

mas, os componentes, nem o mercado. Ela tem que supor que vai encontrar. De alguma forma, aos trancos e barrancos, acaba encontrando. Trancos e barrancos significam, de um lado, desperdícios, de outro tragédias humanas. Esse é o preço que se paga pela liberdade de iniciativa. Acho que poderia ficar por aqui para depois aprofundar nos debates.

2. Papel da Pós-Graduação em Engenharia e sua Conexão com a Física

LUIZ PINGUELLI ROSA (IF-UFRJ)

Embora o título proposto seja mais geral e abrangente, nós nos basearemos aqui no ensino de Física no Pós-Graduação em Engenharia Nuclear da UFRJ, do qual temos tido alguma experiência desde 1969. No entanto, se bem que haja alguma diferenciação entre os assuntos de Física ensinados nas diversas áreas de pós-graduação em tecnologia, cremos haver aspectos comuns bastante relevantes. Desse modo, tentaremos generalizar algumas conclusões.

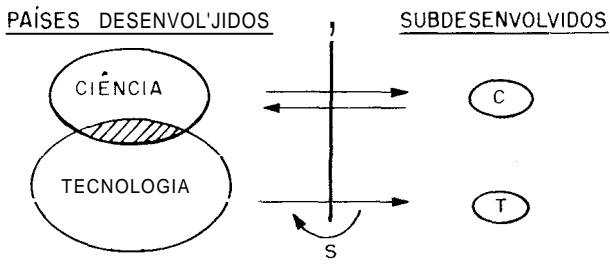
A definição das áreas de estudo peculiares à Física e aos diversos ramos da Engenharia é dinâmica. Ela varia historicamente, movida pelo avanço tecnológico dos modos de produção, e também geograficamente, de acordo com o estágio de desenvolvimento industrial de cada país. Em determinado campo de pesquisa surgido e desenvolvido no âmbito da Física pura, como por exemplo a Física Nuclear, ao ser aplicado para fins tecnológicos, dá origem a um ramo da Engenharia. No caso do exemplo, a Engenharia Nuclear. Em geral, nesse ramo da Engenharia que no início não era mais do que uma área da Física aplicada, começam a surgir problemas próprios, ligados não só à técnica, mas também à organização e à economia da produção, e dessa forma os campos de estudo desses ramos se diferenciam progressivamente das áreas da Física aplicada que lhes deram origem. E adquirem assim autonomia. Resta sempre, no entanto, uma ligação fundamental entre a Física e a Engenharia, naqueles pontos onde se dão as ino-

vações tecnológicas seja por absorção de novas descobertas do terreno da Física, seja por reformulação e desenvolvimento da tecnologia dentro do contexto dos conhecimentos tradicionais e bem estabelecidos da Física.

Na pesquisa de inovações tecnológicas ou na simples busca de soluções para problemas técnicos inteiramente novos, que digam respeito não apenas à organização da produção mas sim à natureza intrínseca dos fenômenos físicos envolvidos na técnica da produção ou do produto, nesse terreno a Engenharia se aproxima da Física. Infelizmente para nós essa aproximação entre Ciência e Tecnologia se dá com grande intensidade nos países desenvolvidos e geradores de tecnologia, mas com intensidade nula nos países subdesenvolvidos e importadores de tecnologia, que pagam por isso altíssimos preços, como é o nosso caso. Podemos mostrar essa interligação nessa figura e o que ocorre, como procuramos demonstrar no quadro de cima é que embora haja certo intercâmbio entre a Ciência brasileira e a do mundo desenvolvido, toda a geração de tecnologia que utilizamos se dá fora do país, e nós pagamos alto preço por ela.

Esta distorção, fundamentada em um processo de desenvolvimento anormalmente baseado em empreendimentos estrangeiros, se reflete na quase ausência de relações entre pesquisa e indústria. Internamente nas universidades ela se traduz pela ausência de um espectro contínuo de pesquisa que vá desde a Ciência básica até as áreas da tecnologia fronteiriças da Ciência. Dentro desse quadro geral, é um fato positivo o desenvolvimento de atividades de ensino e pesquisa na universidade, tanto na área de tecnologia como na de Física. Então, por razões ligadas à falta de criatividade do desenvolvimento baseado na importação de tecnologia, a interação entre essa pesquisa de Engenharia e de Física tende a zero, exceto por ações estritamente individuais e esporádicas.

