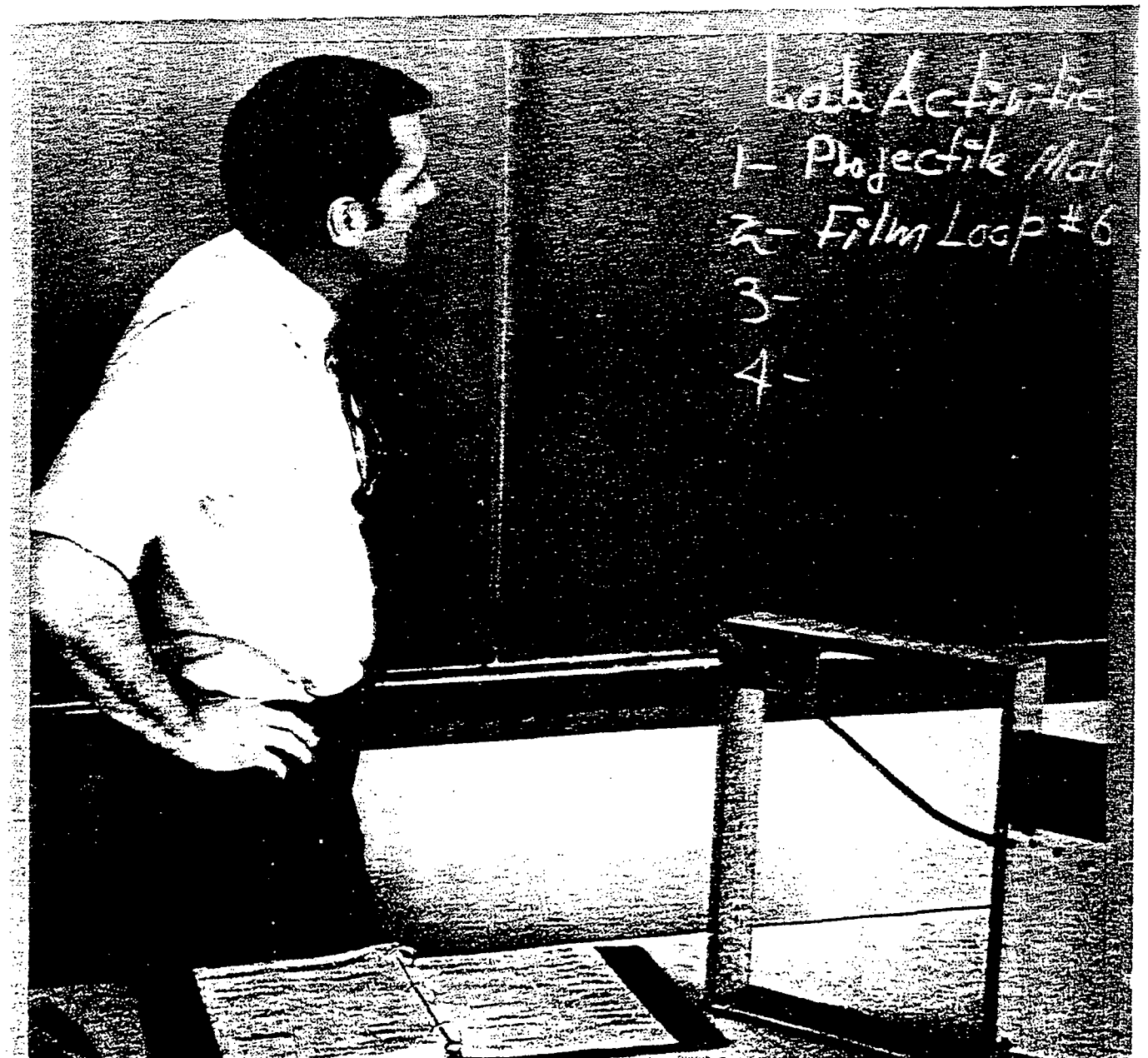




# PROJECTO FÍSICA

UNIDADE 1 CONCEITOS DE MOVIMENTO

GUIA DO  
PROFESSOR



# Organização das Aulas

## Unidade I SUGESTÃO PARA UMA PLANIFICAÇÃO POR BLOCOS

Cada bloco representa um dia de aula e implica aproximadamente um período de 50 minutos. As palavras em cada bloco indicam só o material básico a considerar ou a actividade principal do dia. O trabalho de casa sugerido (indicado acima de cada bloco) refere-se principalmente ao Texto e ao Manual, mas não significa que se exclua o uso da Colectânea de Textos, Fascículos de Instrução Programada e outras fontes de aprendizagem.

### CAPÍTULO 1 A LINGUAGEM DO MOVIMENTO

	Texto: Introdução Manual: Introdução	Colectânea de Textos: 7 e 8	Texto: 1.1-1.4	Manual: Análise dos dados de E1-4
Escola aberta Apresentação de exemplos de múltiplos meios de comunicação	Introdução ao uso dos múltiplos meios de comunicação	Qualquer filme sem fim sobre o Movimento (5 min.) Discussão em pequenos grupos	Estações Experimentais: Movimento Uniforme (Ver pág. 6. 4.º dia)	Estações Experimentais Aceleração (Ver pág. 6. 5.º dia)

### CAPÍTULO 2 A QUEDA LIVRE — GALILEU DESCREVE O MOVIMENTO

	Texto: perguntas seleccionadas do Guia de Estudo	Relatório de E1-4	Texto: 2.1-2.4	Texto: 2.5-2.10
Texto: 1.5-1.8	Resolução de problemas em pequenos grupos ou actividades especiais	* Discussão em pequenos grupos: Secção 2.3	Apresentação do professor E1-5: Uma experiência do século XVII	Uma experiência do século XVII (cont.)
Apresentação pelo professor: gráficos, velocidade, aceleração instantânea				

### CAPÍTULO 3 O NASCIMENTO DA DINÂMICA

	Manual: Breve Revisão do Capítulo 2	Relatório	Manual: Leitura de E1-1 Astronomia a olho nu	Observação do céu Texto: 3.1-3.4
Manual: Relatório de E1-5	Estações Experimentais: Queda livre	Apresentação pelo professor: Galileu, Queda Livre. Pequeno Teste	Organização de E1-1: Astronomia a olho nu	Estações Experimentais Vectors (Ver pág. 7. 15.º dia)
Resolução de problemas em pequenos grupos				
— NEWTON EXPLICA O MOVIMENTO	Observação do Céu Texto: 3.5-3.9	Observação do Céu Texto: 3.10-3.11	Observação do Céu Texto: perguntas seleccionadas do GE	Observação do Céu Relatório de E1-1 e E1-8
Observação do Céu Fascículo de ensino programado: Vectors II	Sessão de Laboratório: 2.ª Lei de Newton	Orientação da discussão pelo professor: Leis de Newton	Resolução de problemas em pequenos grupos	Apresentações pelos alunos: Astronomia a olho nu
Apresentação do professor: Vectors				

### CAPÍTULO 4 A COMPREENSÃO DO MOVIMENTO

	Texto: 4.1-4.3 Manual: Breve revisão do Cap. 4	Observação do Céu Colectânea de Textos: 11 e 14	Observação do Céu Texto: 4.4-4.8	Observação do Céu Registo das conclusões
Revisão do Capítulo 3	Sessão de Laboratório: Movimento de um projectil	Discussão dos Textos pelos alunos O professor discute o movimento de um projectil	Sessão de Laboratório: Movimento circular	Apresentações pelos alunos Movimento circular. Astronomia a olho nu
Avaliação dos alunos				
Escrever relatórios Texto: nova leitura de 4.4	Texto: perguntas seleccionadas do GE	Unidade I Epilogo	Revisão da Unidade I	
Filme PSSC: Referenciais Discussão em pequenos grupos	Orientação da discussão pelo professor: movimento circular uniforme Perguntas do GE	Revisão ou Avaliação individual do aluno	Teste ou Avaliação individual do aluno	Discussão do Teste ou Avaliação individual

## BREVE EXPLICAÇÃO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE MÚLTIPLOS MEIOS DE COMUNICAÇÃO

A utilização de múltiplos meios de comunicação é apenas um estilo de condução das aulas entre muitos possíveis. Aqui o professor é um condicionador do meio ambiente e um conselheiro. A condução permite o controlo do programa pelo professor. Ao mesmo tempo, os alunos experimentam uma certa liberdade em estilos de aprendizagem. A maior parte das vezes o professor orienta através de respostas e perguntas específicas feitas a pequenos grupos ou indivíduos. O estilo é informal e não autoritário. Contudo, em certas ocasiões o professor faz uma apresentação a toda a turma. Por exemplo, no Capítulo 1, no plano diário, o professor apresenta gráficos, velocidade e aceleração, no sexto dia. Os alunos podem pedir esclarecimentos adicionais sobre tópicos específicos.

Há estilos de ensino tão bons como este. Há muitas organizações de trabalho diferentes dentro do contexto dos Múltiplos Meios de Comunicação. Contudo, oferece-se este plano para que um novo professor possa ver a organização de um programa para uma unidade do Projecto Física. Sugere-se aos professores que modifiquem este plano ou inventem o seu próprio estilo.

### Unidade 1

#### PORMENORES DA PLANIFICAÇÃO DOS MÚLTIPLOS MEIOS DE COMUNICAÇÃO

##### 1.º Dia

Dedique o tempo necessário à abertura do curso. Apresente à classe seis ou sete meios de instrução. Faça notar que o primeiro trabalho de leitura não se destina a ensinar-lhe Física, mas sim a mostrar-lhe o que faz um físico e a apresentar-lhe os materiais que tem ao dispor para aprender a Física.

##### 2.º Dia

Este dia destina-se a explicar os Múltiplos Meios de Comunicação e a dar aos alunos a responsabilidade da instrução autodirigida.

##### 3.º Dia

Depois do Filme-sem-fim, divida ao acaso a turma em pequenos grupos. Faça três ou quatro questões em aberto sobre o Filme. Seja ouvinte.

Dedique algum tempo a comentar como se deve utilizar o *Texto* do modo mais eficiente.

##### 4.º Dia

Estações Experimentais: Movimento uniforme  
Os alunos devem fazer observações qualitativas de objectos em movimento uniforme. Os alunos gastam cerca de 8 a 10 minutos em cada estação. Serão úteis breves conselhos sobre o que procurar em cada estação.

1. Discos de borracha numa bandeja
2. Discos sobre esferas de plástico
3. D2 (carrinho com acelerómetro)

4. Fotografia polaróide do tractor, pisca-pisca
5. L8 e L9 (Filmes-sem-fim)
6. T0 ou T1 (Transferências)

Dedique um minuto à descrição do Manual

##### 5.º Dia

Estações Experimentais: Movimento acelerado

1. D4 (carrinho com acelerómetro)
2. Fotografia estroboscópica de queda livre
3. L4 (a matter of relation motion)
4. D3 (Análise de fotografia estroboscópica)
5. L9 (Analysis of a hurdle race)

Dedique um minuto para referir a apresentação do dia seguinte. Encoraje o registo de resultados.

##### 6.º Dia

Embora haja pouco tempo para explicações, os alunos estão ocupados. Têm imensas perguntas e muitos resultados. Podem usar-se várias demonstrações, transparências e exemplos para clarificar os conceitos e as suas medições. Comente perguntas no Guia de Estudo.

##### 7.º Dia

Entregue as respostas. Deixe os alunos que têm muitas respostas correctas continuar outras actividades que sugeriu. Constitua grupos para resolução de problemas cuidadosamente. Permita trabalho individual. Apareça em todos os grupos.

Dedique um minuto para comentar o trabalho tendo em mente a primeira avaliação dos alunos.

##### 8.º Dia

Divida a turma em pequenos grupos a dialogar. Mandar cada grupo ler e discutir os diálogos na obra de Galileu *Two New Sciences*. Dê algumas perguntas a cada grupo.

##### 9.º Dia

Explique E1-5 "Uma experiência do século XVII" com pormenor. Insista na estrutura do pensamento científico incluindo definições, hipóteses e a dificuldade de Galileu em verificar experimentalmente a sua noção de aceleração.

##### 10.º Dia

Os alunos realizam "Uma Experiência do Século XVII" (E1-5). Perto do final da sessão faça algumas perguntas a cada grupo sobre esta experiência.

##### 11.º Dia

Distribua a cada grupo alguns problemas sobre aceleração em queda livre e "Uma Experiência do Século XVII". Pode começar a desenvolver aspectos matemáticos da queda livre para a sessão de laboratório do dia seguinte. Dedique um minuto a assinalar aos alunos que deviam procurar na Secção de Actividades do Manual com a ideia de escolher a sua actividade para o dia seguinte.

##### 12.º Dia

Os alunos podem escolher, para fazer um estudo pormenorizado, um dos seguintes temas:

1. L1 ou L2

2. Determinação de  $a$ , por qualquer dos métodos de E1-7
3. Qualquer actividade

**13.º Dia**

Esta lição deveria tratar da vida e época de Galileu e também salientar a necessidade de verificar as teorias experimentalmente.

Discuta: A queda livre é igual para massas diferentes? É igual em todas as posições no espaço?

**14.º Dia**

E1-1 "Astronomia a Olho Nu" exige recolha de dados sistematicamente ao longo de um período de semanas. Indique aos alunos e/ou grupos objectos concretos sobre quais possam recolher informação; Sol, Lua, estrelas específicas, planetas, etc. Estas observações serão muito úteis se forem efectuadas antes da Unidade 2.

**15.º Dia**

Sessões de Laboratório: Vectores

1. D7 (dois modos de demonstrar a adição de vectores)
2. D8 (sentido da aceleração e velocidade)
3. Vectores I, II, III (Fascículos de Instrução Programada)
4. L3 (vector addition — velocity of a Boat)
5. Filme do PSSC. "Vectores"

**16.º Dia**

Explicação sobre vectores. Pode ser útil ter os Fascículos de Instrução Programada na aula para que os alunos possam trabalhar em exemplos da matéria exposta.

**17.º Dia**

Sessões de Laboratório: Força, Massa e Aceleração

1. D11 (inércia)
2. PSSC Exp. 21 (dependência da aceleração com a força e massa)
3. PSSC Exp. 20 (variações de velocidade, com força constante)
4. D12 (Leis de Newton — carril com almofada de ar)
5. T8 (Problema do tractor-tronco)
6. E1-8 (Segunda lei de Newton)

**18.º Dia**

Orientação da discussão pelo professor: Leis de Newton. Esclareça pontos sobre as três leis do movimento de Newton que ainda não estejam claros. Esta deve ser a aula mais importante até esta altura do ano.

**19.º Dia**

Sessão de resolução de problemas em pequenos grupos. Mostre as respostas. Deixe os alunos que tenham muitas respostas certas continuar outras actividades que lhes tenha marcado.

Estabeleça directrizes para grupos de resolução de problemas cuidadosamente. Permita a resolução individual de problemas. Apareça em todas as actividades para dar uma ajuda.

**20.º Dia**

Convide dirigentes dos diferentes grupos de alunos para apresentar observações sobre o Sol, a Lua e os planetas.

Encoraje também apresentações individuais. É muito importante que o professor resuma o que foi encontrado e chame a atenção para o que deveria aprender-se nesta aula. Sugira aos alunos que façam mais uma observação do céu a olho nu durante os próximos cinco dias de escola.

**21.º Dia**

Avaliação dos alunos.

Esta avaliação poderá ser um exame. Ou, o professor poderá utilizar mecanismos mais imaginativos tais como relatórios laboratoriais, poesia, ficção científica, séries adicionais de problemas, etc.

**22.º Dia**

Sessões de Laboratório: Movimento Complexo.

1. E1-10 (trajectórias)
2. E1-11 (previsão de trajectórias)
3. E1-12 (força centrípeta)
4. E1-13 (força centrípeta num prato giratório)
5. L6 (Galileian Relativity — Object Dropped from Aircraft)

Os alunos devem utilizar os aparelhos em cada sessão, fazendo observações qualitativas.

**23.º Dia**

Sessões de Laboratório.

As mesmas sessões do 22.º Dia mas os alunos devem escolher uma experiência e efectua-la quantitativamente.

**24.º Dia**

Os alunos relatam ao resto da turma os resultados das experiências do 23.º Dia. Insista que as apresentações têm de ser breves e claras para permitir mais tempo para discussão.

**25.º Dia**

Resolução de problemas em pequenos grupos.

Diga aos alunos para discutirem problemas em pequenos grupos. Certifique-se de que em cada grupo está um bom aluno. Circule entre os grupos.

**26.º Dia**

Mostre os primeiros 13 minutos do filme "Referenciais". Divida a turma em pequenos grupos, ao acaso, distribua três ou quatro perguntas relacionadas com o filme, e utilize o resto do período para discussão.

**27.º Dia**

Reveja o movimento de um projectil e o movimento circular uniforme. Discuta em detalhe o movimento de um satélite.

**28.º-30.º Dia**

Avaliação.

Um método de avaliação consiste em fazer uma revisão, dar um teste e discuti-lo. Destine um dia para cada actividade.

Outro método consiste em avaliar cada aluno individualmente durante três dias de trocas de impressões.

8 Organização das Aulas

Unidade 1 EXEMPLO DE UTILIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE MÚLTIPLOS MEIOS DE COMUNICAÇÃO

Nota: Esta é apenas uma das muitas possibilidades ao alcance do professor para tratar a Unidade 1

1 Revisão: Sistemas de comunicação  Texto: Introdução Manual: Introdução	2 Introdução: processos de Sistemas de comunicação  Artigos: Motion in Words Motion	3 <u>Filmes sem-fim de 5 min.</u> Discussão em pequenos grupos  Texto: 1.1-1.4	4 Estações Experimentais: Movimento Uniforme  Manual: E1-2, E1-3, E1-4
5 Estações Experimentais: Aceleração  Texto: 1.5-1.8	6 Apresentação pelo professor: gráficos, velocidade e aceleração  Perguntas seleccionadas do Guia de Estudo	7 Resolução de problemas em pequenos grupos  Relatórios	8 Discussão em pequenos grupos Sec. 2.3  Texto: 2.1-2.4
9 Apresentação pelo professor: Experiência do Século XVII  Texto: 2.5-2.10	10 Estações Experimentais: Experiência do Século XVII  Manual: E1-5	11 Resolução de problemas em pequenos grupos  Manual: Capítulo 2	12 Estações Experimentais: Queda livre  Relatório das observações
13 Apresentação pelo professor: <u>Galileu e a queda livre</u> Teste  Manual: E1-1	14 Organizar E-1: Astronomia a olho nu  Observação do céu Texto: 3.1-3.4	15 Estações Experimentais: Vectores  Instrução programada sobre vectores	16 Apresentação pelo professor: Vectores  Observação do céu: Texto: 3.5-3.9
17 Estações Experimentais Força Massa Aceleração  Observação do céu Texto: 3.10-3.11 Artigos: qualquer artigo	18 Discussão: As leis de Newton Colectânea de textos  Observação do céu Perguntas seleccionadas do Guia de Estudo	19 Resolução de problemas em pequenos grupos  Observação do céu Fazer relatórios de E1-1 e E1-8	20 Apresentação pelo alunos: <u>Astronomia a olho nu</u> Resumo pelo professor  Rever Cap. 3
21 Avaliação dos alunos  Texto: 4.1-4.3 Manual: Capítulo 4	22 Estações Experimentais  Texto: 4.4-4.6	23 Movimento complexo  Fazer relatório	24 Apresentação pelos alunos  Perguntas seleccionadas do Guia de Estudo
25 Pequenos grupos para resolução de problemas  Texto: Releer 4.4	26 <u>Filme PSSC:</u> <u>Referenciais</u> Pequenos grupos para discussão do filme  Texto: 4.7-4.8 Epilogo	27 Apresentação pelo professor Satélites  Rever Unidade 1	28 Revisão ou Avaliação individual dos alunos  Colectânea: qualquer artigo
29 Teste ou Avaliação individual dos alunos	30 Discussão do teste ou Avaliação individual dos alunos		



Se as forças são iguais e opostas, como pode um objecto acelerar? No prosseguimento deste exemplo, o ponto a ser realçado é que as forças opostas actuam em objectos diferentes. A terceira lei é necessária para a discussão de forças entre dois objectos de um sistema. Ela descreve a localização e grandeza dos vários pares de força. Pelo contrário, quando estamos interessados no movimento de um objecto particular, então devemos encontrar a resultante das forças que o actuam e aplicar a segunda lei para determinarmos a aceleração. Não é fácil distinguir a lei a usar e devem ser fornecidos outros exemplos aos estudantes.

