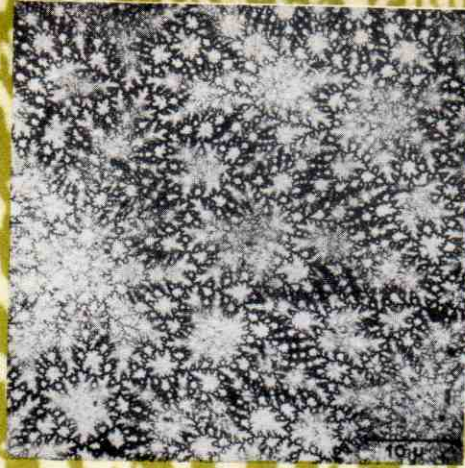
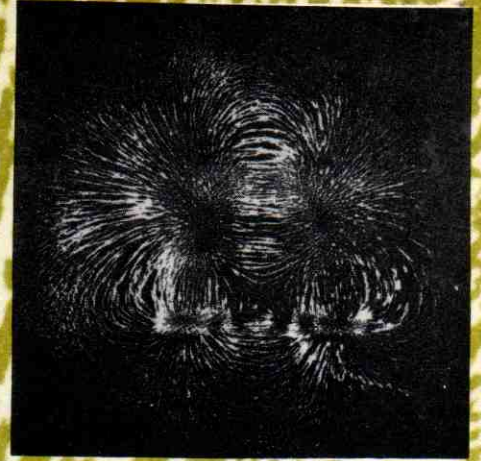


1 — Eletricidade e ímãs



2 — Estrutura dos ímãs



3 — O campo magnético

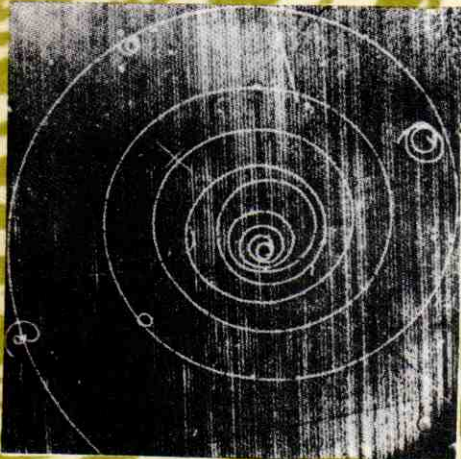
PROJETO  
DE ENSINO  
DE FÍSICA

IFUSP — Instituto de Física da Universidade de São Paulo

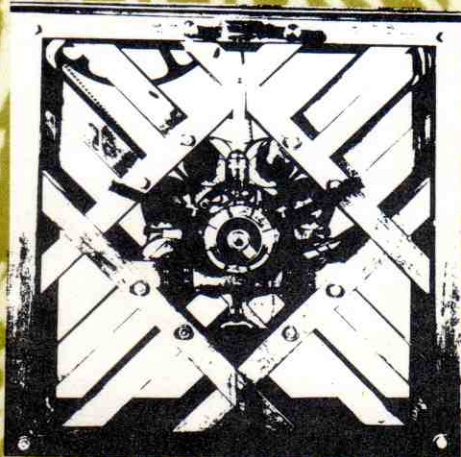
MEC/FENAME/PREMEN

# Eletromagnetismo

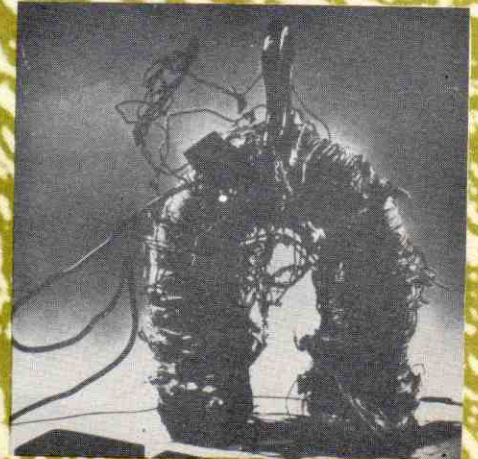
4 — Corrente em campos magnéticos



5 — Indução eletromagnética



6 — Aplicações do eletromagnetismo





# MEC/FENAME/PREMEN

PEF — PROJETO DE ENSINO DE FÍSICA, constituído de quatro conjuntos destinados ao Ensino de 2º Grau, foi planejado e elaborado pela equipe técnica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP), mediante convênios com a FENAME e o PREMEN.