### 3.10 UTILIZAÇÃO DAS LEIS DO MOVIMENTO DE NEWTON :

Em muitos exemplos reais são usadas conjuntamente as leis do movimento. A primeira e a terceira leis ajudam

a pôr clara a situação qualitativa e a segunda possibilita uma análise quantitativa. São apresentados nesta secção dois exemplos da utilidade das três leis no tratamento de situações físicas reais. (Um exemplo adicional é tratado no G. E. 3.34.) A intenção fundamental é demonstrar a aplicação das leis do movimento e não tornar todos os estudantes altamente habilitados a resolver problemas numéricos.

### 3.11 AS FORÇAS BÁSICAS DA NATUREZA

Considere esta secção como um exercício de leitura. Generaliza e desenvolve as leis de movimento e ajuda a introduzir o Capítulo 4. As quatro interacções básicas da natureza são mencionadas para reduzir a complexidade do mundo tal como se apresenta no momento presente e a apontar para o que vem adiante no nosso estudo de física.

## CAPÍTULO 4 A COMPREENSÃO DO MOVIMENTO

### 4.1 UMA VIAGEM À LUA

Não é fácil de decidir o que é simples ou o que é complexo. Certamente os objectivos para fazer tais distinções têm alguma coisa que ver com os critérios. Em geral, há três critérios que são usados nesta Unidade. Os dois primeiros são uniformidade e simetria. Se os parâmetros que descrevem o movimento são uniformes ou constantes em valor ou se a trajectória é simétrica, o movimento é considerado como "simples".

O terceiro critério tem a ver com dimensões. O movimento torna-se mais complexo quando se passa de uma ou duas para três dimensões. Deste ponto de vista, o movimento de um projectil e o movimento circular uniforme podem ser considerados mais complexos que o movimento rectilíneo e menos complexos que, digamos, o movimento helicoidal.

### 4.2 MOVIMENTO DE PROJECTIL

Não se ganha demasiado realçando a definição de movimento de um projectil. Os estudantes devem compreender que um projectil é um objecto que se move através do espaço sem o auxílio de força motriz própria.

O significado histórico do problema do movimento de um projectil não recebe nesta secção nem no conjunto do capítulo tanta ênfase como podia. Muitos historiadores sentem que ele foi um dos temas chaves em toda a controvérsia sobre a natureza do movimento. A teoria de Aristóteles foi pouco capaz de interpretar o movimento do projectil.

O conceito de movimento horizontal e vertical independentes pode ser um conceito difícil de aceitar pelos estudantes porque está em desacordo com a noção de senso comum que a velocidade horizontal afecta a velocidade de queda.

O estudante deve levar a cabo o argumento analítico. Apresente o aparelho que simultaneamente projecta uma esfera e deixa cair outra (ver o *Manual*, pág.159). Os estudantes devem também fazer as suas próprias medições, ou, pelo menos, ver medições feitas em fotografias ou transparências, semelhantes às apresentadas na página 106 do *Texto*.

Devem ser feitas duas chamadas de atenção importantes:

1. É um facto experimental incontestável que um projectil de pequeno alcance arremessado horizontalmente atingirá o solo ao mesmo tempo que outro objecto semelhante deixado cair, no mesmo instante e a partir da mesma altura. Este resultado, isto é, que a aceleração gravitacional de um projectil é a mesma que a aceleração gravitacional de um objecto caindo livremente a partir do repouso, provém da observação e não de deduções a partir de primeiros princípios.

2. Este facto experimental pode ser explicado ou racionalizado, admitindo que o movimento observado do projectil é a soma vectorial de dois outros movimentos que são completamente independentes um do outro: o movimento uniforme horizontal e o movimento acelerado vertical.

Os estudantes que estejam interessados no movimento do projectil e que saibam alguma trigonometria, devem ser encorajados a analisar o caso mais geral do movimento do projectil: o caso do projectil lançado sob um ângulo arbitrário. Uma vez que tenham derivado o que julgam ser as equações gerais, devem mostrar que as equações utilizadas nesta e na secção seguinte podem ser deduzidas a partir das equações gerais.

### 4.3 QUAL A TRAJECTÓRIA DE UM PROJECTIL?

O intuito desta secção é estabelecer e demonstrar o valor da matemática na ciência e justificar a necessidade

de um estudo contínuo de matemáticas puras. Para fazer isto efectivamente, é importante levantar duas outras questões, antes da derivação da equação da parábola.

1. Não há *a priori* uma razão para favorecer uma curva relativamente a outra. De facto, não há mesmo uma razão para supor que a trajectória de um projectil tem de ter sempre a mesma forma matemática.

2. A questão não pode ser resolvida simplesmente pela observação à vista desarmada da trajectória de projecteis. Primeiro porque o ângulo de observação e problemas de perspectiva tornam a observação difícil. Segundo, muitas curvas matemáticas aparecem muito semelhantes e só podem ser distinguidas por meios analíticos. Finalmente, muitos objectos que são lançados não seguem uma trajectória parabólica porque encontram ao longo do movimento uma grande e variável resistência do ar.

As dificuldades na determinação da forma das trajectórias dos projecteis podem ser facilmente demonstradas atirando objectos no interior da aula, ou, ainda melhor, no campo de jogos. Ver à *Transparência T10* "Trajectória de um projectil" do Projecto Física. O suporte que a experiência dá à combinação puramente matemática de movimento, pode evidenciar ao estudante que a manipulação matemática de símbolos, que exprimem princípios conhecidos, pode conduzir a novas relações entre os símbolos — relações que são também válidas.

Com uma turma particularmente hábil, o professor podia desenvolver a relação entre alcance do projectil, a sua velocidade e o ângulo de disparo. Este problema podia ser dado como um projecto para os melhores estudantes e que estejam familiarizados com a trigonometria. Devem tentar derivar a equação geral do movimento do projectil.

$$d_y = \text{tg } \theta \cdot d_x + \frac{1}{2} a_x \left( \frac{d_x^2}{v_0^2 \cdot \cos^2 2\theta} \right)$$

Ver "Projectile Motion" em *Foundations of Modern Physical Science*, por Holton e Roller (Bibliografia).

#### 4.4 SISTEMAS DE REFERÊNCIA EM MOVIMENTO

Há dois pontos relacionados a ser tratados nesta secção. O primeiro é o principio da relatividade de Galileu que é exclusivamente uma afirmação formal ou generalização do facto observável que as experiências mecânicas dão os mesmos resultados independentemente da velocidade (constante) do laboratório. O segundo ponto é que as leis de movimento são as mesmas em todos os sistemas de referência que se movam uniformemente relativamente uns aos outros.

Certifique, contudo, que os alunos compreendem que a aparência de qualquer movimento que eles vêem, depende do movimento relativo do observador. Pode ser de interesse o artigo "The Perception of Motion", por H. Wallach em *Scientific American*, Julho 1959. Está relacionado com o facto de as pessoas verem o movimento relativo como se ele fosse absoluto.

#### 4.5 MOVIMENTO CIRCULAR

É uma introdução à terminologia do movimento circular e não merece grande ênfase na aula. Embora não seja tratado no *Texto*, talvez valha a pena demonstrar a dificuldade em decidir se ou não um objecto está em movimento circular, quando observado de um sistema de referência que se move em relação ao objecto.

Ver o artigo de J. McDonald, "The Coriolis Effect", em *Scientific American*, Maio 1952 para alguns resultados interessantes em virtude de se estar localizado sobre a terra, num sistema de referência não inercial.

#### 4.6 ACELERAÇÃO CENTRÍPETA E FORÇA CENTRÍPETA

A dificuldade nesta secção é mostrar que a aceleração de um objecto movendo-se uniformemente numa circunferência é verdadeiramente centrípeta. O *Texto* dá somente um argumento plausível e embora possa convencer alguns estudantes, poderá deixar outros cépticos. Em muitas turmas pode ser valioso para si fazer a derivação no quadro ou usar a *Transparência T11*.

Inclui material para exercitar os estudantes a pensar em termos vectoriais. Fornece também uma oportunidade para rever e comparar três categorias de movimento consideradas: rectilíneo, de projectil e circular.

Pode também ser a altura apropriada para sugerir que o movimento circular é, realmente, um caso especial do movimento de um projectil. Pode ser feito de uma de duas maneiras. Uma maneira é comparar a relação vectorial de um objecto movendo-se com movimento circular uniforme com a relação vectorial de um projectil no topo da sua trajectória. A segunda maneira é tentá-lo através do uso de um diagrama tal como o utilizado por Newton (Figura da pág. 103).

Usa-se a relação  $a = v^2/R$  para chegar a uma solução aritmética para o mesmo problema do movimento circular uniforme resolvido graficamente no texto. Pode constituir uma oportunidade para os alunos mais brilhantes ou mais inclinados para a matemática a procurarem por si sós. De nenhum modo deviam todos os estudantes ser responsáveis pelo estudo da derivação.

Se um problema tipo for tratado na aula, um exemplo interessante pode ser determinar a aceleração de um ponto no equador devido à rotação da Terra ( $R = 6400$  km.  $t = 24$  h =  $8.64 \times 10^4$  s). O resultado deste cálculo deve ser comparado com a aceleração da gravidade. Pode ser posta a seguinte questão: "Que aconteceria se a Terra rodasse com uma velocidade tal que a aceleração centrípeta igualasse a aceleração da gravidade?" Esta ideia será retomada ainda neste capítulo.

#### 4.7 O MOVIMENTO DOS SATÉLITES TERRESTRES

Nesta secção não é apresentada física nova. Até esta altura, aquilo que os estudantes aprenderam acerca do movimento circular é quase inteiramente teórico, ou, pelo menos trata de casos como o do pisca-pisca num gira-discos, acerca dos quais a maioria dos estudantes não está muito interessada.

Usa-se o satélite Alouette porque tem uma órbita quase circular e porque tem algum significado histórico.

A dificuldade com uma lista tal como a da Tabela 4.2 é que ela se torna obsoleta mal é impressa. Foi feito um esforço para seleccionar satélites ainda com interesse. A alguns estudantes pode ser, talvez, dada a tarefa de encontrar inscrições adicionais para actualizar a lista. Para artigos frequentes sobre satélites ver a revista *Sky and Telescope*.

As questões importantes que realmente mostrarão se o estudante aprendeu a matéria dada até esta altura são: "Porque não cairá o satélite para a Terra?" Porque não se perderá um satélite no espaço extraterrestre?"

Depois da maioria dos estudantes do curso serem capazes de responder correctamente a estas questões, em termos da cinemática do movimento circular, pode evidenciar o progresso que eles fizeram, pedindo-lhes para responder a estas questões, tal como os Aristotélicos provavelmente fariam.

A secção termina sugerindo que a velocidade, a distância acima da superfície da Terra e o período de rotação não são variáveis independentes. Provavelmente não é a altura

de levantar questões acerca do modo como podem os satélites saltar de uma órbita para outra e qual o efeito que isto tem na velocidade. Contudo, pode não ser possível evitar completamente este assunto, especialmente se se verificou recentemente algum acontecimento dramático.

Embora as órbitas dos satélites (em particular, as órbitas planetárias) sejam tratadas com maior detalhe na Unidade 2, faz-se a afirmação que, a uma dada altura, um satélite deve estar animado de uma velocidade determinada para que mantenha uma órbita circular. É útil a questão: "Porquê, até à data, todos os lançamentos de satélites se fizeram na direcção leste?" A resposta implica que os estudantes pensem sobre adição vectorial de velocidade e ao mesmo tempo em termos de um sistema de referência relacionado com o centro da Terra, em vez do mais familiar, que é o do indivíduo à superfície da Terra.

#### 4.8 E A RESPEITO DE OUTROS MOVIMENTOS?

Esta secção deve ser exclusivamente tratada com um exercício de leitura. O seu único objectivo é lembrar aos estudantes que há muitas espécies interessantes de movimento que não foram tratadas.

## **ANEXO 8**

### **PROJETO PILOTO/UNESCO**

- **RELAÇÃO DE MATERIAL DO CURSO  
“FÍSICA DA LUZ”.**
  - **EXEMPLO DO TEXTO.**
    - **CAPA.**
- **TEXTO ORIGINAL – EXPERIMENTO  
OPCIONAL.**
- **DESENHO DO MATERIAL.**

2  
"PROJETO PILOTO DA UNESCO SÔBRE NOVOS MÉTODOS E TÉCNICAS DE ENSINO DA FÍSICA".

RELAÇÃO DO MATERIAL DIDÁTICO PREPARADO PARA O CURSO "FÍSICA DA LUZ".

Sob os auspícios da UNESCO, desenvolveu-se em São Paulo, (Brasil) um plano de trabalho que foi denominado "Projeto Piloto sobre Novos Métodos e Técnicas de Ensino da Física". Os trabalhos que se realizaram de julho de 1963 a julho de 1964, visam o aperfeiçoamento do Ensino da Física por meio de métodos modernos, e novas técnicas de ensino.

A direção do Projeto esteve entregue à três técnicos da UNESCO e contou com a colaboração de dois consultadores em Instrução Programada e Filmes Educativos. Participaram do Projeto 26 professores de Física dos seguintes países latino-americanos: Argentina, Brasil, Chile, Cuba, Equador, Honduras, Perú e Venezuela.

O Projeto contou com a colaboração do Instituto Brasileiro de Educação, Ciência e Cultura (IBEECC), do Departamento de Física da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo e do Serviço de Recursos Audio-visuais do Centro Regional de Pesquisas Educacionais de São Paulo.

O material didático preparado, relacionado a seguir, foi utilizado em um curso experimental que se deu em São Paulo em julho de 1964 por ocasião do "Seminário Regional Latino-Americano sobre utilização de novos métodos e técnicas de ensino da Física".

A. Livro de texto - Preparado segundo as técnicas do ensino programado, corresponde a 40 ou 50 horas de trabalho por parte do aluno. Divide-se em cinco partes, a saber:

0. Experiências e gráficos - Ensina como representar graficamente os resultados obtidos em experiências, e como deduzir, a partir dos gráficos, fórmulas matemáticas.
1. Algumas propriedades fundamentais da luz - Inclui experiências sobre: propagação retilínea em diferentes meios; reflexão; reflexão difusa; refração de imagens; espectros de absorção; análise espectral; etc. O aluno deduz, a partir das experiências que realiza, as leis da reflexão e da refração.
2. Modêlo de Partículas para a Luz - O modêlo pretende resumir as propriedades da luz que foram estudadas na Unidade anterior, em base às analogias observadas entre o comportamento da luz e das partículas. O modêlo permite explicar certas propriedades da luz, prevendo o transporte de energia na propagação da luz e a lei do inverso do quadrado das distâncias para a luz, as quais são confirmadas experimentalmente. As previsões feitas

para para o comportamento da luz na refração e difração não sendo confirmadas experimentalmente, levam ao abandono do modelo.

3. Modêlo Ondulatório - Estuda-se o comportamento das ondas e se analisa, em função do modêlo ondulatório, as experiências de difração e interferência. Entre as experiências figuram: interferência com duas fendas, interferência com o espêlho de Lloyd e medida do comprimento de onda da luz vermelha e da azul.
4. Ondas eletromagnéticas. Fótons - Discutem-se propriedades da luz e das ondas de rádio e a semelhança permite supor uma natureza eletromagnética comum para ambas. Estende-se ao espectro eletromagnético ao infra-vermelho e ao ultra-violeta, aos raios "x" e aos raios "γ". Experiências com papéis fotográficos e filtros de cor sugerem uma natureza quântica para a luz. É feita uma discussão elementar do efeito fotoelétrico. Faz-se um resumo das conclusões obtidas.

B. Material das experiências - O material foi planejado para ser utilizado em íntima conexão com o livro, texto e permitirá, aos alunos realizar suas próprias experiências. É apresentado em sete caixas distintas. Dar-se-á, em seguida, uma breve descrição do conteúdo das caixas.

- i. Experiências e gráficos - Material para experiências sobre a lei de Hooke e pendulos.
- ii. Algumas propriedades da luz - Um projetor que produz um feixe de luz, um prisma, um bloco retangular de vidro, etc. Com este material o aluno pode realizar, aproximadamente, umas 40 experiências.
- iii. Luz e partículas - Equipamento para estudar, semi-quantitativamente, a reflexão, a reflexão difusa e a refração de partículas em movimento.
- iv. Fotometria - Material para comprovar experimentalmente a lei do inverso dos quadrados das distâncias para a luz, mediante um fotômetro de parafina.
- v. Câmara fotográfica de orifício - É constituída por um cilindro com duas tampas. É utilizada para estudar a formação de imagens, tanto visualmente, quanto fotograficamente. Os alunos poderão tirar fotografias com orifícios de diâmetros decrescentes e verão como as imagens vão se tornando mais nítidas ... até um certo ponto, pois para diâmetros menores do que um certo valor, as imagens perdem nitidez devido à difração. Poder-se-á realizar experiências adicionais cobrindo-se com uma lente convergente ou com uma placa de zonas de Fresnel o orifício de maior diâmetro.
- vi. Difração e interferência - Material que permite realizar experiências com ondas e com luz: duas fendas, espelho de Lloyd, material para difração, etc.
- vii. Fótons - Material para estudar a ação da luz sobre emulsões fotográficas. Experiências com filtros de cor sugerem um comportamento quântico da luz e a relação entre frequência e energia.

C. Filmes mudos de curta duração - Foram produzidos 11 filmes mudos de 8 milímetros, de duração média de 4 a 5 minutos, que mostram experiências difíceis de serem realizadas, devido à dificuldade de sua preparação, seu custo, etc, na maioria dos centros de ensino. (Estes filmes se apresentam, em forma de cinta sem fim, no interior de carregadores para serem usados no projetor Technicolor 800.)

1. Duas experiências com imagens - Este filme ilustra a formação de imagens múltiplas em um tele-calceidoscópio e o comportamento de uma lente cilíndrica constituída por uma garrafa de vidro com água.
2. Luz refletida - ~~espelhos~~ mergulhados no interior de líquidos - Experiências que mostram como pedoços de vidros, que são visíveis no ar, se tornam menos visíveis quando mergulhados na água, e chegam a ser invisíveis se submerços em um líquido de índice de refração igual ao do vidro.
3. Propagação retilínea - Experiências que mostram a propagação retilínea da luz, de gotas no ar (pintura), de átomos no vácuo (evaporação e depósito de alumínio) e de elétrons (tubo de Crookes).
4. Luz e partículas I - Mostre a analogia entre a reflexão de um feixe luminoso e a reflexão de esferas que se chocam contra uma superfície plana e uma superfície parabólica.
55. Luz e partículas II - Mostra a analogia entre a reflexão de um feixe luminoso e a reflexão de esferas que se chocam contra uma superfície elítica.
6. Câmara fotográfica de orifício - Mostra-se o emprego de uma câmara fotográfica de orifícios (sem lente) para a obtenção de imagens. Seis fotografias, tomadas com orifícios de diâmetro que vão desde 2 mm até 0,07 mm, ilustram o aumento de nitidez da imagem com a diminuição do diâmetro e mostram os efeitos da difração que se tornam notórios com os diâmetros menores.
7. Pulsos - Mostra-se a diferença entre uma partícula e um pulso, e dá-se exemplos de ondas longitudinais, transversais e de torsão.
8. Radiação infra-vermelha - As experiências mostram a propagação retilínea, a absorção, a refração e a reflexão de um feixe de radiação infra-vermelha emitida por uma fonte calorizantz (um soldador).
9. Luz, raios "x" e raios "γ" - Mostra-se que estas três radiações têm as seguintes propriedades: propagação retilínea, absorção pela matéria e enegrecimento de emulsões fotográficas.
10. Efeito fotoelétrico - Mediante um eletroscópio carregado negativamente mostra-se o efeito foto-elétrico em uma lâmina de zinco: o eletroscópio se descarrega em presença da luz ultra-violeta. Observa-se, também, que um eletroscópio carregado positivamente não se descarrega. Realiza-se também experiências com dois eletroscó

Epio de cargas diferentes.

11. Luz e elétrons - Realizam-se 4 experiências que permitem observar a estreita relação que existe entre os fenômenos luminosos e os elétricos: efeito foto-elétrico, fotocondutividade, efeito foto-volético, e funcionamento de um interruptor ótico.

D. Filme Sonoro : "A luz ... é onda?" - Filme sonoro, em 16 mm, de 30 minutos de duração. Nêlo, um professor de física e dois alunos investigam por que o som pode dobrar uma esquina enquanto parece que a luz não pode fazê-lo. Realizam várias experiências de difração em uma fenda, inicialmente com ondas na superfície da água (tanque de ondas), e em seguida, com ondas sonoras e de rádio e, finalmente, com a luz. Descobrem que a luz se comporta como uma onda, pois, se difrata. Investigam, também, a influência do comprimento de onda, com relação à largura da fenda, nos fenômenos de difração.

E. Programas de televisão - Foram preparados 8 programas de televisão, como parte integrante do curso experimental.



1.06

B

1.07

SE NÃO PUDEER RESPONDER ÊSTE QUADRO SIGA AO QUADRO Nº 1.09.

O gráfico nº 2 do Painel 1.1 mostra a espessura de um monte de fôlhas de papel para diferentes quantidades de fôlhas.

Segundo o gráfico, qual é a espessura de 500 fôlhas? \_\_\_\_\_.

Quantas fôlhas há em 2mm de papel? \_\_\_\_\_.

1.18

55

55

1.19

Qual é a altura da pedra ao final de 2 segundos? \_\_\_\_\_.

E ao final de 3 segundos? \_\_\_\_\_.

1.30

60

10

6

7,2 mm

1.31

Gráfico nº 2.

Espessura de 430 fôlhas.

A menor divisão mais próxima de 430 no eixo horizontal é \_\_\_\_\_.

Entre 430 e esta divisão há \_\_\_\_\_ fôlhas.

A cada milímetro correspondem \_\_\_\_\_ fôlhas.

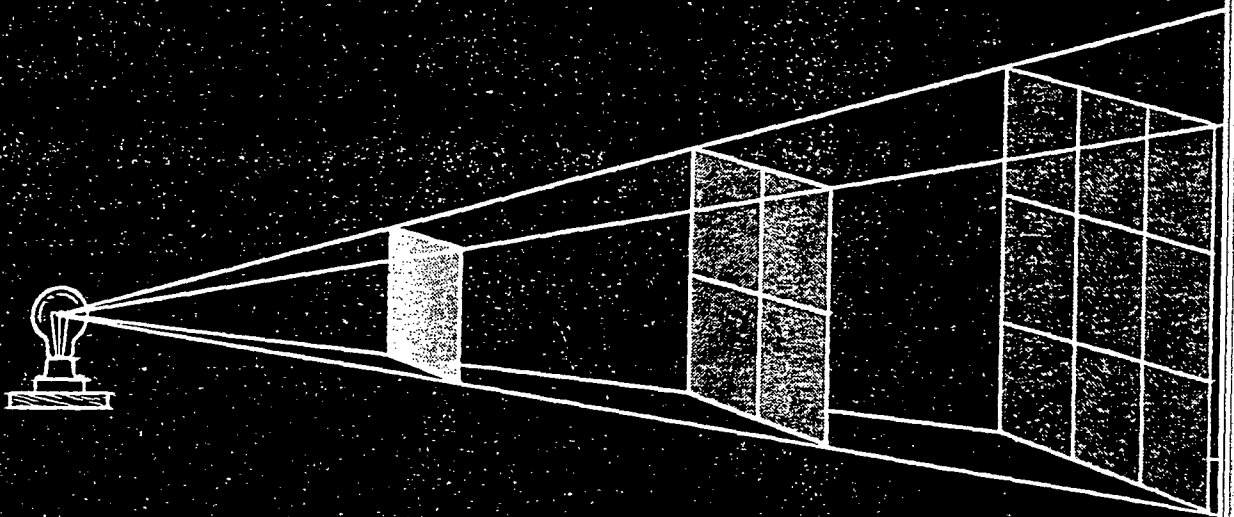
Agora você pode localizar o ponto correspondente ao valor 430 no eixo horizontal e obter a espessura de 430 fôlhas.

Espessura de 430 fôlhas: \_\_\_\_\_.

<p>1.07</p> <p>10 mm. 100 fô- lhas.</p>	<p>1.08</p> <p>SE SUA RESPOSTA AO QUADRO ANTERIOR FOI CORRETA PASSE AO QUADRO Nº 1.15.</p> <p>SE NÃO PÔDE RESPONDER, OU A SUA RESPOSTA FOI INCORRETA SIGA AO QUADRO 1.09.</p>
<p>1.19</p> <p>40 m 15 m</p>	<p>1.20</p> <p>Veja o gráfico nº 2.</p> <p>Um centímetro no eixo horizontal representa _____ fôlhas. Cada milímetro representa então _____ fôlhas</p>
<p>1.31</p> <p>400 30 10 8,6 mm</p>	<p>1.32</p> <p>Gráfico nº 3.</p> <p>Instante em que a altura da pedra era de 46 metros. Determine a divisão mais próxima, menor que 46 metros, depois a diferença entre 46 e essa divisão, etc. Depois de quanto tempo a pedra se encontra a 46 m de altura? _____</p>



## PROJETO PILOTO DE FÍSICA



# FOTOMETRIA

(5) Pinhole camera.

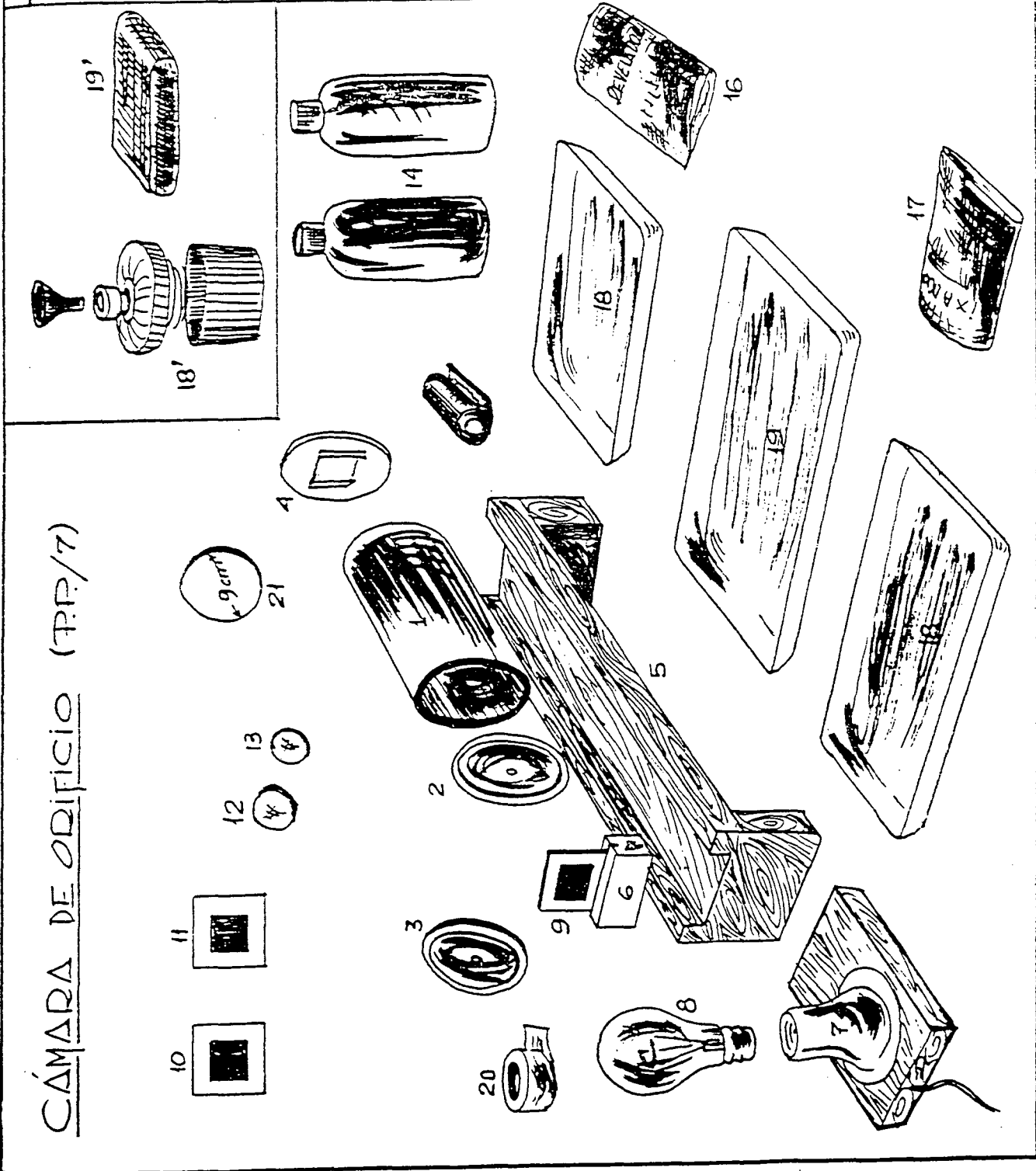
Instructions for this kit are not included in the "Physics of Light" text as the experiments are optional and not all students supposed to do them. The loop "Pinhole camera" shows the experiments performed with this actual kit, and a plate showing the photographic results is included in this booklet in the chapter on our films. Working with a camera made of a cardboard "tin" with lids on both ends and photographic emulsions, students register the images formed through a series of pinholes. With decreasing pinhole diameters the resolution of the image improves at first and then begins to deteriorate again. The kit therefore serves to introduce the concept of diffraction. The student may then take pictures with the largest hole using a lens and will obtain sharp images (one lens for short distance and one for "infinity" are supplied). He will finally take a picture with the largest hole covered with a Fresnel zoneplate, again giving a sharp image. This kit is based on an article by Albert V. Baez in the American Journal of Physics (1957), volume 25, pages 636-638.

- 1 cardboard "tin"  $\varnothing$  10 cm, length 14 cm
- 5 lids
- 1 wooden support for camera
- 1 wooden holder for mounted slide
- 1 mounted 35 mm slide with text LUZ - OPTICA - FOTOGRAFIA (object )
- 1 mounted slide with photographic pinholes  $\varnothing$  1.00, 0.60, 0.35, 0.15, 0.07 mm
- 1 mounted slide with Fresnel zone plate  $\varnothing$  3 mm
- 2 glass lenses
- 1 socket on wooden base, leads and plug
- 1 110 V, 100 W milkglass lamp
- 1 bag developer for film, sufficient for 1000 ml
- 1 bag hypo, sufficient for 750 ml
- 2 polyethene bottles for developer and hypo solutions, 200 ml

- 2 plastic trays 15x12x2 cm<sup>3</sup> (for developer and hypo )
- 1 plastic washing tray 20x16x3 cm<sup>3</sup>
- 1 roll of 35 mm film
- 1 roll adhesive tape
- 1 black cardboard sheet

# CÁMARA DE OFICIO (T.P./7)

MATERIALES	
1	Cuerpo de la cámara central $\phi$ 2 mm.
2	Tapa con orificio central $\phi$ 3.5 mm.
3	Tapa con soporte para película.
4	Banco.
5	Soporte.
6	Base lámpara.
7	Lámpara 100 W.
8	Diapositivo.
9	" 5 orificios $\phi$ 1, $\phi$ 0,6, $\phi$ 0,35, $\phi$ 0,25, $\phi$ 0,13 mm.
10	Diapositivo Placa donas do Fresnel $f: 6.7\text{cm}$
11	Lente
12	Lente
13	Frasco plástico 200cm <sup>3</sup>
14	película 35 mm BOASA
15	Revelador
16	Fijador
17	Bandeja plástico 9x12 cm
18	Bandeja plástico 16x20cm
19	Cinta adhesiva
20	Redaso de papel vegetal
21	Tanque para rejabado a plena luz 35mm
22	Bolsa negra con mangas para proceso a plena luz.



## **ANEXO 9**

FAI

- CAPA.
- FOLHA DE ROSTO – OS PARTICIPANTES.
- CÓPIA DA FOLHA UTILIZADA NA INSTITUIÇÃO PROGRAMADA, PARA COBRIR AS RESPOSTAS CORRETAS.
- RELAÇÃO DOS CONTEÚDOS – ÍNDICE.
- EXEMPLO DO TEXTO – CAP VI.
- MANUAL DO PROFESSOR: CAPA; ORIENTAÇÕES GERAIS.

GETEF .

# **FÍSICA FAI 3**

**AUTO-INSTRUTIVO**

- IMPULSO E QUANTIDADE DE MOVIMENTO LINEAR
- ENERGIA MECÂNICA

---

**TEXTO PROGRAMADO  
PARA 2º GRAU**

---



1977



GETEF – GRUPO DE ESTUDOS EM TECNOLOGIA DE ENSINO DE FÍSICA

## PROJETO FAI

### Coordenadores

Fuad Daher Saad – Paulo Yamamura – Kazuo Watanabe

### Autores

*Fuad Daher Saad*

Instituto de Física – USP  
Prof. efetivo de Física  
do Col. Est. "Anísio Teixeira"

*Paulo Yamamura*

Instituto de Física – USP  
Prof. efetivo de Física  
do Col. Est. "Idalina  
Macedo da Costa Sodré"

*Kazuo Watanabe*

Instituto de Física – USP  
Faculdade de Tecnologia  
de São Paulo

*Norberto Cardoso Ferreira*

Instituto de Física – USP  
Prof. efetivo de Física do  
Col. Est. "Assis Chateaubriand"

*Dra. Maria Amélia Mascarenhas Dantas*

Instituto de História – USP

*Denitiro Watanabe*

Instituto de Física – USP  
Prof. efetivo de Física do Col. Est.  
Prof. "Wolny Carvalho Ramos"

*Marcelo Tassara*

Faculdade de Comunicações e Artes – USP

*Dononzor Sella*

Instituto de Física – USP  
Colégio "Santa Cruz"

*Eda Tassara*

Instituto de Psicologia – USP

*Dr. Iuda Dawid Goldman Lejbman*

Instituto de Física – USP

*Wilson Carron*

Prof. efetivo de Física do Col. Est.  
"Profa. Eugênia Vilhena de Moraes"  
Ribeirão Preto

*Ms. João André Guillaumon Filho*

Instituto de Física – USP

*Cláudio Chagas*

Prof. de Física do Col. Est.  
Prof. "Wolny Carvalho Ramos"

*Ms. Yashiro Yamamoto*

Instituto de Física – USP

*Oziel Henrique Silva Leite*

Instituto de Ciências Exatas e  
Tecnológicas – UEM  
(Maringá-PR)

*Dr. Sadao Isotani*

Livre Docente do  
Instituto de Física – USP

*Dr. Shozo Motoyama*

Instituto de História – USP  
Prof. efetivo de Física do  
Col. Est. "Antônio Raposo Tavares"

*José André Perez Angotti*

Instituto de Ciências Exatas e  
Tecnológicas – UEM  
(Maringá-PR)

Use esta máscara para cobrir as respostas corretas.

Para o seu bom desempenho no estudo do FAI, você deve:

- a. ler e interpretar o texto.
- b. dar as respostas às questões escrevendo-as no espaço reservado.  
(Seu aprendizado só será eficiente se você, ao responder às questões, usar a máscara para cobrir as respostas corretas.)
- c. verificar suas respostas comparando-as com as corretas.  
(O sinal ★★★★★★ é um aviso de que a resposta correta se encontra a seguir.)

---

GETEF — GRUPO DE ESTUDOS EM TECNOLOGIA DE ENSINO DE FÍSICA

# ÍNDICE

## VI – IMPULSO E QUANTIDADE DE MOVIMENTO LINEAR

1 – Interações – 3ª Lei de Newton	11
2 – Quantidade de movimento linear	17
A – Quantidade de movimento linear de um objeto	
B – Quantidade de movimento linear de um sistema de objetos	
3 – Impulso e variação da quantidade de movimento linear	25
A – Variação da quantidade de movimento linear de um objeto	
B – Impulso de uma força	
C – Impulso de força não-constante	
4 – Lei da Conservação da Quantidade de Movimento Linear	43
A – Sistema isolado	
B – Conservação da quantidade de movimento linear	
5 – Conservação da quantidade de movimento linear em interações	50
A – Interações em uma dimensão	
B – Interações em duas dimensões	
6 – Newton e as três leis de movimento – histórico	64

## VII – ENERGIA MECÂNICA

1 – Conceito de energia	66
A – Introdução ao conceito de energia	
B – Energia de movimento ou energia cinética de um objeto	
C – Energia de posição ou energia potencial gravitacional de um objeto	
D – Energia de posição de corpos elásticos ou energia potencial elástica	
2 – Medida da variação de energia de um objeto – Trabalho	74
A – Trabalho de uma força constante: $W = F \times d$	
Unidade dimensional de trabalho: joule	
B – Resolução de problemas que envolvem o uso do “instrumento” trabalho	
3 – Trabalho (de força constante) e energia	84
A – Trabalho e energia cinética	
B – Trabalho e energia potencial gravitacional	
4 – Trabalho (de força variável) e energia	98
A – Trabalho de força variável	
B – Trabalho e energia potencial elástica	
5 – Energia mecânica de um objeto	110
A – Energia mecânica de um objeto	
B – Transformação e conservação de energia	
Apêndice 1 – Sistemas isolados	
Apêndice 2 – A Lei da Conservação de Energia em sistemas isolados	
6 – Energia interna de um corpo	128
7 – Colisões	131
8 – Potência	143
9 – Problemas	145
10 – Evolução do conceito de energia – histórico	149

## CAPÍTULO VI

# Impulso e Quantidade de Movimento Linear

**OBJETIVOS:** Ao final deste capítulo, o estudante deve estar apto para:

- conceituar interações.
- descrever a 3ª Lei de Newton.
- identificar as forças de ação e reação numa interação.
- calcular a quantidade de movimento linear de um objeto ou sistema de objetos.
- calcular impulso de uma força constante e de uma força variável.
- medir a variação da quantidade de movimento linear de um objeto ou sistema de objetos.
- enunciar a Lei da Conservação da Quantidade de Movimento Linear.
- resolver problemas.

Toda vez que um objeto perturba o movimento de outro ou exerce uma força sobre outro, ele também sofrerá perturbações em seu próprio movimento ou também receberá do outro objeto uma força contrária. Dizemos então que a ação de um objeto sobre outro é sempre acompanhada de uma reação do segundo sobre o primeiro objeto. A ação e a reação são simultâneas e sempre que elas aparecem dizemos que existe uma interação entre os objetos de um sistema. Na verdade, o movimento não precisa necessariamente ser perturbado para que exista a interação: basta que exista **tendência**.

Neste capítulo, estudaremos a 3ª Lei de Newton, que governa tais interações, e serão introduzidas duas novas grandezas vetoriais: **quantidade de movimento linear** e **impulso de uma força**. Veremos que a quantidade de movimento linear é de grande importância na Física pelo fato de ela se conservar durante a interação e de suas variações poderem ser determinadas calculando-se o impulso da força externa.

### SEÇÃO 1 – INTERAÇÕES – 3ª LEI DE NEWTON

- 1 ■ Todos nós sabemos muito bem o que é cerrar o punho e socar uma parede de concreto. A ação de nosso punho poderá não causar nenhum dano à parede, mas a \_\_\_\_\_ da parede prejudicará sensivelmente nosso punho. A ação entre a parede e o punho corresponde a uma \_\_\_\_\_.

\*\*\*\*\*

reação; interação

- 2 ■ Se chutarmos uma bola com o pé haverá uma \_\_\_\_\_ entre o pé e a bola. Nosso pé exercerá uma ação, isto é, uma força sobre a bola e esta (poderá exercer; sempre exercerá) uma reação, ou seja, uma força sobre o pé. Numa interação, (sempre; nem sempre) surge o par de forças denominadas: \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_.

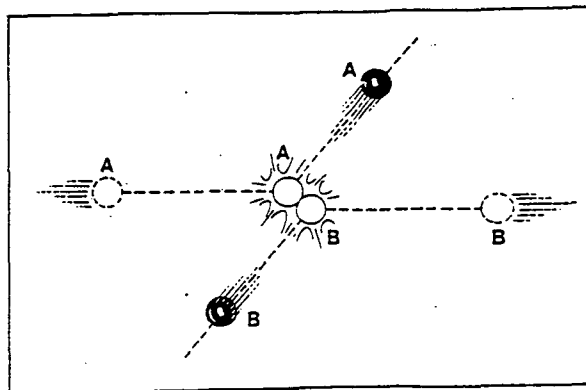
\*\*\*\*\*

interação; sempre exercerá; sempre; ação; reação.

- 3 ■ Imagine duas bolas de bilhar: A e B. Elas se movimentam sobre uma mesa em sentidos opostos. Elas se tocam lateralmente e ambas são desviadas de suas trajetórias retilíneas originais.