## Coordenação

Ernst Wolfgang Hamburger  
Giorgio Moscati

## Mecânica

Antonia Rodrigues  
Antonio Geraldo Violin  
Diomar da Rocha Santos Bittencourt  
Hideya Nakano  
Luiz Muryllo Mantovani  
Paulo Alves de Lima  
Plínio Ugo Meneghini dos Santos

## 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 Egidio Alonso  
Ettore Michele di San Fili Bottini

## Fotografias e Reproduções

José Augusto Machado Calil  
Washington Mazzola Racy

## Secretaria e Datilografia

Carlos Eduardo Franco de Siqueira  
Janete Vieira Garcia Novo

## Linguagem

Claudio Renato Weber Abramo  
Maria Nair Moreira Rebello

## Construção de Protótipos

José Ferreira  
Voanerges do Espirito Santo Brites

## Desenho Industrial

Plínio Ugo Meneghini dos Santos

Colaboram o pessoal da Secretaria, Oficina Gráfica, Administração, Oficina Mecânica e Oficina Eletrônica do IFUSP.

IFUSP: Caixa Postal, 8 219, São Paulo — SP.

Esta edição foi publicada pela FENAME — Fundação Nacional de Material Escolar, sendo Presidente da República Federativa do Brasil **Ernesto Geisel**

Ministro de Estado da Educação e Cultura  
**Ney Braga**

Secretário-Geral do MEC  
**Euro Brandão**

Secretário de Apoio Administrativo do MEC  
**Hélio Pontes**

Diretor Executivo da FENAME  
**Humberto Grande**

## Equipe técnica editorial da FENAME

Anna Maria Bórges Guerra Rêgo  
Elisabeth Euridice Tavares Mendes  
Geni R. da Costa Hirata  
Hermene Pereira da Silva  
José Roberto Lisboa  
M. L. Marly Goulart de Campos  
Norma de Magalhães Carvalho Vasconcellos  
Sérgio Bellinello Soares  
Vicente de Paula Reis e Silva

© 1976

Direitos autorais exclusivos da FENAME — Ministério da Educação e Cultura

Impresso no Brasil



# Como utilizar este texto

Caro estudante

Elaboramos este curso para que você possa aprender Física de um modo ativo. Isto significa que você vai realizar experiências, analisar e discutir os resultados obtidos, responder a perguntas e resolver problemas.

Todas essas atividades são partes integrantes do texto. Não é possível seguir o curso sem realizar as atividades indicadas.

Leia o texto com atenção, tentando responder sozinho a cada uma das questões que aparecem numeradas (Q1, Q2, Q3 etc.). Tais questões às vezes se referem a experiências e medições que você deve realizar; outras vezes, tratam-se de gráficos que você deve construir, problemas que deve resolver ou simples perguntas que deve responder.

Depois de responder a cada questão, discuta com os seus colegas se a resposta está correta e por quê.

A Física não é assunto fácil. Para compreendê-la não basta simplesmente ler um texto ou ouvir o professor falar. É necessário pensar, tentar responder a perguntas, resolver problemas; é trabalhando com os conceitos da Física que você vai aprendê-los. Por isso, é essencial que você não olhe as respostas das questões do texto antes de fazer um bom esforço para respondê-las sozinho.

A resposta impressa contém às vezes comentários sobre a questão. Não esperamos que, na resposta que você der, constem também tais comentários. Eles são feitos para que você perceba que certas questões são mais profundas do que parecem ser. Por outro lado, sugerimos que, além do texto impresso, você tenha um caderno onde possa fazer cálculos ou dar respostas mais completas.