No evento acima descrito, dizemos que existe uma \_\_\_\_\_ entre as bolas A e B. Nesta interação, a bola A exerce uma \_\_\_\_\_ sobre a bola B, e esta exerce uma \_\_\_\_\_ sobre a primeira.

Na interação, o estado de movimento de cada bola (foi; não foi) modificado.



\*\*\*\*\*

interação; ação; reação; foi

- 4 ■ A bola A exerce uma ação sobre a bola B. Em virtude desta ação, a bola B (modifica ; não modifica) seu estado de movimento. Como a bola A também modifica seu estado de movimento, isto significa que B também exerce uma ação sobre A. Nesta interação, A exerce uma força sobre B e esta exerce uma força sobre A. A força que A exerce sobre B é denominada \_\_\_\_\_, e a força que B exerce sobre A é denominada \_\_\_\_\_. Podemos inverter as denominações, ou seja, a força de B sobre A é denominada ação e a de A sobre B, \_\_\_\_\_.

\*\*\*\*\*

modifica; ação; reação; reação

- 5 ■ Nos exemplos acima, você constatou uma interação entre a parede e o \_\_\_\_\_, entre a bola e o \_\_\_\_\_, entre a \_\_\_\_\_ A e a \_\_\_\_\_.

\*\*\*\*\*

punho; pé; bola; bola B

- 6 ■ Uma pedra cai em queda livre. No exemplo, existe uma interação entre a pedra e a \_\_\_\_\_, que a atrai. Esta interação é denominada **interação gravitacional**. A pedra é atraída pela Terra (força gravitacional sobre a pedra) e a pedra também \_\_\_\_\_.

\*\*\*\*\*

Terra; atrai a Terra, para cima

- 7 ■ A ação entre dois elétrons é uma **interação elétrica**. A ação entre dois prótons ou entre um elétron e um próton são exemplos de \_\_\_\_\_.

\*\*\*\*\*

interações elétricas

- 8 ■ Dos exemplos descritos acima e de muitos outros que você poderá citar, podemos concluir que numa interação (sempre; nem sempre) existe a presença de no mínimo dois corpos. As forças que aparecem nas interações são denominadas \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_.

\*\*\*\*\*

sempre; ação; reação

9 ■ Sempre que um objeto provoca ou tende a provocar uma mudança no estado de movimento de um segundo objeto, dizemos que existe uma \_\_\_\_\_ entre eles.

\*\*\*\*\*

interação

10 ■ A 3ª Lei de Newton, também denominada Lei da Ação e Reação, nos informa como, numa interação qualquer, as forças estão relacionadas. Podemos enunciá-la da seguinte forma: "A qualquer ação corresponde uma \_\_\_\_\_ (em sentido oposto; de mesmo sentido) e de (igual; diferente) intensidade."

\*\*\*\*\*

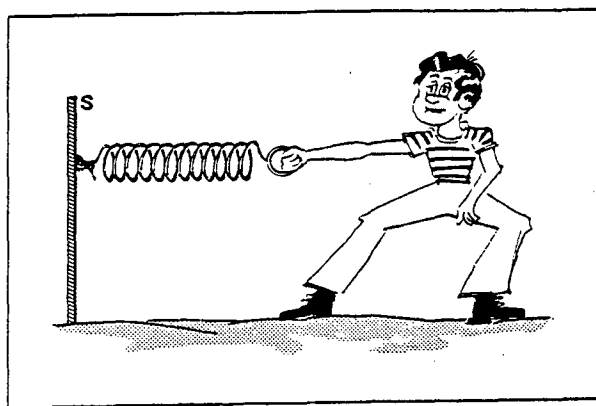
reação; em sentido oposto; igual

11 ■ "A ação mútua, isto é, a \_\_\_\_\_ entre dois objetos são sempre iguais em módulo e diretamente opostas." Este enunciado (corresponde; não corresponde) à \_\_\_\_\_.

\*\*\*\*\*

interação; corresponde; 3ª Lei de Newton

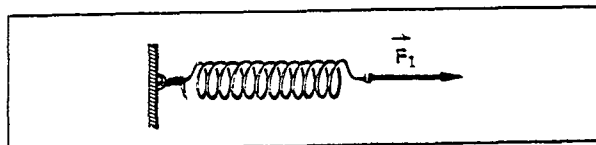
12 ■ Na figura ao lado, um garoto puxa uma mola e segura-a distendida. Este exemplo ilustra uma \_\_\_\_\_. O garoto exerce uma ação sobre a mola, isto é, ele exerce uma \_\_\_\_\_. A mola reage a esta ação, isto é, ela também exerce uma força \_\_\_\_\_ a mão do garoto. Se o garoto exerce uma força de 100 N sobre a mola, esta por sua vez \_\_\_\_\_.



\*\*\*\*\*

interação; força sobre a mola; sobre; exercerá uma força de 100 N sobre a mão do garoto.

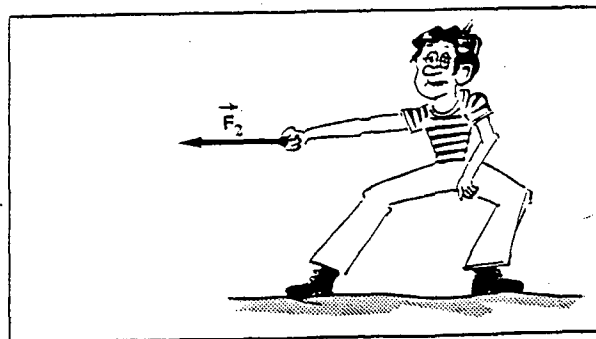
13 ■ A figura ao lado representa a mola isoladamente. A força  $\vec{F}_1$  corresponde à ação do \_\_\_\_\_.



\*\*\*\*\*

garoto sobre a mola

14 ■ A figura ao lado representa o garoto isoladamente. A força  $\vec{F}_2$  (está; não está) atuando na mão do garoto. Ela representa a reação da mola à força \_\_\_\_\_. Pela 3ª Lei de Newton,  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$  (possuem; não possuem) a mesma intensidade.



\*\*\*\*\*

está;  $\vec{F}_1$ ; possuem

15 ■  $\vec{F}_1$  e  $\vec{F}_2$  representam o par de forças que aparecem numa interação e são denominadas \_\_\_\_\_ e \_\_\_\_\_. Observamos que estas forças (atuam; não atuam) em corpos diferentes e são diretamente \_\_\_\_\_ ( $|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2|$  ou  $|\vec{F}_1| \neq |\vec{F}_2|$ ).

\*\*\*\*\*

ação; reação; atuam; opostas;  $|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2|$

## SEÇÃO 10 – EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE ENERGIA – HISTÓRICO

### A utilização das forças da natureza – primeiros passos

O conceito de energia é bem recente na História das Ciências: surgiu em meados do séc. XVII. Entretanto, se entendermos a energia como a capacidade de realizar trabalho, constatamos que a procura da energia é muito antiga e na verdade surgiu com o próprio homem.

Se voltarmos os olhos para a Pré-história, vamos encontrar os primeiros homens sem recursos diante da natureza. Eles dispunham apenas de sua própria capacidade de trabalho. Estes primeiros agrupamentos humanos viviam da caça e é nesta época que o homem descobre os instrumentos de pedra (machados, lanças, arpões, etc.) e tornam seus trabalhos mais eficientes.

Com o tempo, o homem aprendeu a domesticar os animais e posteriormente a utilizá-los para tarefas pesadas. Ao mesmo tempo, o homem descobre a agricultura e torna-se sedentário. De modo geral, esses primeiros agrupamentos situavam-se nas margens dos rios, o que desenvolveu o transporte fluvial. As primeiras canoas não eram muito eficientes, porém, com a descoberta das velas passava-se a usar a força dos ventos. O transporte torna-se então mais rápido.

Para nós, que vivemos numa civilização com muito mais recursos, estes primeiros progressos parecem irrisórios. Porém, não devemos deixar de ver a importância destes primeiros passos dados pelo homem na utilização da natureza para seu próprio-bem-estar.

Já pelo ano 3 000 a.C., grandes impérios estavam estabelecidos à beira de rios: o Egito (à beira do rio Nilo) e a Mesopotâmia (entre os rios Tigre e Eufrates). Nestes grandes impérios, grandes construções foram realizadas à custa do trabalho escravo; basta lembrar as pirâmides e templos deixados por estes povos. Calcula-se que milhões de escravos trabalharam, durante dezenas de anos, na construção de cada um destes monumentos.

A utilização de trabalho escravo vem até a nossa era. No Império Romano, cujo apogeu deu-se aproximadamente de 200 a.C. até 100 d.C., os prisioneiros de guerra eram escravizados e constituíam a mão-de-obra utilizada para todo o tipo de tarefas.

### Os moinhos

Nos escritos do romano Vitrúvio, do 1º século d.C., já aparecem descrições de moinhos d'água (vide fig. 1). Estes moinhos utilizavam a energia hidráulica, transformando-a em trabalho mecânico. Mas, apesar de os homens já terem conhecimento desta nova forma de energia, houve pouco interesse em sua utilização, devido ao sistema econômico baseado no trabalho escravo.

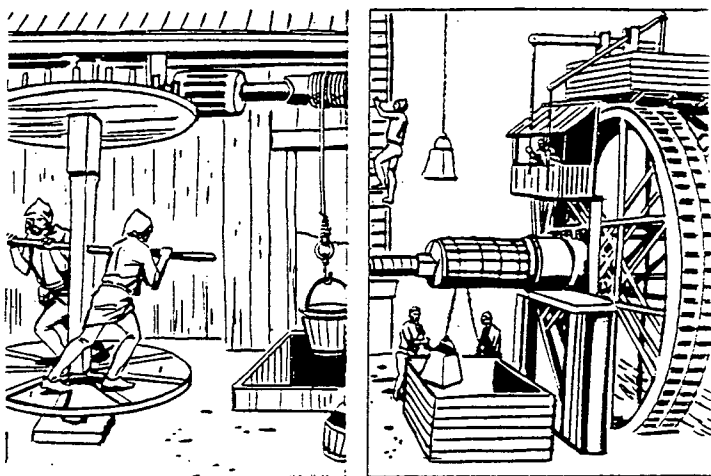


Fig. 1

Com o declínio da escravidão, os moinhos desenvolveram-se plenamente na Idade Média. O sistema econômico medieval era baseado na agricultura e dispunha de pouca mão-de-obra. Os moinhos d'água eram utilizados na moagem de grãos de cereais e em pequenas indústrias.

Já no séc. XI, surgem na Europa os moinhos de vento. Parecem ter vindo da Pérsia e eram utilizados para serrar madeira, forjar ferro, etc. (vide fig. 2)

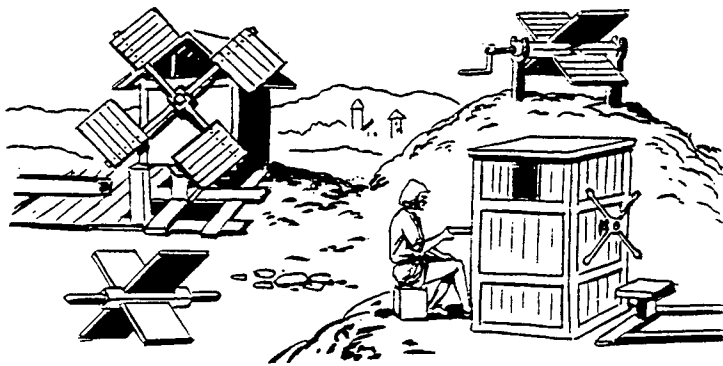


Fig. 2

Estes transformadores de energia tornaram muito mais rendoso o trabalho do homem: aumentaram as colheitas e a produção industrial. Como consequência, há um enriquecimento da sociedade medieval, que se expande e se transforma. As cidades se desenvolvem, a produção de mercadorias torna-se mais complexa e surgem novos mercados com os grandes descobrimentos do séc. XVI.

## SISTEMA ISOLADO:

É aquele onde não existe transferência de energia e/ou massa através de sua fronteira. Por exemplo, o sistema pedra-Terra quando a pedra cai livremente; admitindo-se a inexistência do atrito com o ar (vácuo perfeito) e que o sistema não transfere nem recebe massa, ele será um sistema isolado. Sua fronteira será uma superfície imaginária que envolve os dois objetos: a Terra e a pedra em questão. Outro exemplo: um carrinho em movimento sobre uma superfície horizontal e sem atrito. Se nenhuma força externa ao sistema carrinho-superfície estiver atuando sobre ele, o sistema será isolado. O sistema não apresentará variação em sua massa nem em sua energia.

## APÊNDICE 2 – A LEI DA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA EM SISTEMAS ISOLADOS

A compreensão de muitos fenômenos naturais é aprofundada pela descoberta de como a energia se transforma de uma forma em outra, ou de como ela se transfere de um objeto a outro.

O enfoque dos processos naturais ou fenômenos naturais sob o ponto de vista energético suplanta a nossa compreensão desses fenômenos vistos sob as definições de força e aceleração.

Diversos, se não muitos dos modernos físicos, consideram a energia muito mais “real” que a força. De fato, embora energia seja tecnicamente uma grandeza derivada, parece que ela é uma das fundamentais e importantes “realidades” que estudamos na Física. Sempre temos ouvido falar que a massa é uma das fundamentais “realidades” físicas. De agora em diante, ao lado da massa, aparecerá sempre a energia.

Uma outra razão para pensar que a massa e a energia são importantes “realidades” é que ambas são conservadas. Ambas podem aparecer sob diversas formas e, com algumas restrições, elas podem ser transformadas de uma forma em outra, mas a quantidade total de cada uma dessas grandezas permanece a mesma, isto é, permanece constante ou invariável.

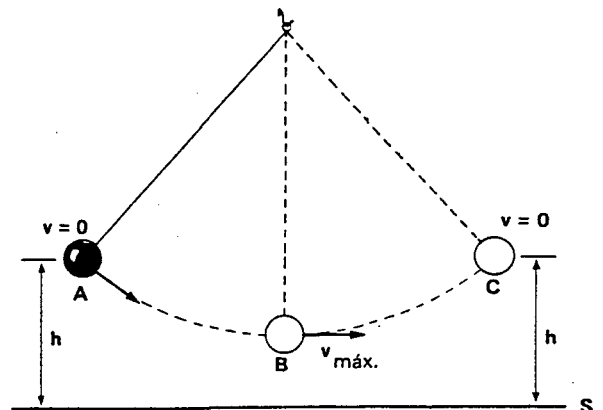
O conceito de conservação, ou de quantidades que são conservadas, é considerado muito importante na Física moderna por razões práticas e também por razões estéticas e filosóficas. Frequentemente, estaremos interessados em uma interação ou em um processo complexo que acontece tão rapidamente que não podemos observar os detalhes do evento. Podemos inclusive desconhecer a lei que governa a interação. Tudo o que podemos fazer é, muitas vezes, estudar as condições que existem antes e depois do evento. Afortunadamente, encontramos na Natureza grandezas mensuráveis, tais como a massa, a energia, a quantidade de movimento, que não se modificam em uma interação: existe a mesma quantidade de grandezas, antes e depois da interação, quando o sistema é isolado. Este fato nos dá informações acerca das condições após a interação e nos permite fazer previsões das mesmas.

Você irá agora realizar uma experiência e analisá-la.

## EXPERIÊNCIA:

Seja um pêndulo simples como o da figura ao lado. Abandone a massa pendular  $m$ , inicialmente em repouso, da posição A correspondente a uma altura  $h$  da superfície S de referência.

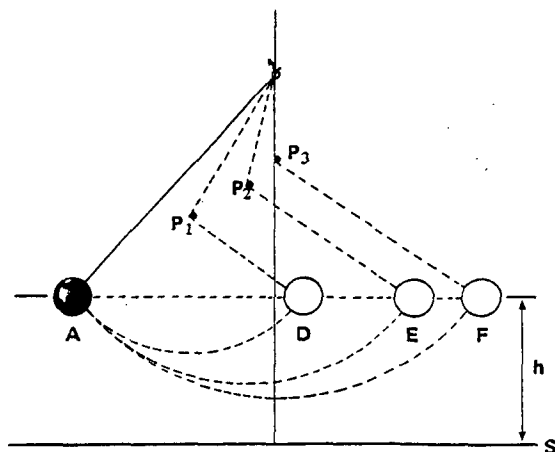
A velocidade começa a aumentar gradativamente à medida que a altura vai diminuindo. Em B a velocidade da massa é máxima e a altura, mínima. Ultrapassando essa posição, a massa começa a ganhar altura e ao mesmo tempo perder velocidade. Em C, atingida a altura máxima  $h$ , a massa, que nesse instante tem velocidade nula, muda de





sentido e inicia a viagem de retorno. Como o nosso sistema não é isolado, pois existem forças de atrito, considere apenas uma oscilação. Nessa situação, o sistema é aproximadamente isolado. Em seguida, coloque um prego na posição  $P_1$ . Abandone a massa  $m$  novamente da posição A. Embora o caminho seguido pelo pêndulo seja diferente comparado com a experiência anterior, a massa pendular  $m$  alcançará a altura  $h$  na posição D. O pêndulo muda de sentido nessa posição e volta novamente até a posição A, e assim sucessivamente. Se colocarmos o prego  $P_2$  ou  $P_3$  chegamos ao mesmo resultado, ou seja, abandonando  $m$  de uma altura  $h$ , qualquer que seja o caminho percorrido pela massa pendular, sempre ela alcança a mesma altura.

Após ter realizado a experiência acima descrita, leia a interpretação abaixo, completando ou respondendo os quesitos que surgirem.



### INTERPRETAÇÃO DA EXPERIÊNCIA:

Podemos avaliar a quantidade de energia pela capacidade de alcançar uma certa altura. Evidentemente, o corpo com maior energia alcança (maior; menor) altura. Veja que isso é uma idéia coerente, pois a massa pendular  $m$  de maior energia potencial, ou seja, de (maior; menor) altura no instante inicial, alcança maior altura do outro lado. Se a massa possui maior velocidade, ou seja, (menor; maior) energia cinética, ela possui maior capacidade de subir a uma altura maior.

No caso do pêndulo, a não ser nas posições extremas A, B, C, D, E, F, ele não possui uma única forma de energia. Na verdade, em qualquer instante, a energia mecânica total é a soma da energia cinética mais a potencial. Então, para que a energia total se conserve é necessário que  $[E_c; E_p; (E_c + E_p)]$  se conserve ou permaneça inalterada. No nosso caso, tanto a energia cinética como a potencial são proporcionais à altura da posição de inversão do movimento. Logo,  $(E_c + E_p) = \text{constante}$  caracteriza a capacidade do pêndulo alcançar a altura constante  $h$ .

Para podermos individualizar cada um dos instantes, colocamos um prego na trajetória do pêndulo. Por exemplo, ao colocarmos o prego na posição  $P_1$ , nosso intuito é conhecer quanto vale a energia total do pêndulo no instante em que ele passa por essa posição. Podemos, segundo as considerações anteriores, avaliar essa quantidade pela altura alcançada depois de passar por  $P_1$ . De acordo com esse raciocínio, para que as energias nos instantes em que o pêndulo passando pela posição A,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , etc., sejam constantes, basta termos as alturas nas posições C, D, E, F (iguais a, diferentes de)  $h$ . Uma vez chegada a essa conclusão, o restante é fácil. Basta verificar se realmente, na experiência feita, os pontos D, C, E e F possuem altura  $h$ .

Então, chegamos a uma notável conclusão: "A energia cinética mais a energia potencial é constante em nosso sistema isolado."

Isso significa dizer, em outras palavras: há conservação de energia mecânica em um sistema isolado.

Agora muita atenção. Essa Lei da Conservação de Energia, quando generalizada, é uma das leis mais importantes da Física. Ela se aplica não só para energia mecânica, mas outras formas de energia. Um dia você verificará que, graças a ela, foi previsto por um físico uma estranha e aparentemente impossível partícula elementar chamada neutrino, cuja confirmação experimental se deu recentemente.

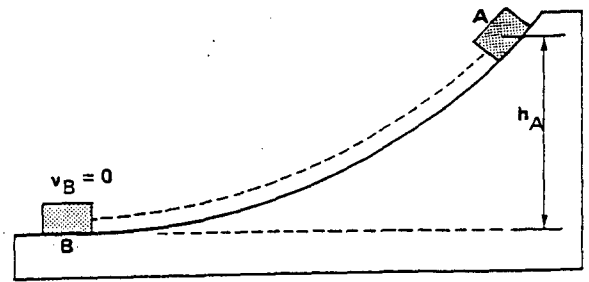
Você não poderia imaginar que atrás de uma tão simples, tão inocente experiência estivesse presente uma lei tão importante, não é mesmo? Então, para um sistema isolado, a energia mecânica se conserva, isto é,

$$E_m = E_c + E_p = \text{constante}$$

★★★★★★★★★★

maior; maior; maior;  $E_c + E_p$ ; iguais a

25 ■ Um objeto desliza sobre uma superfície da posição A até B, conforme a figura ao lado. Em A o objeto é solto ( $v_A = 0$ ) e atinge B, onde pára.



- a) Qual foi a variação de energia mecânica do sistema?  
 b) Houve conservação de energia mecânica? Explique.

### RESPOSTAS

1.  $W = 50 \text{ J}$
2. a)  $W = 3,0 \cdot 10^3 \text{ J}$   
 b)  $W = 1,5 \cdot 10^3 \text{ J}$   
 c)  $W = 1,2 \cdot 10^3 \text{ J}$
3.  $W = P \cdot \Delta t = 6 \cdot 10^4 \text{ J}$
4.  $W = F \cdot \Delta d$   
 $P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{F \cdot \Delta d}{\Delta t} = F \cdot v$   
 $P = F \cdot v; v = 5,0 \text{ m/s}$
5.  $P = F \cdot v = 15 \cdot 10^4 \text{ watts}$
6.  $v \cong 25 \text{ m/s}$
7.  $P = 12 \cdot 10^4 \text{ watts}$
8.  $15 \cdot 10^5 \text{ J}$  e  $\frac{15}{4} \cdot 10^5 \text{ J}$
9.  $E_c = 72 \cdot 10^2 \text{ J}$
10.  $E_c \cong 3,3 \cdot 10^{-11} \text{ J}$
11. a)  $\Delta d \cong 38 \text{ m}$   
 b)  $W \cong 5,7 \cdot 10^2 \text{ J}$   
 c)  $v = 15 \text{ m/s}$   
 d)  $E_c \cong 5,7 \cdot 10^2 \text{ J}$   
 e)  $P \cong 1,1 \cdot 10^2 \text{ watts}$
12.  $\Delta E_c = 160 \text{ J}$
13.  $\Delta E_p = 28 \cdot 10^5 \text{ J}$
14.  $\Delta E_p = 5 \cdot 10^4 \text{ J}$
15. a)  $E_p = 1,6 \cdot 10^3 \text{ J}$   
 b)  $E_p \cong 1,8 \cdot 10^4 \text{ J}$   
 c)  $E_p = 6,1 \cdot 10^5 \text{ J}$
16.  $d = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$   
 $E_p \cong 3,8 \cdot 10^{-1} \text{ J}$
17.  $k = 2,0 \cdot 10^4 \text{ N/m}$   
 $E_p \cong 6,3 \text{ J}$
18.  $W \cong 6 \cdot 10^{-1} \text{ J}$   
 $E_p = W \cong 6 \cdot 10^{-1} \text{ J}$
19.  $W = 2,5 \text{ J}$   
 $E_p = 2,5 \text{ J}$
20. a)  $E_m = 4,0 \cdot 10^5 \text{ J}$   
 b)  $E_c = 2,5 \cdot 10^5 \text{ J}; E_p = 1,5 \cdot 10^5 \text{ J}; E_m = 4,0 \cdot 10^5 \text{ J}$   
 c)  $v \cong 63 \text{ m/s} (10\sqrt{40})$
21. a)  $v_c = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_B}$   
 b)  $v_D = \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_B - h_D)}$   
 c)  $v_B = \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_A - h_B) + v_A^2}$ ; o carro atingirá B se  
 $v_A \geq \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_B - h_A)}$
22. a)  $E_m = 3,0 \cdot 10^2 \text{ J}$   
 b)  $E_m = 1,8 \cdot 10^2 \text{ J}$   
 c)  $\Delta U = 1,2 \cdot 10^2 \text{ J}$   
 d)  $v \cong 4,5 \text{ m/s}$
23.  $\Delta U = 40 \text{ J}$
24. a)  $E_p = 20 \text{ J}$   
 b)  $v \cong 6,3 \text{ m/s}$   
 c)  $E_c = 20 \text{ J}$   
 d) Inicialmente, o bloco possui  $E_c$ ; durante a interação ele transfere esta energia para a mola. A mola acumula em forma de  $E_p$ , que é transformada em  $E_c$  do bloco após a interação.
25. a)  $\Delta E_m = -m \cdot g \cdot h_A$   
 b) Não. A energia mecânica (em A) foi transformada em energia interna do sistema plano - objeto - atmosfera.

**GETEF**

**OFERTA**

**SAVAIA**

**LIVRARIA SAVAIA S.A. LTDA.**  
RUA ESPERANÇA, 100  
CAIXA POSTAL 1000  
30.000 - BELU HORIZONTE

Ao Colega Professor:

O presente trabalho é fruto de 4 anos de pesquisa no campo de ensino do 2.º grau. O projeto FAI foi testado em 1970 em 450 alunos, em 1971 em 2.500 alunos e, finalmente, em 1972, 6.000 alunos distribuídos em 26 escolas da Capital e interior de São Paulo tiveram cursos regulares de Física tendo como teste básico nosso Projeto. A obra foi colocada em condição normal de aprendizagem em escolas de cursos diurnos e noturnos, nas quais o número de aulas de Física variavam de 2 a 4 semanais e onde a precariedade de instrumentais de laboratório era uma constante. A aceitação do método adotado na maioria das escolas foi sempre surpreendente. Este manual pretende descrever as características do presente trabalho e a experiência que colhemos ao longo dos anos.

São Paulo, janeiro de 1973

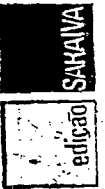
GETEF

# FÍSICA FAI

## AUTO-INSTRUTIVO

**TEXTO PROGRAMADO**  
**PARA 2º GRAU**

**MANUAL DO PROFESSOR**



próprio aluno relata o trabalho do dia, indicando a página em que parou. Nas fichas cujos alunos faltaram, o professor coloca a notação *ausente*. Ela tem o sentido de colocar o aluno a par de seus próprios trabalhos, além de substituir o diário com chamadas de presença.

b) A segunda ficha (anexo 2), também individual, é de uso exclusivo do professor. Serve para anotar a data, a unidade testada, o resultado da avaliação (conceito) e observações do professor.

### 3. Como definir a nota final

Várias alternativas foram executadas. Numa delas propôs-se que os trabalhos resultantes dos testes e dos experimentos práticos corresponderem a 75% e a prova geral (em cada bimestre), 25%. Propusemos em algumas classes a simples suspensão de provas gerais. De certo modo, os alunos manifestavam uma sensação de terem superado certas "coisas infantis" como provas gerais.

### 4. Guia de estudo

Na descrição do método, mencionamos o fato de termos usado um guia de estudo. Nele eram apresentados e indicados os objetivos da unidade, as leituras necessárias, a resolução de um conjunto mínimo de problemas e experiências, e uma coleção seqüencial de questões, como orientação da leitura do texto base a fim de completar o estudo da unidade. Também era fornecido o processo pelo qual o aluno seria avaliado. (vide anexo 3).

O texto programado que ora apresentamos praticamente dispensa o guia. Entretanto, acreditamos que o guia cria certas contingências que favorecem o aprendizado.

### 5. Como utilizar os recursos do laboratório

Uma das características do método de ensino individualizado é a auto-ritimação. Em decorrência, dificilmente um número grande de alunos atinge um mesmo nível de programa. Portanto, não há necessidade de possuir várias unidades iguais de equipamentos para que todos os alunos realizem experiências. Por esse motivo, na sala (de preferência, uma sala ambiente exclusiva para Física), dois ou três grupos de alunos poderão estar constantemente realizando experimentos.

Uma experiência deve ser programada para que o aluno sozinho, ou juntamente com outro, trabalhe eficientemente (pelos resultados obtidos, verificamos que um grupo de 2 alunos é o ideal), desde que o assunto relativo à experiência já tenha sido estudado pelos alunos.

As experiências devem ser planejadas dentro dos recursos disponíveis. A sua eventual pequena quantidade não irá prejudicar substancialmente

os objetivos do ensino de Física. O texto programado não é *conseqüência* de uma experiência de Física que deve ser feita. Pelo contrário, a experiência é um recurso para mostrar determinados princípios básicos já explorados pelo aluno, como acontece também com recursos audiovisuais e conferências.

Alguns conjuntos simples de caráter puramente qualitativo, colocados à disposição dos alunos, serão úteis. Por exemplo, um conjunto de dois pêndulos simples acoplados para mostrar o fenômeno de transferência e conservação de energia mecânica. Algumas experiências são ilustradas no contexto da obra. Todavia, dentro das disponibilidades da escola, o professor terá total liberdade de planejar outras que considera úteis. O único cuidado importante é de que cada experimento seja solicitado do aluno após este ter estudado o assunto.

### 6. A grande quantidade de testes é conveniente?

A primeira vista, solicitar dos alunos cinco a dez testes por mês leva muitas pessoas que não estejam familiarizadas com a técnica do reforçamento a exclamar: que absurdo! Entretanto, pelos resultados obtidos em nossas aulas, averiguamos que os alunos não se revoltam por ter que realizar tantas verificações. Ao contrário, muitos têm solicitado para realizar novas verificações e pedem maiores explicações sobre unidades já estudadas e testadas. "Realizar testes é uma delícia" é a expressão comum que ouvimos dos alunos. O adolescente tem a tendência de se apegar a oportunidades para mostrar o que é capaz de fazer, desde que para isso contingências favoráveis sejam criadas. Por esse motivo, a utilização de penalidades pelos insucessos torna-se insuportável. O importante é a qualidade do trabalho final e o reforço positivo que se segue. O aluno que realiza um teste com 100% de acerto é convidado a prosseguir, com palavras de elogio, e aquele que não consegue o desempenho desejado é estimulado a estudar até conseguí-lo.

### O TEXTO PROGRAMADO

O texto base utilizado no método que descrevemos foi do tipo instrução programada. Desejamos, inicialmente, comunicar ao prezado colega a estrutura do conteúdo; depois, enunciaremos alguns princípios aos quais se fundamenta o texto auto-instrutivo e algumas normas de como utilizá-lo.

O conteúdo relativo ao ensino do 2.º grau foi planejado e dosado em seqüências simples e ordenadas. Ele compreende seqüências de introdução, de ensino, de exercícios e de questionários.

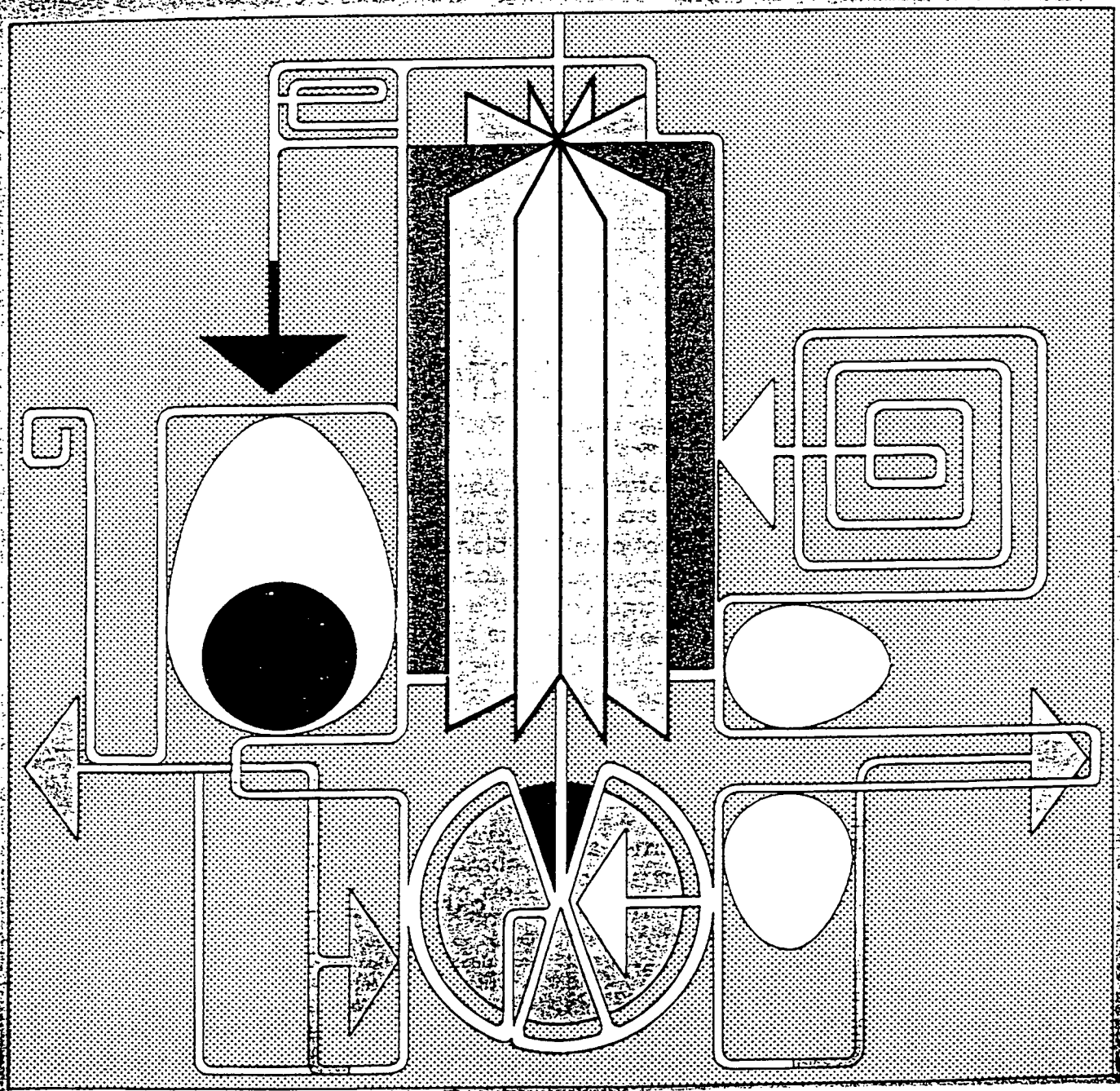
Na estrutura geral, consideramos tópicos básicos, tópicos diversificados e tópicos avançados.

# ANEXO 10

## PEF

- CAPA DE UM DOS CADERNOS.
  - OS PARTICIPANTES.
  - APRESENTAÇÃO.
- O CRONÔMETRO DE AREIA:  
CALIBRAÇÃO E UTILIZAÇÃO.
- EXEMPLO DO TEXTO: RESISTÊNCIA  
E RESISTIVIDADE.
- GUIA DO PROFESSOR: CAPA.
  - GUIA DO PROFESSOR: OS  
PARTICIPANTES.
  - SUMÁRIO GERAL.

# Corrente elétrica



## **MEC/FENAME/PREMEN**

**PEF** - PROJETO DE ENSINO DE FÍSICA, constituído de quatro conjuntos de textos e materiais experimentais (Mecânica 1 e 2, Eletricidade e Eletromagnetismo) e de um Guia do Professor destinados ao ensino de segundo grau, foi planejado e elaborado pela equipe do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) mediante convênios com a FENAME e o PREMEN

### **Coordenação**

Ernst Wolfgang Hamburger  
Giorgio Moscati

### **Guia do Professor**

Antonio Rodrigues  
Antonio Geraldo Violin  
Eliseu Gabriel de Pieri  
Joaquim Nestor Braga de Moraes  
José de Pinho Alves Filho  
Moacyr Ribeiro do Valle Filho  
Paulo Alves de Lima  
Diomar da Rocha Santos Bittencourt (redação final)

## **Mecânica**

Antonio Rodrigues  
Antonio Geraldo Violin  
Diomar da Rocha Santos Bittencourt  
Hideya Nakano  
Luiz Muryllo Mantovani  
Paulo Alves de Lima  
Plínio Ugo Meneguini dos Santos (vice-coordenador)

## **Eletricidade**

Eliseu Gabriel de Pieri  
José de Pinho Alves Filho  
Judite Fernandes de Almeida

## **Eletromagnetismo**

Jesuina Lopes de Almeida Pacca  
João Evangelista Steiner

## **Programação Visual**

Carlos Egídio Alonso  
Carlos Roberto Monteiro de Andrade  
Ettore Michele di San Filli Bottini  
João Baptista Novelli Junior

## **Fotografia e Reproduções**

José Augusto Machado Caill  
Washington Mazzola Racy

## **Secretaria e Dactilografia**

Carlos Eduardo Franco de Siqueira  
Janete Vieira Garcia Novo

## **Linguagem dos textos em pluma**

Claudio Renato Weber Abramo  
Maria Nair Moreira Rebelo

## **Construção de protótipos**

José Ferreira  
Voanerges do Espírito Santo Brites

## **Desenho Industrial dos Conjuntos Experimentais**

Alessandro Ventura (Mecânica)  
Plínio Ugo Meneguini dos Santos (Eletricidade e Eletromagnetismo)

Colaboram o pessoal da Secretaria, Oficina Gráfica, Administração, Oficina Mecânica e Oficina Eletrônica do IFUSP.

IFUSP: Caixa Postal 20516, São Paulo — SP

## APRESENTAÇÃO

O Projeto de Ensino de Física (PEF) foi desenvolvido para facilitar o aprendizado de Física nas escolas brasileiras de segundo grau. Trata principalmente de Mecânica, Eletricidade e Eletromagnetismo.

Os textos, exercícios, experimentos e leituras são apresentados de maneira integrada em quatro coleções de fascículos, acompanhadas de três conjuntos experimentais.

O PEF foi elaborado no Departamento de Física Experimental do Instituto de Física da Universidade de São Paulo por uma equipe de cerca de trinta pessoas que incluiu professores universitários e secundários de Física, pesquisadores em Física, programadores visuais, redatores, fotógrafos, etc.

Os direitos autorais do PEF foram cedidos à Fundação Nacional de Material Escolar — FENAME —, do Ministério da Educação e Cultura (MEC), que é responsável pela publicação e distribuição dos fascículos e deste **Guia**, bem como pela produção e distribuição dos conjuntos experimentais. Além do auxílio financeiro da FENAME e do PREMEN — Programa de Expansão de Melhoria do Ensino —, também do MEC, o PEF contou com verbas do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, bem como, em sua fase inicial, com auxílio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

Antes de a edição da FENAME ser elaborada, uma versão preliminar dos fascículos e protótipos do material de laboratório foi produzida e utilizada em caráter experimental por cerca de 3.000 estudantes, em vinte escolas do Estado de São Paulo, principalmente na Grande São Paulo, nos anos de 1971 e 1972. Este ensaio permitiu uma completa revisão do curso. Foi principalmente com base na experiência desses professores, que testaram a versão preliminar, que se colheram os subsídios para a elaboração deste **Guia**.

Por outro lado, em diversas cidades brasileiras foram realizados cursos de treinamento de professores para a aplicação do Projeto, sob o patrocínio da Universidade de São Paulo e do PREMEN, que também forneceram elementos para esta primeira edição do **Guia**.

Aos professores que testaram a versão preliminar do PEF e aos participantes dos cursos de treinamento agradecemos a colaboração prestada.

**Os autores.**



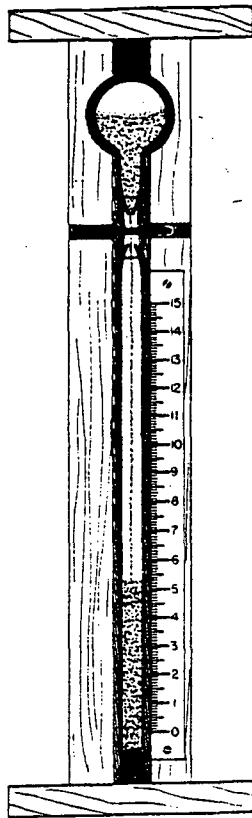


figura 1

A figura 1 mostra o protótipo do cronômetro de areia utilizado no PEF. O modelo que você vai utilizar é diferente, mas se baseia no mesmo princípio de funcionamento. Os elementos básicos desse protótipo são:

- dois tubos de vidro com extremidades afinadas, ligados entre si por meio de um pequeno tubo de borracha cirúrgica e fixados em posição vertical em um suporte de madeira;
- um interruptor, que mantém comprimido o tubo de borracha e impede que a areia escoe do reservatório superior para o tubo inferior; seu acionamento permite o escoamento da areia;
- uma escala milimetrada em que se lê a altura da coluna de areia escoada.