Em cada capítulo há uma série de exercícios que você deve resolver para verificar se entendeu o que leu e para fixar o que aprendeu. Além disso, pode haver também trechos em tipo menor que tratam de aspectos mais difíceis do assunto. Seu professor decidirá se tais trechos serão obrigatórios para toda a classe ou não. De qualquer modo, você poderá estudá-los se estiver interessado.

Finalmente, há as Leituras Suplementares, também impressas em tipo pequeno. Essas leituras não são obrigatórias; leia-as se gostar. Pretendemos, com elas, introduzir alguns assuntos modernos, como a tectônica de placas (capítulo 2) ou assuntos históricos, como, por exemplo, as experiências de Ampère (capítulo 4) e a biografia de Faraday (capítulo 5).

Desejamos-lhe um bom trabalho!



## O que é o PEF

O **Projeto de Ensino de Física** representa uma experiência nova no Brasil. Para sua elaboração formou-se uma equipe de cientistas (pesquisadores de Física Nuclear), e de professores com larga experiência nos ensinos médio e universitário, além de programadores visuais e um jornalista. O objetivo principal foi o de criar um curso adequado especificamente às condições atuais da escola média brasileira.

O PEF destina-se aos alunos do curso médio, ou seja, alunos que, em geral, não mais estudarão Física, vencido esse nível. Julgamos assim importante proporcionar ao aluno um contato com assuntos que, com toda probabilidade, não mais serão abordados em sua formação subsequente. Dessa maneira, procuramos levar o aluno a conhecer o método científico através do estudo de alguns fenômenos e conceitos específicos da Física; e chegar também aos aspectos contemporâneos dessa ciência.

O PEF conta com quatro volumes: **Mecânica 1**, **Mecânica 2**, **Eletricidade** e **Eletromagnetismo**, correspondendo cada um cerca de 50 horas de aula. Acompanham esses volumes três conjuntos experimentais: um para os dois primeiros volumes de **Mecânica**, um para **Eletricidade** e um para **Eletromagnetismo**.

É importante enfatizar que a parte experimental do PEF é integrada no curso, sendo praticamente impossível seguir o texto sem realizar as experiências lá especificadas.

Cada conjunto experimental deve ser usado por um grupo de quatro ou, no máximo, cinco alunos.

Resta ainda uma palavra sobre a atividade do professor que utiliza o PEF. O PEF foi elaborado tendo em vista métodos pedagógicos modernos, enfatizando a atividade do aluno em classe. Assim, o papel do professor — em vez de ser o de discorrer enquanto os alunos ouvem, e servir somente como fonte de informações — é, principalmente, o de organizador, coordenador e orientador do trabalho dos alunos.

São Paulo, abril de 1975

OS AUTORES



## Prefácio

Para bem compreender a significação do eletromagnetismo, que é o conjunto de fenômenos associados à eletricidade e ao magnetismo, é necessário relacioná-lo com os grandes acontecimentos históricos da ciência e da técnica, que decorreram da revolução industrial, da revolução social e da revolução cultural em expressivas manifestações na época atual.

A revolução industrial resolveu o problema da produção da riqueza pela máquina no século XIX; a revolução social, que se opera no presente século, justificando todos os fenômenos da vida moderna, procura solucionar o problema difficilimo de distribuição da riqueza entre todos os elementos da sociedade, com o critério da justiça; e, finalmente, culminando o maior ciclo da evolução da espécie humana, temos a revolução cultural, que hierarquizará sistematicamente os valores, subordinando os valores materiais aos valores espirituais, para assim garantir o advento de uma humanidade mais sadia, melhor e mais feliz.

A revolução industrial, portanto, deve ser o ponto de partida da nossa argumentação, porque, com o seu advento no plano histórico, a sociedade sofreu profundas transformações na sua estrutura econômica, política e social. "Temos aí — escreveu H. G. Wells — mudanças na vida humana que marcam nada menos que uma nova fase da História. Esta revolução mecânica se vem processando há pouco mais de um século. Nesse período, o homem deu passos, nas condições materiais da sua vida, mais rápidos do que os que já dera durante todo o longo intervalo entre o estágio paleolítico e a idade da cultura, ou entre os dias de Pépi, no Egito, e os de Jorge III, na Inglaterra. Entrou em existência um novo e gigantesco quadro para os negócios humanos. É evidente que ele exige grandes reajustamentos nos nossos métodos sociais, econômicos e políticos. Mas tais reajustamentos tinham necessariamente de esperar o desenvolvimento da civilização mecânica, então apenas no seu estágio inicial."