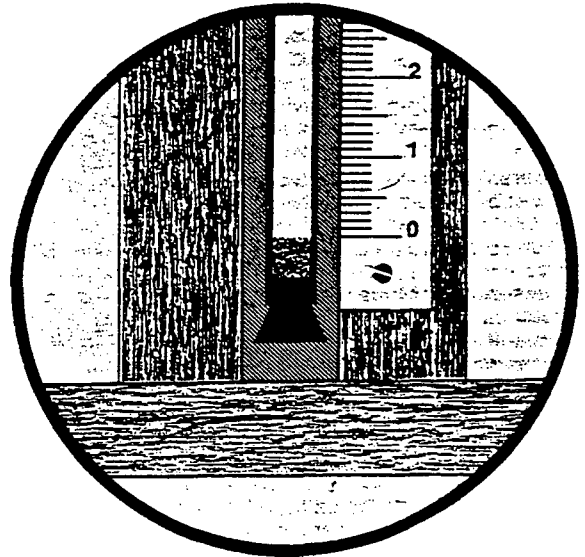


figura 2

Tente, por exemplo, avaliar um intervalo de 15 segundos. Um colega pode ajudá-lo, marcando o tempo num relógio.

Q1 — De quanto você errou?

Com um pouco de treinamento, você poderia aperfeiçoar essa capacidade mental de medir o tempo; uma maneira é contar: Curitiba 1, Curitiba 2, Curitiba 3 etc. De fato, o tempo necessário para dizer "Curitiba 1" corresponde aproximadamente a 1 segundo. Contudo, processos mentais de medida de tempo não são evidentemente adequados quando se deseja uma boa precisão. Para isso existem os relógios.

Neste curso, teremos necessidade de medir intervalos de tempo da ordem de décimos de segundo, o que não se consegue com os relógios comuns, de pulso. Como um cronômetro dotado dessa precisão é um instrumento caro, contornamos a situação construindo um aparelho muito simples, que chamamos "cronômetro de areia" (figura 1); ele é capaz de fornecer medidas de tempo com precisão de décimos de segundo.

O cronômetro de areia é basicamente uma **ampulheta**, instrumento usado há muitos séculos para medir o tempo. Modificamos sua forma e acrescentamos um interruptor e uma escala milimetrada.

## 1. EXPERIÊNCIA

### Cronômetro de areia

### Calibração e utilização

Faça seu cronômetro funcionar algumas vezes, verificando se a areia escoa regularmente.

Seu primeiro trabalho será calibrar o cronômetro, isto é, estabelecer uma relação entre a altura da coluna de areia escoada e o intervalo de tempo durante o qual isso ocorre. Para tanto, você precisará de um relógio que possua ponteiro de segundos, e cujo mostrador seja graduado pelo menos de cinco em cinco segundos.

Você deve proceder da seguinte maneira:

TEMPO (s)	ALTURA (mm)					MÉDIA DAS ALTURAS  Transponha os dados desta coluna para a tabela 2 da página 3-4
	1. <sup>a</sup>	2. <sup>a</sup>	3. <sup>a</sup>	4. <sup>a</sup>	5. <sup>a</sup>	
5						
10						
15						
20						

tabela 1

- Deixe a areia escoar até atingir a marca 0 (zero) da escala milimetrada (figura 2). Esta será a origem para a leitura das alturas.
- Faça a areia escorrer durante 5 segundos (marque o tempo no relógio) e anote, na tabela 1, a altura da coluna de areia escoada.
- Faça com que a areia volte ao marco zero.
- Repita quatro vezes o procedimento anterior, anotando na tabela 1 a altura atingida em cada intervalo de 5 segundos.
- Faça o mesmo para intervalos de tempo de 10, 15 e 20 segundos; se possível, também para 25s.
- Calcule as médias das medidas efetuadas e preencha a última coluna da tabela 1 com os valores encontrados.

## RESPOSTAS

**R<sub>1</sub>** -

**R<sub>2</sub>** -

**R<sub>3</sub>** -

**Q2** — Por que é importante calcular essas médias?

**Q3** — Qual é a altura da coluna de areia escoada durante um intervalo de tempo de zero segundo?



filo	D (mm)	D <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	1/D <sup>2</sup> (1/mm <sup>2</sup> )	area (mm <sup>2</sup> )
30	0,25	0,0625 × 10 <sup>-4</sup>	15,8 × 10 <sup>4</sup>	0,047 × 10 <sup>-4</sup>
31	0,23	0,0529 × 10 <sup>-4</sup>	18,9 × 10 <sup>4</sup>	0,042 × 10 <sup>-4</sup>
32	0,20	0,0400 × 10 <sup>-4</sup>	25,0 × 10 <sup>4</sup>	0,031 × 10 <sup>-4</sup>
33	0,18	0,0324 × 10 <sup>-4</sup>	30,8 × 10 <sup>4</sup>	0,025 × 10 <sup>-4</sup>
34	0,16	0,0256 × 10 <sup>-4</sup>	39,0 × 10 <sup>4</sup>	0,020 × 10 <sup>-4</sup>
35	0,14	0,0196 × 10 <sup>-4</sup>	51,0 × 10 <sup>4</sup>	0,015 × 10 <sup>-4</sup>
36	0,13	0,0169 × 10 <sup>-4</sup>	59,1 × 10 <sup>4</sup>	0,013 × 10 <sup>-4</sup>
37	0,11	0,0121 × 10 <sup>-4</sup>	82,8 × 10 <sup>4</sup>	0,009 × 10 <sup>-4</sup>
38	0,104	0,0108 × 10 <sup>-4</sup>	92,8 × 10 <sup>4</sup>	0,007 × 10 <sup>-4</sup>
40	0,08	0,0064 × 10 <sup>-4</sup>	156,3 × 10 <sup>4</sup>	0,005 × 10 <sup>-4</sup>

tabela 1

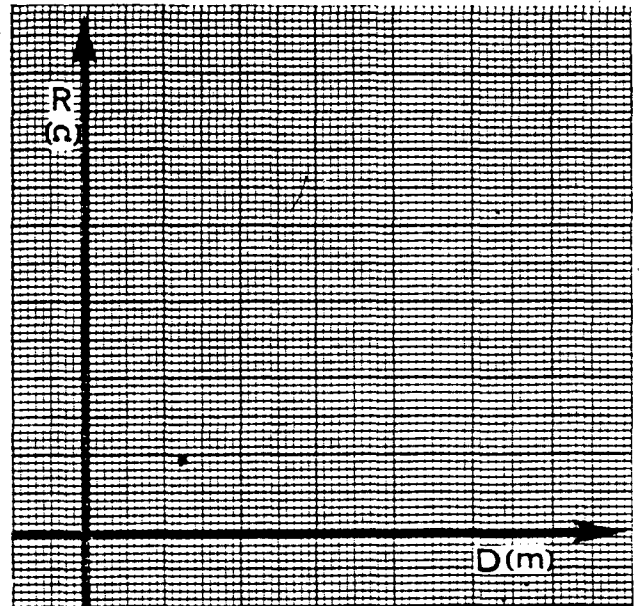


figura 1

**Q1** — Que experiência você sugere para verificar apenas a influência do diâmetro na resistência elétrica de um fio?

Para simplificar, consideraremos, neste capítulo, apenas condutores ôhmicos, especialmente fios metálicos.

**Q2** — O que é um condutor ôhmico?

## 1. Variação da resistência com o diâmetro do fio

Você vai fazer uma experiência em que procurará verificar a influência do diâmetro de um fio no valor da sua resistência elétrica.

Você poderá utilizar fios de níquel-cromo (Ni-Cr) de diferentes diâmetros, mas de mesmo comprimento.

**Q3** — Por que convém usar fios de mesmo comprimento nesta experiência?

Se os fios forem de mesmo material e de comprimentos iguais, as diferenças que forem encontradas, nos valores das resistências, não podem ser atribuídas a diferenças no comprimento. Assim, o efeito do diâmetro é mais claramente evidenciado.

6-2

Fios de diferentes diâmetros são identificados no comércio e na indústria por números. A cada número corresponde determinado diâmetro (a tabela 1 dá o valor de D em mm e D<sup>2</sup> em mm<sup>2</sup>).

Se você estiver utilizando fio de Ni-Cr, lembre-se de que ele não possui a camada isolante de esmalte ou plástico. Portanto, o contato entre pontos intermediários deve ser evitado para não afetar a medida da resistência.

Meça a resistência de cinco fios de mesmo comprimento mas diferentes diâmetros. Se você tiver dúvidas quanto à utilização do medidor, consulte o Guia. Lembre-se de verificar inicialmente se, unindo os terminais, o medidor indica zero ohm.

Registre na tabela 2 os valores que você encontrou, pela ordem crescente dos diâmetros.

**Q4** — Como varia a resistência dos fios, quando se consideram fios de diferentes diâmetros?

Vamos procurar uma relação quantitativa entre a resistência R e o diâmetro D, isto é, vamos estudar de que forma R varia em função de D.

Com os dados que você registrou na tabela 2, construa na figura 1 o gráfico R × D.

nº do fio	D (m)	R (Ω)	1/D <sup>2</sup>

tabela 2

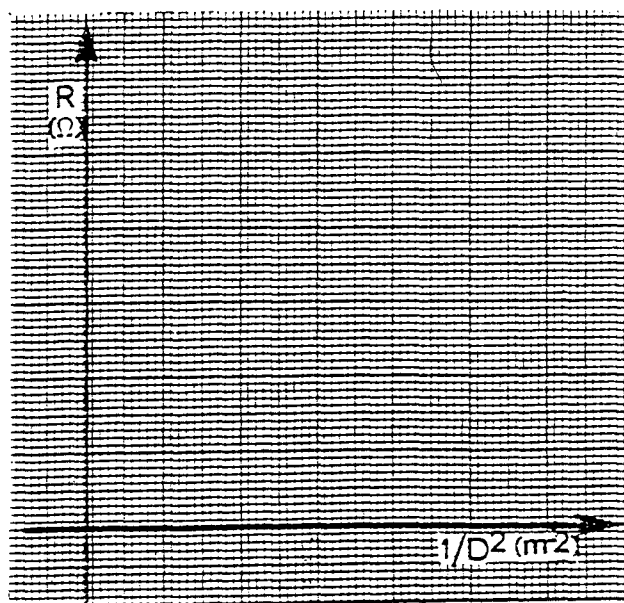


figura 2

Q5 — O gráfico que você obteve é linear?

Esta maneira de representar a dependência entre R e D nos dá uma idéia de como R varia com D, mas não sugere claramente a equação matemática que relaciona essas duas grandezas.

Se conseguirmos transformar convenientemente as variáveis, de forma a obtermos um gráfico linear, a dependência entre R e D se tornará mais clara.

Vamos fazer um outro gráfico, a partir dos valores obtidos na tabela 1.

Complete a tabela 2, copiando da tabela 1 os valores correspondentes de 1/D<sup>2</sup>, isto é, do inverso do quadrado do diâmetro. Construa o gráfico R × 1/D<sup>2</sup> na figura 2.

Q6 — Que tipo de curva você obteve?

O gráfico R × 1/D<sup>2</sup> deve ter dado uma reta que passa pela origem. Isto significa que R é diretamente proporcional a 1/D<sup>2</sup>.

Para representar que uma grandeza é diretamente proporcional a outra, costuma-se utilizar o símbolo  $\propto$ . Assim, para escrever simbolicamente que a resistência é diretamente proporcional ao inverso do quadrado do diâmetro do fio, escreve-se:

$$R \propto \frac{1}{D^2}$$

## RESPOSTAS

R<sub>1</sub> -

R<sub>2</sub> -

R<sub>3</sub> -

R<sub>4</sub> -

R<sub>5</sub> -

R<sub>6</sub> -

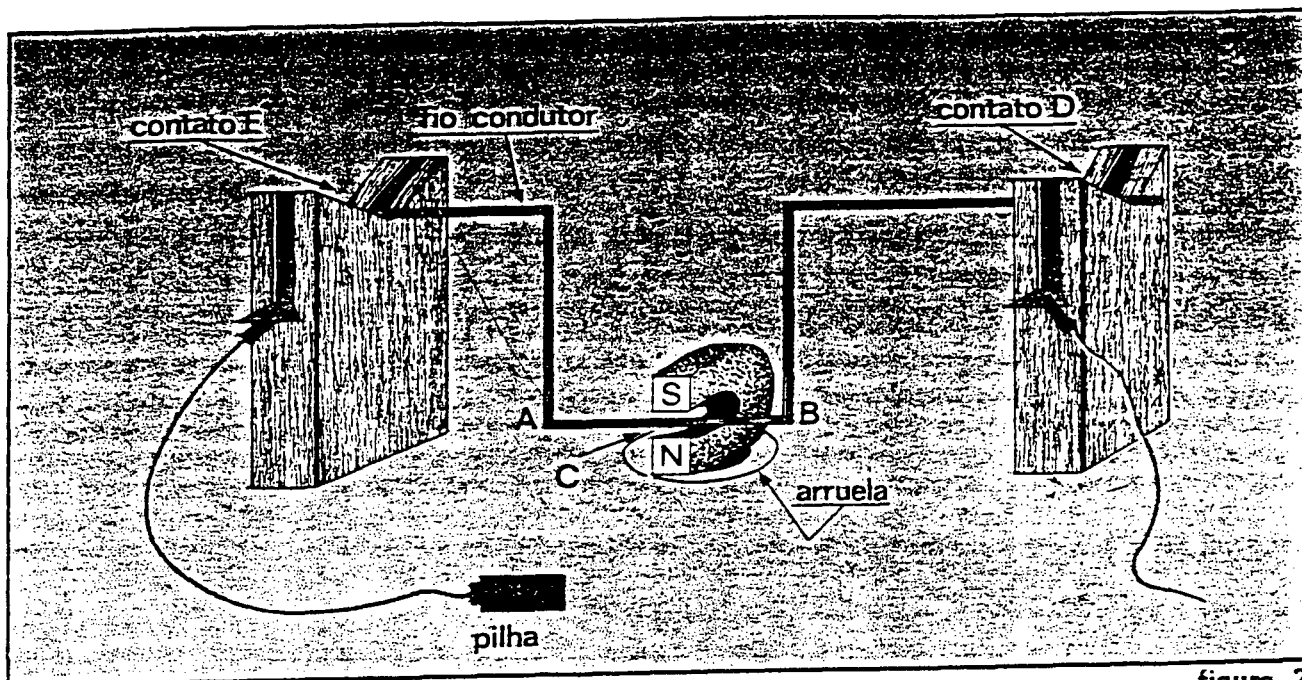


figura 2

gura 2); o campo magnético é o campo criado entre os polos do ímã.

Para obter melhores resultados, observe os seguintes cuidados:

Verifique se, na montagem da sua experiência, o fio condutor **AB** fica perpendicular à face lateral do ímã. Faça ainda com que o fio **AB** passe entre os polos do ímã, onde o campo magnético é mais intenso.

Realizados esses ajustes, você está em condições de fazer observações experimentais que lhe permitirão chegar a conclusões importantes.

Estabeleça algumas vezes uma ligação rápida da pilha com o fio. Enquanto o circuito está ligado à pilha, o trecho **AB** é percorrido por uma corrente.

**Q1** — Descreva o que ocorre com o condutor.

Você deve ter observado que o condutor tende a se deslocar para dentro ou para fora do ímã. Se o deslocamento que obteve for para dentro do ímã, inverta a polaridade da pilha, pois iniciaremos a análise do fenômeno para o caso em que o fio tende a se deslocar para fora.

O resultado da experiência mostra que uma força age sobre o condutor e que essa força depende tanto da existência do campo magnético como da existência da corrente elétrica no condutor.

4-2

**Q2** — Indique no esquema da figura 2 a direção da força que tende a deslocar o condutor.

Você não deve manter a ligação com a pilha por muito tempo, para não gastá-la. No entanto, se a ligação fosse mantida por mais tempo, o condutor **AB** ficaria numa nova posição de equilíbrio, deslocada em relação a sua posição de equilíbrio inicial.

Vamos agora analisar o campo magnético na região do condutor, para compreender melhor o que se passa.

Na figura 3 estão representadas as linhas de campo do ímã num plano. Nesse esquema você pode notar que há uma reta de simetria para as linhas de campo.

**Q3** — Esquematize, na figura 3, o vetor  $\vec{B}$  para alguns pontos pertencentes à reta de simetria.

**Q4** — Indique na mesma figura a direção e o sentido do vetor  $\vec{B}$  no ponto C, que representa a posição do condutor na experiência que você montou.

**Q5** — A corrente elétrica percorre o condutor no sentido de A para B ou de B para A (figura 1)?

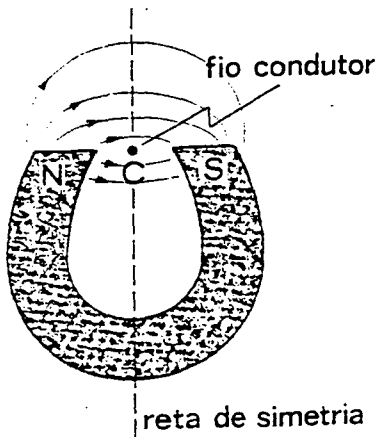


figura 3

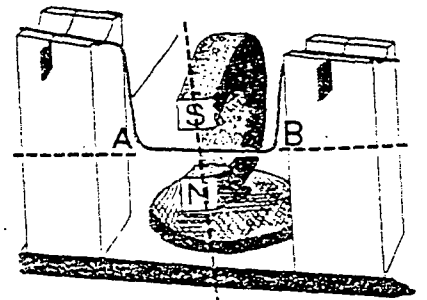


figura 5

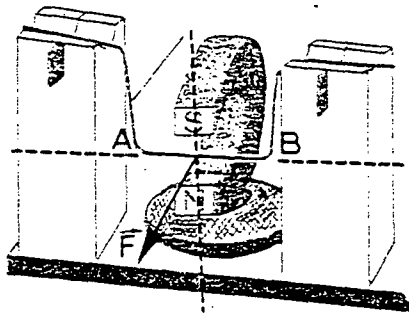


figura 4

A figura 4 representa, em três dimensões, um trecho do condutor da figura 1 e a força  $\vec{F}$  sobre ele no ponto C.

Note que o condutor tem forma de U, mas o trecho que está sendo considerado é retilíneo.

Q6 — Indique na figura 4 o sentido da corrente no condutor e o sentido do campo  $\vec{B}$ .

Inverta, agora, com relação à experiência anterior, o sentido da corrente elétrica que atravessa o condutor. Faça a ligação, rápida, com a pilha e observe o novo deslocamento do condutor.

Q7 — Represente, na figura 5, o sentido da corrente, do campo  $\vec{B}$  e da força.

Considere, nos esquemas das figuras 4 e 5, o plano formado pela direção do vetor  $\vec{B}$  e pela corrente que percorre o condutor.

Q8 — Qual a posição do vetor  $\vec{F}$  com relação a esse plano?

Q9 — O sentido do vetor  $\vec{F}$  é o mesmo nas figuras 4 e 5?

## RESPOSTAS

R<sub>1</sub> -

R<sub>2</sub> -

R<sub>5</sub> -

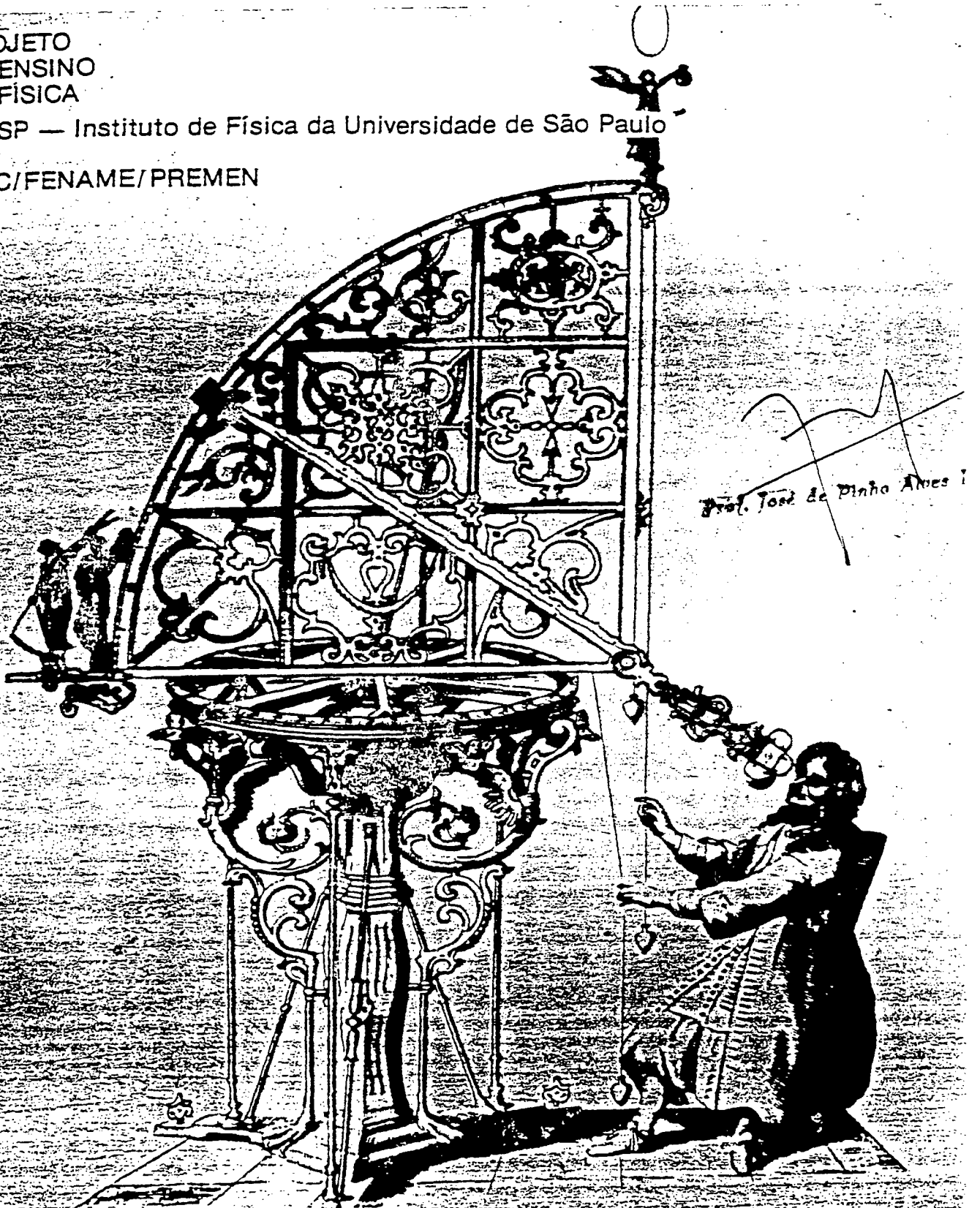
R<sub>8</sub> -

R<sub>9</sub> -

PROJETO  
DE ENSINO  
DE FÍSICA

IFUSP — Instituto de Física da Universidade de São Paulo

MEC/FENAME/PREMEN



*Prof. José de Pinho Alves*

# GUIA DO PROFESSOR



## MEC/FENAME/PREMEN

PEF - PROJETO DE ENSINO DE FÍSICA, constituído de quatro conjuntos de textos e materiais experimentais (Mecânica 1 e 2, Eletricidade e Eletromagnetismo) e de um Guia do Professor destinados ao ensino de segundo grau, foi planejado e elaborado pela equipe do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) mediante convênios com a FENAME e o PREMEN

**Coordenação**  
Ernst Wolfgang Hamburger  
Giorgio Moscati

**Guia do Professor**  
Antonio Rodrigues  
Antonio Geraldo Violin  
Eliseu Gabriel de Pieri  
Joaquim Nestor Braga de Moraes  
José de Pinho Alves Filho  
Jesuina Lopes de Almeida Pacca  
Moacyr Ribeiro do Valle Filho  
Paulo Alves de Lima  
Diomar da Rocha Santos Bittencourt (redação final)

**Mecânica**  
Antonia Rodrigues  
Antonio Geraldo Violin  
Diomar da Rocha Santos Bittencourt  
Hideya Nakano  
Luiz Muryllo Mantovani  
Paulo Alves de Lima  
Plínio Ugo Meneguini dos Santos (vice-coordenador)

**Eletricidade**  
Eliseu Gabriel de Pieri  
José de Pinho Alves Filho  
Judite Fernandes de Almeida

*Prof. José de Pinho Alves Po*

**Eletromagnetismo**  
Jesuina Lopes de Almeida Pacca  
João Evangelista Steiner

**Programação Visual**  
Carlos Egidio Alonso  
Carlos Roberto Monteiro de Andrade  
Ettore Michele di San Filli Bottini  
João Baptista Novelli Junior

**Fotografia e Reproduções**  
José Augusto Machado Calil  
Washington Mazzola Racy

**Secretaria e Datilografia**  
Carlos Eduardo Franco de Siqueira  
Janete Vieira Garcia Novo

**Linguagem dos textos do aluno**  
Claudio Renato Weber Abramo  
Maria Nair Moreira Rebello

**Construção de protótipos**  
José Ferreira  
Voanerges do Espírito Santo Brites

**Desenho Industrial dos Conjuntos Experimentais**  
Alessandro Ventura (Mecânica)  
Plínio Ugo Meneguini dos Santos (Eletricidade e Eletromagnetismo)

Colaboram o pessoal da Secretaria, Oficina Gráfica, Administração, Oficina Mecânica e Oficina Eletrônica do IFUSP.

IFUSP: Caixa Postal 20516, São Paulo — SP

# Sumário

APRESENTAÇÃO .....	11	3. Pré-requisitos .....	38
1. Organização do Guia .....	12	4. Número de aulas previstas .....	38
2. Objetivos do curso .....	12	5. Sugestões para avaliação .....	38
3. Programa .....	13	6. Bibliografia .....	39
4. Forma de apresentação dos textos .....	13	7. Comentários sobre o texto .....	40
5. Textos optativos e leituras suplementares .....	14	8. Sugestões para discussão com os alunos .....	40
6. Duração do curso .....	14	Sugestões para outras experiências .....	41
7. Condições das salas de aula e duração das aulas .....	15	<b>Capítulo 4 — Movimento uniforme</b> .....	42
8. Pré-requisitos dos alunos .....	15	1. Conteúdo .....	42
9. Forma de trabalho dos alunos .....	16	2. Objetivos do capítulo .....	42
10. Forma de trabalho do professor .....	17	3. Pré-requisitos .....	42
11. Início do curso .....	18	4. Número de aulas previstas .....	43
12. Avaliação .....	19	5. Sugestões para avaliação .....	43
13. Bibliografia geral .....	22	6. Bibliografia .....	47
14. Professores e colégios que testaram o Projeto de Ensino de Física .....	22	7. Comentários sobre o texto .....	47
MECÂNICA .....	23	8. Sugestões para discussão com os alunos .....	47
<b>Capítulo 0</b> .....	23	Sugestões para outras experiências .....	51
1. Objetivos gerais do curso .....	23	<b>Capítulo 5 — Velocidade média e velocidade instantânea</b> .....	52
2. Programa de Mecânica .....	24	1. Conteúdo .....	52
3. Número de aulas previstas .....	26	2. Objetivos do capítulo .....	52
4. Programação do curso .....	27	3. Pré-requisitos .....	52
5. O laboratório de Mecânica .....	27	4. Número de aulas previstas .....	52
6. Teste de pré-requisitos .....	27	5. Sugestões para avaliação .....	53
<b>Capítulo 1 — Órbita de um satélite</b> .....	29	6. Bibliografia .....	53
1. Conteúdo .....	30	7. Comentários sobre o texto .....	54
2. Objetivos do capítulo .....	30	8. Sugestões para discussão com os alunos .....	54
3. Pré-requisitos .....	30	Sugestões para outras experiências .....	55
4. Número de aulas previstas .....	30	<b>Capítulo 6 — Força, inércia e aceleração</b> .....	56
5. Sugestões para avaliação .....	30	1. Conteúdo .....	56
6. Bibliografia .....	31	2. Objetivos do capítulo .....	56
7. Comentários sobre o texto .....	32	3. Pré-requisitos .....	57
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	32	4. Número de aulas previstas .....	57
9. Sugestões para outras experiências .....	33	5. Sugestões para avaliação .....	58
<b>Capítulo 2 — Medidas de espaço</b> .....	34	6. Bibliografia .....	58
1. Conteúdo .....	34	7. Comentários sobre o texto .....	62
2. Objetivos do capítulo .....	34	8. Sugestões para discussão com os alunos .....	62
3. Pré-requisitos .....	34	Sugestões para outras experiências .....	63
4. Número de aulas previstas .....	34	<b>Capítulo 7 — Segunda lei de Newton</b> .....	64
5. Sugestões para avaliação .....	34	1. Conteúdo .....	64
6. Bibliografia .....	34	2. Objetivos do capítulo .....	64
7. Comentários sobre o texto .....	35	3. Pré-requisitos .....	64
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	35	4. Número de aulas previstas .....	64
9. Sugestões para outras experiências .....	36	5. Sugestões para avaliação .....	65
<b>Capítulo 3 — Medidas de tempo</b> .....	37	6. Bibliografia .....	65
1. Conteúdo .....	38	7. Comentários sobre o texto .....	68
2. Objetivos do capítulo .....	38	8. Sugestões para discussão com os alunos .....	68
		Sugestões para outras experiências .....	69
		<b>Capítulo 8 — Grandezas vetoriais</b> .....	70
		1. Conteúdo .....	70
		2. Objetivos do capítulo .....	70
		3. Pré-requisitos .....	70
		4. Número de aulas previstas .....	70
		5. Sugestões para avaliação .....	71

2. Objetivos do capítulo .....	116
3. Pré-requisitos .....	116
4. Número de aulas previstas .....	116
5. Sugestões para avaliação .....	116
6. Bibliografia .....	117
7. Comentários sobre o texto .....	118
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	122
9. Sugestões para outras experiências .....	124
<b>Capítulo 2 — Campo elétrico e pilha .....</b>	<b>125</b>
1. Conteúdo .....	126
2. Objetivos do capítulo .....	126
3. Pré-requisitos .....	126
4. Número de aulas previstas .....	126
5. Sugestões para avaliação .....	128
6. Bibliografia .....	128
7. Comentários sobre o texto .....	132
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	132
9. Sugestões para outras experiências .....	132
<b>Capítulo 3 — Potencial elétrico .....</b>	<b>133</b>
1. Conteúdo .....	134
2. Objetivos do capítulo .....	134
3. Pré-requisitos .....	134
4. Número de aulas previstas .....	134
5. Sugestões para avaliação .....	136
6. Bibliografia .....	136
7. Comentários sobre o texto .....	140
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	140
9. Sugestões para outras experiências .....	140
<b>Capítulo 4 — Corrente elétrica .....</b>	<b>141</b>
1. Conteúdo .....	142
2. Objetivos do capítulo .....	142
3. Pré-requisitos .....	142
4. Número de aulas previstas .....	142
5. Sugestões para avaliação .....	144
6. Bibliografia .....	144
7. Comentários sobre o texto .....	145
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	147
9. Sugestões para outras experiências .....	149
<b>Capítulo 5 — Resistência elétrica .....</b>	<b>150</b>
1. Conteúdo .....	150
2. Objetivos do capítulo .....	150
3. Pré-requisitos .....	150
4. Número de aulas previstas .....	150
5. Sugestões para avaliação .....	152
6. Bibliografia .....	152
7. Comentários sobre o texto .....	152
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	153
9. Sugestões para outras experiências .....	154
<b>Capítulo 6 — Resistência e resistividade .....</b>	<b>155</b>
1. Conteúdo .....	156
2. Objetivos do capítulo .....	156
3. Pré-requisitos .....	156
4. Número de aulas previstas .....	156
5. Sugestões para avaliação .....	156

6. Bibliografia .....	71
7. Comentários sobre o texto .....	71
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	73
9. Sugestões para outras experiências .....	73
<b>Capítulo 9 — Quantidade de movimento .....</b>	<b>75</b>
1. Conteúdo .....	76
2. Objetivos do capítulo .....	76
3. Pré-requisitos .....	76
4. Número de aulas previstas .....	76
5. Sugestões para avaliação .....	76
6. Bibliografia .....	76
7. Comentários sobre o texto .....	77
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	79
9. Sugestões para outras experiências .....	80
<b>Capítulo 10 — Energia e Trabalho .....</b>	<b>81</b>
1. Conteúdo .....	82
2. Objetivos do capítulo .....	82
3. Pré-requisitos .....	82
4. Número de aulas previstas .....	82
5. Sugestões para avaliação .....	82
6. Bibliografia .....	83
7. Comentários sobre o texto .....	83
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	90
9. Sugestões para outras experiências .....	90
<b>Capítulo 11 — Conservação de energia .....</b>	<b>91</b>
1. Conteúdo .....	92
2. Objetivos do capítulo .....	92
3. Pré-requisitos .....	92
4. Número de aulas previstas .....	93
5. Sugestões para avaliação .....	93
6. Bibliografia .....	93
7. Comentários sobre o texto .....	93
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	99
9. Sugestões para outras experiências .....	100
<b>Capítulo 12 — Gravitação .....</b>	<b>101</b>
1. Conteúdo .....	102
2. Objetivos do capítulo .....	102
3. Pré-requisitos .....	102
4. Número de aulas previstas .....	102
5. Sugestões para avaliação .....	102
6. Bibliografia .....	103
7. Comentários sobre o texto .....	103
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	107
9. Sugestões para outras experiências .....	109
<b>ELETRICIDADE</b>	
<b>Capítulo 0 .....</b>	<b>111</b>
1. Objetivos gerais do curso .....	111
2. Programa de Eletricidade .....	111
3. Número de aulas previstas .....	112
4. Programação do curso .....	113
5. O laboratório de Eletricidade .....	114
6. Teste de pré-requisitos .....	114
<b>Capítulo 1 — Cargas e estrutura da matéria .....</b>	<b>115</b>
1. Conteúdo .....	116

7. Comentários sobre o texto .....	189
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	191
9. Sugestões para outras experiências .....	192
<b>Capítulo 2 — Estruturas dos ímãs .....</b>	<b>195</b>
1. Conteúdo .....	196
2. Objetivos do capítulo .....	196
3. Pré-requisitos .....	196
4. Número de aulas previstas .....	196
5. Sugestões para avaliação .....	196
6. Bibliografia .....	197
7. Comentários sobre o texto .....	198
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	200
9. Sugestões para outras experiências .....	201
<b>Capítulo 3 — O campo magnético .....</b>	<b>203</b>
1. Conteúdo .....	204
2. Objetivos do capítulo .....	204
3. Pré-requisitos .....	204
4. Número de aulas previstas .....	204
5. Sugestões para avaliação .....	204
6. Bibliografia .....	205
7. Comentários sobre o texto .....	205
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	208
9. Sugestões para outras experiências .....	208
<b>Capítulo 4 — Correntes em campos magnéticos .....</b>	<b>211</b>
1. Conteúdo .....	211
2. Objetivos do capítulo .....	211
3. Pré-requisitos .....	213
4. Número de aulas previstas .....	213
5. Sugestões para avaliação .....	213
6. Bibliografia .....	213
7. Comentários sobre o texto .....	214
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	217
9. Sugestões para outras experiências .....	218
<b>Capítulo 5 — Indução eletromagnética .....</b>	<b>219</b>
1. Conteúdo .....	220
2. Objetivos do capítulo .....	220
3. Pré-requisitos .....	220
4. Número de aulas previstas .....	220
5. Sugestões para avaliação .....	220
6. Bibliografia .....	221
7. Comentários sobre o texto .....	221
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	224
9. Sugestões para outras experiências .....	225
<b>Capítulo 6 — Aplicações do Eletromagnetismo .....</b>	<b>227</b>
1. Conteúdo .....	228
2. Objetivos do capítulo .....	228
3. Pré-requisitos .....	228
4. Número de aulas previstas .....	229
5. Sugestões para avaliação .....	229
6. Bibliografia .....	229
7. Comentários sobre o texto .....	229
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	230
9. Sugestões para outras experiências .....	231

6. Bibliografia .....	158
7. Comentários sobre o texto .....	158
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	160
9. Sugestões para outras experiências .....	161
<b>Capítulo 7 — Condução nos sólidos .....</b>	<b>163</b>
1. Conteúdo .....	164
2. Objetivos do capítulo .....	164
3. Pré-requisitos .....	164
4. Número de aulas previstas .....	164
5. Sugestões para avaliação .....	164
6. Bibliografia .....	165
7. Comentários sobre o texto .....	165
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	167
9. Sugestões para outras experiências .....	168
<b>Capítulo 8 — Efeito Joule .....</b>	<b>169</b>
1. Conteúdo .....	170
2. Objetivos do capítulo .....	170
3. Pré-requisitos .....	170
4. Número de aulas previstas .....	170
5. Sugestões para avaliação .....	170
6. Bibliografia .....	171
7. Comentários sobre o texto .....	171
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	172
9. Sugestões para outras experiências .....	173
<b>Capítulo 9 — Circuitos elétricos .....</b>	<b>175</b>
1. Conteúdo .....	176
2. Objetivos do capítulo .....	176
3. Pré-requisitos .....	176
4. Número de aulas previstas .....	176
5. Sugestões para avaliação .....	176
6. Bibliografia .....	177
7. Comentários sobre o texto .....	177
8. Sugestões para discussão com os alunos .....	179
9. Sugestões para outras experiências .....	179
<b>ELETROMAGNETISMO</b>	
<b>Capítulo 0 .....</b>	<b>181</b>
Introdução .....	181
1. Objetivos gerais do curso .....	181
2. Programa de Eletromagnetismo .....	182
3. Número de aulas previstas .....	183
4. Programação do curso .....	183
5. O laboratório de Eletromagnetismo .....	183
6. Instruções de montagem dos dispositivos para os capítulos 4 e 6 .....	185
7. Indicações de algumas montagens das experiências descritas no texto .....	186
8. Teste de pré-requisitos .....	186
<b>Capítulo 1 — Eletricidade e ímãs .....</b>	<b>187</b>
1. Conteúdo .....	188
2. Objetivos do capítulo .....	188
3. Pré-requisitos .....	188
4. Número de aulas previstas .....	188
5. Sugestões para avaliação .....	188
6. Bibliografia .....	189

## **ANEXO 11**

- PBEF.
- CAPA: MECÂNICA.
- ORIENTAÇÕES AO PROFESSOR.
  - CAPA.
- EXEMPLO DO TEXTO : “UM POUCO MAIS AINDA”.

RODOLPHO CANIATO

# MIAECÂNICA

## VOLUME II

No presente trabalho o autor  
recebeu ajuda das seguintes  
entidades:

### UM PROJETO BRASILEIRO PARA O ENSINO DE FÍSICA

FUNDAÇÃO BRASILEIRA para o DESENVOLVIMENTO  
do  
ENSINO de CIÊNCIAS - FUNDEC - São Paulo

CENTRO de TREINAMENTO para PROFESSORES DE CIÊN -  
CIAS do ESTADO de São Paulo

DEPARTAMENTO de FÍSICA da FACULDADE de FILOSOFIA  
CIÊNCIAS e LETRAS de RIO CLARO ( S.P. )

FACULDADE de EDUCAÇÃO

DA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS ( S.P. )

FUNDAÇÃO de AMPARO à PESQUISA - FAPESP - São Paul.

COORDENAÇÃO GERAL DO PROJETO

RODOLPHO CANIATO

JOSÉ GOLDENBERG

A. S. TEIXEIRA Jr.

## A O P R O F E S S O R

Todo trabalho desenvolvido neste projeto pressupõe uma intensa participação do aluno no processo ensino-aprendizagem. Ele resulta de uma perspectiva em que nem o PROFESSOR é um repetidor de coisas que estão no livro nem o aluno aprende simplesmente ouvindo ou anotando. Pensou-se em proporcionar meios para uma intensa interação PROFESSOR-ALUNO na qual o ALUNO participa intensamente da AULA e na qual o PROFESSOR assume um papel parecido ao de um regente de orquestra. Caberá ao PROFESSOR usar sua maior experiência para CONDUZIR e BALANÇEAR a participação dos EDUCANDOS. Dessa maneira inclusive o cabedal de experiência adquirida pelo PROFESSOR também crescerá rapidamente e ele não correrá tanto o risco de "ESCLEROSAR" ou mesmo "FOSSILIZAR" seus conhecimentos e seus hábitos de ensino.

Os textos foram preparados com a preocupação de se oferecer uma linguagem ao alcance do ALUNO e que proporcione um grande cenário de idéias, situações e "deixas" para discussões que podem ser exploradas segundo os interesses do ALUNO e DISPONIBILIDADE do PROFESSOR.