Tendo em vista tão expressivos fatos, sempre doutrinamos que cumpre tomar conhecimento da revolução industrial e das suas consequências no mundo, principalmente para promover o desenvolvimento intensivo da nossa educação técnico-profissional.

A revolução industrial é um fato que precisa ser bem compreendido pelas novas gerações. "A revolução industrial — como ensina o Prof. T.S. Ashton — deve conceber-se como um movimento social, e de forma alguma como um simples período



de tempo. Seja quando se apresenta na Inglaterra depois de 1760, nos Estados Unidos e Alemanha depois de 1870, ou então no Canadá e na Rússia nos nossos dias, os seus efeitos e características são fundamentalmente iguais. Sempre vai acompanhada pelo crescimento da população, pela aplicação da ciência à indústria e por um emprego do capital mais intenso e mais extenso ao mesmo tempo; também coexiste com a conversão de comunidades rurais em urbanas e com o nascimento de novas classes sociais. Porém em cada caso a marcha do movimento foi influenciada por elementos circunstanciais, variáveis sempre; por exemplo, muitos dos mal-estares sociais atribuídos à revolução industrial inglesa foram, até onde permitem afirmá-lo nossos conhecimentos, resultados de forças que teriam procedido de modo idêntico, ainda sem mudanças nas formas econômicas."

Dentro dessa orientação cultural situamos o eletromagnetismo, que na esfera da Física tem amplas aplicações. No século passado, James Clark Maxwell ministrou os fundamentos teóricos daquela disciplina, quando estabeleceu as equações do eletromagnetismo, ensejando assim o estudo ordenado do fenômeno.

Levam-nos tais considerações a refletir sobre a evolução da Física a partir do século XVII, onde se salienta Galileu como o pai da ciência moderna, fundamentando-a no conceito da lei natural. Assim, com visão objetiva e realística, transformou a concepção do mundo, que passou a ser estudado nas suas relações fenomenais da constância e da imutabilidade, demonstrando que o Universo é um todo orgânico e harmonioso.

Desde o século XVIII até culminar com a revolução industrial no século XIX, operou-se, no evoluir da espécie humana, transformação radical tão intensa que chegou a modificar a face da Terra. Tem início aí a tecnologia e a química modernas, com a presença do motor. James Watt estudou seriamente a máquina a vapor, desejoso de melhorar e aperfeiçoar a sua construção. Servindo-se do modelo de Newcomen, teve a idéia de separar o cilindro e o êmbolo da caldeira, bem como do condensador, e, deste modo, conseguiu a máquina a vapor de duplo efeito, máquina do mais largo alcance no desenvolvimento da técnica moderna. Com a descoberta da máquina a vapor, da combustão interna e da eletricidade, surge o motor.

No século XX, com as invenções mencionadas, chegamos à era da energia nuclear e da eletrônica. Depois da Segunda



Guerra Mundial, iniciou-se no campo da eletrônica o desenvolvimento da cibernética e da teoria da informação.

Daí a mensagem da Fundação Nacional de Material Escolar aos físicos do Brasil, e principalmente à equipe especializada dos professores do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, que elaborou o presente trabalho de Eletromagnetismo, com a coordenação dos Professores Ernst Wolfgang Hamburger e Giorgio Moscati.

A revolução cultural almejada será obra de séculos, mas terá início nesta era, uma vez que o homem só se realiza na sua plenitude no estado de cultura, e jamais no estado de natureza. Ela acredita nas grandes possibilidades do homem, e implica novas elites, a luta pela cultura, o culto da competência, a primazia dos valores morais e espirituais, a fé no progresso e na perfeição humana, razão por que constituirá sempre a bandeira dos espíritos lúcidos e a esperança dos maiores gênios. Valores culturais como a religião na Idade Média, a arte na Renascença e a ciência na Idade Moderna imperaram, caracterizando notáveis fases históricas.