As ATIVIDADES são parte obrigatória e foram pensadas e ensaiadas para serem possíveis em QUALQUER CONDIÇÕES BRASILEIRAS. Elas não exigem NUNCA material caro ou de difícil obtenção EM TERMOS BRASILEIROS. Será importante que o PROFESSOR consiga previamente esse MATERIAL. Sugerimos que haja um pequeno grupo de ALUNOS sempre incumbido de conseguir o material.

As coisas que aqui estão sugeridas não foram simplesmente planejadas em gabinete mas estão sendo exaustivamente ensaiadas desde 1970 ininterruptamente.

Lembramos também que uma das preocupações sempre presente foi de criar uma estrutura EM PARALELO para todo o PROJETO. Isso equivale a dizer que não existe uma ordem obrigatória entre as UNIDADES e nem mesmo entre CAPÍTULOS e SEÇÕES. Cada seção, com raras exceções não é pré-requisito para a seguinte. Isso equivale a dizer que o professor poderá começar o curso por qualquer das partes.

Damos a seguir algumas normas ditadas pela experiência vivida e que facilitarão o trabalho do PROFESSOR.

## P R O C E D I M E N T O

1. Explique aos alunos que com os métodos tradicionais eles têm assistido às aulas e que agora eles irão tomar parte no jogo do ensino-aprendizagem. Neste jogo eles vão adquirir não só informações, mas também treinarão argumentação e iniciativa de raciocínio, ingredientes necessários em qualquer ramo do conhecimento.
2. Uma primeira leitura do texto deverá ser feita em voz alta e sem nenhuma interrupção. Cada pequeno trecho deverá ser lido por um diferente aluno e que será escolhido ao acaso. Durante a leitura os alunos deverão fazer um pequeno sinal ao lado da linha onde estiver um assunto ou conceito que não entenderam ou que lhes interessa discutir. Quando se trata de "classes muito boas" ou já treinadas em trabalho em grupo a leitura em voz alta pode, com vantagem, ser substituída pela leitura individual.
3. Terminada a leitura, será iniciada a discussão dos pontos escolhidos pelos alunos e pelo PROFESSOR. Aqui a atuação do PROFESSOR será indispensável tanto para ordenar a discussão

como para evitar que uns fiquem com a palavra em prejuízo dos outros. Diante das perguntas, o PROFESSOR não deve simplesmente dar as respostas, mas sim conduzir a discussão para que as respostas sejam provocadas nos alunos.

4. Sempre que um aluno manifesta uma AÇÃO considerada desejável pelo PROFESSOR este deverá manifestar ao aluno, de alguma maneira, sua aprovação e sempre que possível registrar a contribuição na folha de registro de trabalho. Essa aprovação deve ser manifestada principalmente em relação a AÇÕES de LER, CRITICAR, FAZER ( atividades ), FALAR, CONTRIBUIR ( acrescentar idéias que não estão no texto ) e COOPERAR com o grupo ou classe. Se o PROFESSOR achar oportuno poderá acrescentar outros critérios de AValiação. Todas estas recomendações se aplicam também e principalmente ao trabalho nas ATIVIDADES.

5. Todos os textos ( seções ) incluem uma ATIVIDADE que deverá ser feita sem exceção e na mesma ordem em que ela aparece no texto. Para a realização dessas ATIVIDADES o PROFESSOR deverá dividir os alunos em grupos que não devam conter mais de seis elementos.

Durante a realização das ATIVIDADES, o PROFESSOR deve passar pelos grupos para verificar e eventualmente estimular o trabalho e as discussões sobre o que está sendo feito. Quando o PROFESSOR perceber que há dificuldades que se manifestam em vários grupos, será oportuno que ele interrompa o trabalho por uns instantes para esclarecer e evitar que o ritmo do trabalho decaia. É importante que os alunos tenham presente que o PROFESSOR está OBSERVANDO o trabalho de todos e anotando positivamente o desempenho de cada aluno e de cada grupo.

6. Desaconselha-se inteiramente que o PROFESSOR use qualquer método coercitivo ou que represente ameaça, ainda que simplesmente a de um ZELO.

7. Alunos ou grupos deverão ser incumbidos pelo professor de obter e organizar o material para a ATIVIDADE seguinte.

8. Os níveis "SE VOCÊ QUISSER SABER UM POUCO MAIS" e "UM POUCO MAIS AINDA" são destinados aos alunos que puderem e quiserem. Desaconselha-se que todos os alunos sejam submetidos a uma carga que pode ser "pesada" ou indesejável para muitos.

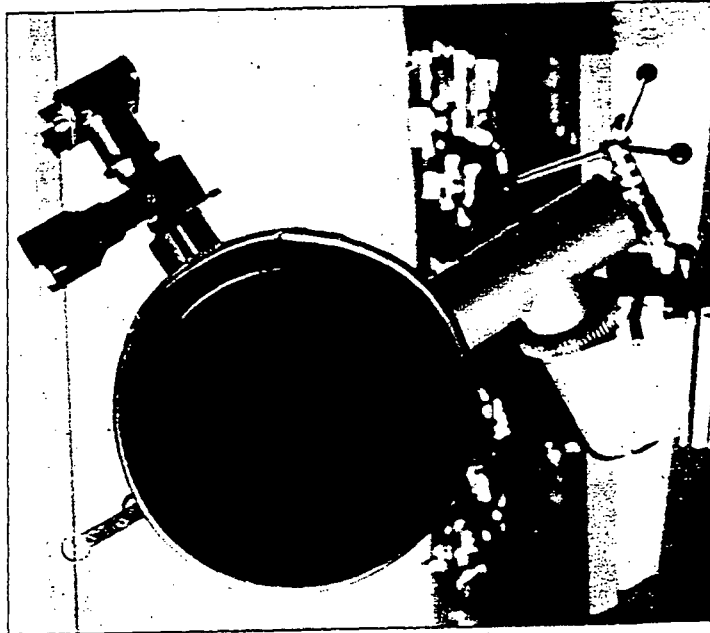


# Rodolpho Caniato

Doutor em Ciência (Departamento de Física) pela Unesp  
 Ex-professor da PUCCamp, da Unesp, da Unicamp e da USP  
 Professor do curso de pós-graduação da Universidade Federal Rural  
 do Rio de Janeiro

Conferencista de treinamento para professores  
 nos três níveis (Brasil e países da América Latina)  
 Assessor de projetos de pesquisa e autor de vários livros

## O Céu



Telescópio com equipamento fotocêntrico montado pelo autor  
 para a PUCCamp e inaugurado em maio de 1955.

Unindo os pontos marcados, você obterá a trajetória da Lua "ao redor da Terra" em um mês. Não prossiga a leitura sem ter feito isso.

É o que você havia previsto em seu esquema?

Você notou que a trajetória não tem nenhum "laco"?

Você percebeu que em nenhum momento a Lua deu "marcha à ré"?

Você notou que a concavidade da curva está sempre voltada para dentro (lado do Sol)?

Se a concavidade da curva descrita está sempre voltada para dentro (lado do Sol), é porque a resultante das forças que atuam sobre a Lua está sempre apontada para dentro. Mas a resultante é a soma vetorial das forças de atração do Sol e da Terra sobre a Lua.

Quando a Lua está na direção oposta ao Sol (lua cheia), as forças de atração do Sol e da Terra sobre a Lua se somam. Neste caso, a resultante é maior e, por isso, a curva é mais fechada.

Quando a Lua está do mesmo lado que o Sol (lua nova), as forças da Terra e do Sol são de sentidos contrários. A resultante é, então, a diferença entre as atrações do Sol e da Terra e, por isso, a curva é menos fechada. Mas, se a curva ainda assim é voltada para o Sol, isso significa que a resultante ainda é voltada para o Sol, ou seja, a força de atração do Sol sobre a Lua é maior que a força que a Terra exerce sobre seu satélite.

Como, então, a Lua não cai sobre o Sol?

Na verdade, ela está, como a Terra, sempre caindo sobre o Sol... só que nunca acerta nele.

### UM POUCO MAIS AINDA

Se você quiser, poderá comprovar por outros meios o fato de que o Sol exerce sobre a Lua uma força que é mais do que o dobro da força exercida pela Terra.

Vamos usar a equação da gravitação universal de Newton.

Como você sabe, a força de atração gravitacional entre dois corpos quaisquer é dada por:

$$F = G \cdot \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

Aplicando essa equação ao caso do Sol e da Lua, temos:

$$F_{SL} = G \cdot \frac{m_S m_L}{d_{SL}^2}$$

A força de atração gravitacional entre a Terra e a Lua é dada por:

$$F_{TL} = G \cdot \frac{m_T m_L}{d_{TL}^2}$$

Dividindo essas equações entre si, temos:

$$\frac{F_{SL}}{F_{TL}} = \frac{\frac{Gm_S m_T}{d_{SL}^2}}{\frac{Gm_T m_T}{d_{TL}^2}}$$

Dai:

$$\frac{F_{SL}}{F_{TL}} = \frac{m_S}{m_T} \cdot \frac{d_{TL}^2}{d_{SL}^2}$$

Para facilitar, podemos expressar a distância do Sol em termos da distância entre a Lua e a Terra. Se chamarmos a distância Terra-Lua de  $1$ , a distância Sol-Lua será aproximadamente  $400$ , pois:

$$d_{SL} = 400d_{TL}$$

Sabemos que a massa do Sol é  $m_S = 2 \cdot 10^{30}$  kg e que a massa da Terra é  $m_T = 6 \cdot 10^{24}$  kg. Com esses valores, a relação fica assim:

$$\frac{F_{SL}}{F_{TL}} = \frac{2 \cdot 10^{30} \text{ kg}}{6 \cdot 10^{24} \text{ kg}} \cdot \frac{1}{(400)^2} = \frac{100}{48}$$

Assim:

$$\frac{F_{SL}}{F_{TL}} = 2,1 \text{ ou } F_{SL} = 2,1F_{TL}$$

Então, podemos dizer que a força de atração entre o Sol e a Lua é 2,1 vezes maior que a força entre a Terra e a Lua.

Mas você poderia chegar a esse resultado ainda por outro caminho.

Quando falamos nas leis de Kepler, mostramos que a relação de massas entre dois astros (que tenham satélites) é igual à relação de suas constantes  $R^3/T^2$ . Então:

$$\frac{m_S}{m_T} = \frac{K_S}{K_T} = \frac{R_S^3}{R_T^3} \cdot \frac{T_T^2}{T_S^2}$$

onde  $T_L$  é o período da órbita da Lua em torno da Terra e  $T_T$  é o período da órbita da Terra.

Voltemos, então, à expressão:

$$\frac{F_{SL}}{F_{TL}} = \frac{m_S}{m_T} \cdot \frac{d_{TL}^2}{d_{SL}^2}$$

Ora, a distância Terra-Lua ( $d_{TL}$ ) é o raio da órbita da Lua ( $R_L$ ). Da mesma maneira, a distância Sol-Lua ( $d_{SL}$ ) é o raio da órbita da Terra ( $R_T$ ). Então:

$$\frac{F_{SL}}{F_{TL}} = \frac{d_{SL}^3}{R_T^3} \cdot \frac{d_{TL}^2}{d_{SL}^2} = \frac{d_{SL}^3}{R_T^3} \cdot \frac{R_L^2}{d_{SL}^2} \cdot \frac{T_T^2}{T_S^2} = \frac{d_{SL}}{R_T} \cdot \frac{R_L^2}{d_{SL}} \cdot \frac{T_T^2}{T_S^2}$$

Mas  $d_{SL} = 400d_{TL}$  e  $T_T = \frac{1}{12} \cdot T_S$ . Substituindo, vem:

$$\frac{F_{SL}}{F_{TL}} = \frac{400d_{TL}}{d_{TL}} \cdot \frac{T_T^2}{(12)^2 \cdot T_T^2} = \frac{400}{144} = 2,7$$

Isso não é exato. O mês é aproximadamente o tempo que a Lua leva para fazer uma volta ao redor da Terra, porém contada a partir do Sol. Isso quer dizer que o  $T_T$  (período) que usamos é o período aparente, e não o período verdadeiro. Observe que (faça um esquema) quando a Lua volta a coincidir com o Sol ela já fez mais de uma volta. O período verdadeiro (período sideral) é contado em relação a um ponto fixo (estrela) e é de pouco mais de 27 dias (27,3). Em um ano, então, a Lua não faz 12 voltas, mas sim 13,7 (aproximadamente). Então:

$$\frac{F_{SL}}{F_{TL}} = \frac{400}{1} \cdot \frac{1}{13,7^2} = 2,1$$

## AS MARÉS

Quando explicamos o fenômeno das marés, insistimos no fato de que o importante não é a força, mas a diferença entre as forças aplicadas de um e de outro lado da Terra.

Já mostramos anteriormente que a atração exercida pelo Sol sobre a Lua é maior que a exercida pela Terra sobre seu satélite natural.

Você sabe também que a força que a Terra exerce sobre a Lua é a mesma força que a Lua exerce sobre a Terra. E apesar de a força exercida pela Lua sobre a Terra ser menor do que a que o Sol exerce sobre a Terra, sua influência é maior. Isso porque a diferença entre as forças exercidas pela Lua sobre um lado e sobre outro lado são diferentes.

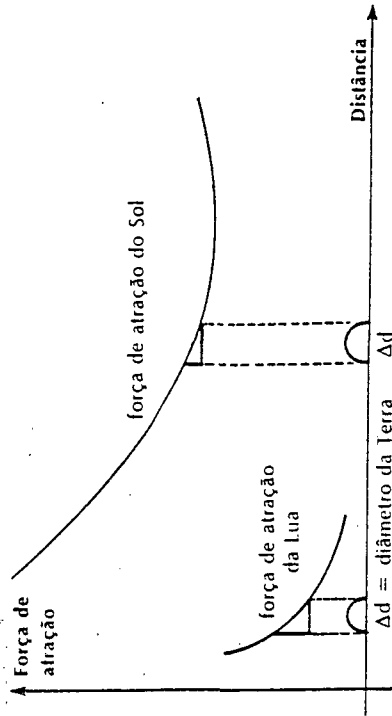


Fig. 4.17

Os gráficos da fig. 4.17 representam a força de atração exercida sobre a Terra pelo Sol e pela Lua. Embora os valores não estejam em escala real, você pode perceber como a diferença pode ser maior sem que a força o seja. A curva de cima representa a força de atração do Sol sobre a Terra em função da distância. A faixa de largura  $\Delta d$  representa a variação de distância tanto em relação ao Sol como em relação à Lua, que corresponde ao diâmetro terrestre. Observe como a força exercida pela Lua é muito menor. No entanto, para uma mesma variação ( $\Delta d$ ) da distância, a variação da força ( $\Delta F$ ) de atração exercida pela Lua é muito maior.

Compare a variação de força ( $\Delta F$ ) no gráfico da Lua com a variação da força no gráfico do Sol. Ambas as variações são correspondentes à mesma variação da distância ( $\Delta d$ ), que é igual ao diâmetro da Terra:

$$\frac{\Delta F_L}{\Delta d} > \frac{\Delta F_S}{\Delta d}$$

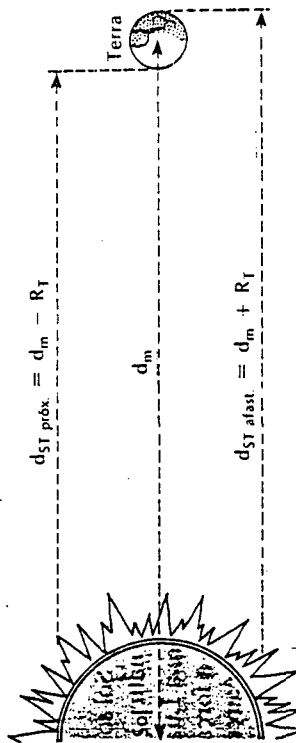


Fig. 4.16

Até aqui tratamos do problema qualitativamente. Mas, como poderíamos saber quanto a Lua é mais importante que o Sol, no caso das marés?

Vejamos quanto vale a atração gravitacional tanto do Sol quanto da Lua aplicada a cada um dos lados da Terra.

Sabemos que, considerando a Terra como um todo, a força de atração do Sol vale:

$$F_{Sr} = \frac{Gm_Sm_T}{d_{ST}^2}$$

Aplicando essa força ao primeiro lado (mais próximo), temos:

$$F_{ST \text{ próx.}} = \frac{Gm_Sm_T}{d_{ST \text{ próx.}}^2}$$

No lado oposto, temos:

$$F_{ST \text{ afast.}} = \frac{Gm_Sm_T}{d_{ST \text{ afast.}}^2}$$

A força que causa a maré é a diferença das duas, ou seja:

$$\Delta F_S = F_{ST \text{ próx.}} - F_{ST \text{ afast.}} \Rightarrow \Delta F_S = G \cdot \frac{m_S m_T}{d_{ST \text{ próx.}}^2} - G \cdot \frac{m_S m_T}{d_{ST \text{ afast.}}^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta F_S = Gm_S m_T \cdot \left[ \frac{1}{d_{ST \text{ próx.}}^2} - \frac{1}{d_{ST \text{ afast.}}^2} \right]$$

Vamos fazer o mesmo para o caso da Lua. Então, a diferença  $\Delta F_L$  das forças que a Lua exerce de um e de outro lado da Terra é:

$$\Delta F_L = Gm_L m_T \cdot \left[ \frac{1}{d_{TL \text{ próx.}}^2} - \frac{1}{d_{TL \text{ afast.}}^2} \right]$$

Dividindo as duas equações membro a membro, temos:

$$\frac{\Delta F_S}{\Delta F_L} = \frac{m_S}{m_L} \cdot \left[ \frac{\frac{1}{d_{ST \text{ próx.}}^2} - \frac{1}{d_{ST \text{ afast.}}^2}}{\frac{1}{d_{TL \text{ próx.}}^2} - \frac{1}{d_{TL \text{ afast.}}^2}} \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta F_S}{\Delta F_L} = 27 \cdot 10^6 \cdot \left[ \frac{\frac{1}{(23\,940)^2} - \frac{1}{(24\,060)^2}}{\frac{1}{(59)^2} - \frac{1}{(60)^2}} \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta F_S}{\Delta F_L} = 0,42$$

Tente fazer as contas apenas para ter uma idéia do tempo que isso lhe tomaria. E esse trabalho o computador faz num instante.

Vamos resolver esse mesmo problema aplicando uma matemática um pouquinho mais avançada. Dessa maneira, as contas ficarão muito simplificadas. Poderíamos dizer que o método que vamos usar é um pouco mais matemático e menos aritmético.

Você já deve ter estudado *derivadas*. O valor da derivada de uma função em um certo ponto representa o valor do coeficiente angular da tangente da função nesse mesmo ponto. O coeficiente angular é a taxa de crescimento ou decréscimo de uma variável em relação a outra. Neste caso, a variação é a da força em função da distância.

Observe novamente a fig. 4.17, em que estão as duas funções: a que exprime a força entre o Sol e a Terra e a que exprime a força de atração entre a Lua e a Terra.

Verifique como o limite da relação é o coeficiente angular da reta tangente a cada uma das duas curvas.

Observe como a tangente à curva de baixo (Lua) é mais inclinada que a de cima (Sol). Maior inclinação da tangente quer dizer que a força está variando mais rapidamente. Dizer que a força exercida pela Lua varia mais rapidamente que a exercida pelo Sol significa que, no caso da Lua, é maior a diferença entre a atração de um lado e a de outro.

Então, tomando a expressão da força exercida entre o Sol e a Terra, temos:

$$F_{ST} = G \cdot \frac{m_S m_T}{d^2}$$

Fazendo a derivada dessa força em relação à distância, vem:

$$\frac{d F_{ST}}{d d_{ST}} = -2Gm_S m_T d_{ST}^{-3} \quad (1)$$

A força exercida entre a Lua e a Terra é dada por:

$$F_{L,T} = G \cdot \frac{m_L m_T}{d_{LT}^2}$$

Fazendo a derivada dessa força em relação à distância, temos:

$$\frac{d F_{LT}}{d d_{LT}} = -2Gm_L m_T d_{LT}^{-3} \quad (2)$$

Dividindo as equações (1) e (2) entre si, temos:

$$\begin{aligned} \frac{\frac{d F_{ST}}{d d_{ST}}}{\frac{d F_{LT}}{d d_{LT}}} &= \frac{m_S}{m_L} \cdot \left[ \frac{d_{L,T}}{d_{ST}} \right]^3 = \\ &= 27\,000\,000 \cdot \left[ \frac{1}{400} \right]^3 = \frac{27\,000\,000}{64\,000\,000} = 0,42 \end{aligned}$$

A ação do Sol é, então, menos que a metade da ação da Lua.