Não é absurdo que a espécie humana, com mais experiência e maturidade espiritual, se subordine aos imperativos da cultura, para, assim, com princípios sábios, organizar a sociedade. Este sempre foi o grande sonho dos maiores pensadores e filósofos, a começar por Platão até Comte e Einstein, e das maiores celebrações dos dias atuais.

Sabemos que a beleza intensifica a vida e arrebatada a alma para os maiores prazeres; que o bem tranquiliza a consciência e dignifica o ser humano; que a verdade liberta o espírito e proporciona imensa soma de poderes; que a justiça equilibra os círculos sociais, e que a religião aproxima o homem de Deus. A cultura, na constelação dos seus valores, tem recursos inesgotáveis.

Rio de Janeiro, julho de 1975

**HUMBERTO GRANDE**  
DIRETOR EXECUTIVO DA  
FUNDAÇÃO NACIONAL DE MATERIAL ESCOLAR



# ÍNDICE

## CAPÍTULO 1 — Eletricidade e ímãs

1. Interação entre ímã e uma bússola .....	1-2
2. Interação entre ímãs .....	1-4
3. Interação entre corrente elétrica e uma bússola .....	1-5
4. Ímãs e solenóides .....	1-8
5. Exercícios de aplicação .....	1-10
<b>Leitura Suplementar</b>	
Uma teoria para os ímãs .....	1-13

## CAPÍTULO 2 — Estrutura dos ímãs

1. Materiais magnéticos .....	2-2
2. Propriedades magnéticas dos átomos .....	2-2
3. Domínios magnéticos .....	2-4
4. Magnetização e desmagnetização .....	2-6
5. Exercícios de aplicação I .....	2-8
6. Outras formas de desmagnetizar .....	2-9
7. Ímãs e eletroímãs .....	2-12
8. Exercícios de aplicação II .....	2-13
9. Magnetismo da Terra .....	2-14
<b>Leitura Suplementar</b>	
A deriva dos continentes e os materiais magnéticos .....	2-18

## CAPÍTULO 3 — O campo magnético

1. Campo magnético criado por ímãs .....	3-1
2. Linhas de campo .....	3-3
3. Superposição de campos .....	3-5
4. Vetor indução magnética .....	3-6
5. Campos produzidos por correntes .....	3-8
6. Exercícios de aplicação .....	3-13
<b>Leitura Suplementar</b>	
Campos magnéticos no Universo .....	3-18

## CAPÍTULO 4 — Corrente em campos magnéticos

1. Força sobre um condutor retilíneo .....	4-1
2. Intensidade da força .....	4-5
3. Definição da unidade $\vec{B}$ .....	4-6
4. Intensidade da força sobre condutores em função do ângulo .....	4-6
5. Cargas elétricas em movimento num campo magnético .....	4-8
6. Exercícios de aplicação I .....	4-10
7. Intensidade da força sobre cargas em função do ângulo .....	4-12
8. Espira num campo magnético .....	4-14
9. Força entre dois condutores paralelos .....	4-17
10. Exercícios de aplicação II .....	4-19
<b>Leitura Suplementar</b>	
Experiências de Ampère .....	4-20

## CAPÍTULO 5 — Indução eletromagnética

1. Corrente induzida .....	5-1
2. Indução de corrente num condutor .....	5-4
3. Indução pela variação da quantidade de campo .....	5-7
4. Fluxo de indução magnética .....	5-3
5. Variação do fluxo magnético pelo movimento .....	5-8
6. Variação do fluxo magnético por campos variáveis .....	5-9
7. Sentido da corrente .....	5-12
8. Criação do campo elétrico .....	5-14
9. Exercícios de aplicação .....	5-15
<b>Leitura Suplementar</b>	
Michael Faraday .....	5-21
O betatron .....	5-26

## CAPÍTULO 6 — Aplicações do eletromagnetismo

1. Motor elétrico .....	6-1
2. Medidor de corrente .....	6-7
3. Transformador .....	6-12
<b>Leitura Suplementar</b>	
A tecnologia elétrica .....	6-18