A origem desse mútuo alheamento é simples: os problemas oriundos do desenvolvimento são de natureza multidis-



Figuro 1

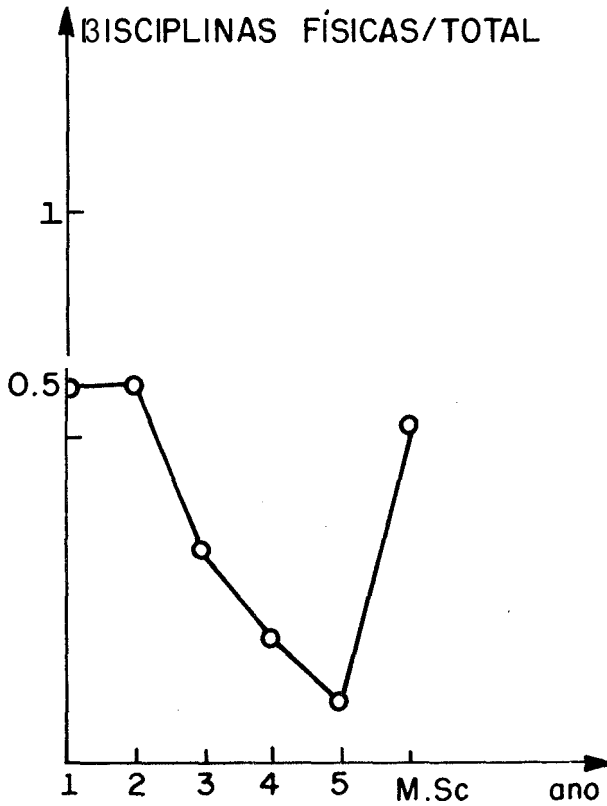


Figura 2

ciplinar e envolvem cooperação de áreas do conhecimento diferentes e complementares. No entanto, como esses problemas são, no Brasil, sistematicamente levados para serem resolvidos fora do país, ou dentro dos grupos vindos de fora, não há estímulo algum a esse tipo de cooperação. Entenda-se bem que, a partir dessa descrição simplificada, não pretendemos chegar a soluções milagrosas, à lá tecnocrata. Não seria provavelmente eficiente o deslocamento por decreto dos pesquisadores de um campo para outro, considerado mais aplicado a finalidades práticas. Em primeiro lugar, a atividade dentro da universidade deve gozar de grande liberdade para ser criadora, e em segundo lugar, os grupos de pesquisa, em qualquer ramo das Ciências, são ainda insuficientes no Brasil, face às necessidades e à crescente demanda de ensino universitário de bom nível. E há uma correlação óbvia entre a realização dessas pesquisas e a qualidade do ensino universitário.

Faremos agora uma descrição sumária do que entendemos relevante sobre a Pós-Graduação em Engenharia. O ensino de disciplinas de Física no currículo de estudantes de tecnologia sofre bruscas variações ao longo dos períodos letivos (Como mostra o gráfico). Nela representamos a relação das disciplinas de Física com o total de disciplinas, no eixo vertical, e o ano letivo que o estudante percorre, no eixo horizontal. Incluímos como disciplinas de Física não só as ministradas no Instituto de Física, mas também as ministradas pela Escola de Engenharia que envolvem conhecimentos de Física, embora aplicados e com finalidades tecnológicas, tais como Mecânica Quântica, Teoria Eletromagnética ou Termodinâmica, quando dadas nos departamentos correspondentes e não nos Institutos de Física. O critério é artificial mas exclui disciplinas puramente tecnológicas, tais como Máquinas, Estradas, Equipamentos, etc. Observa-se que há um predomínio das disciplinas de caráter de Física nos primeiros dois anos, em que o aluno faz o curso básico, uma forte queda a partir do terceiro ano que vai se acentuando,

indo quase a zero no quinto ano, e recuperando-se a proporção nos cursos de Mestrado em Tecnologia, onde há um forte crescimento de disciplinas com esse caráter de Física, voltando quase ao nível original, do curso básico.

Para ilustrar, mostramos na tabela que se segue, o currículo do 5º ano de engenharia, em uma opção escolhida do currículo da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Temos pequeno número de disciplinas com caráter de Física, como foram definidas. Entretanto, no curso de Mestrado há um forte crescimento de disciplinas de caráter de Física, embora voltadas para a tecnologia e dadas quase sempre por tecnólogos, como mostro na tabela seguinte. Em algumas disciplinas do curso de Mestrado, pela ementa aí apresentada, fica claro seu caráter de Física. Envolvem títulos bastante semelhantes aos que existem nos cursos de Física, embora dadas com enfoque diferente, de uma ferramenta de aplicação e não com fim de compreensão dos fenômenos fundamentais. A importância dessas disciplinas varia com a área da Engenharia. Mostramos em seguida relações entre áreas de Engenharia e disciplinas com caráter de Física. Baseamo-nos sempre em dados da UFRJ. Vemos então que há áreas da Engenharia que dependem exclusivamente da Física clássica, e algumas outras dependem também da Física moderna ou da Física Quântica. Entre essas, em especial a Engenharia Nuclear, a Engenharia Metalúrgica e de Materiais, além da Eletrônica. Neste último caso, o nível de formação básica do engenheiro é deficiente, dada a ausência da Física moderna nos cursos básicos, exceto por algumas noções dadas em Física IV, no caso da UFRJ. A solução tem sido criar cursos de preparação no início do Mestrado, sem créditos, onde noções de Física moderna são introduzidas. Isso é mais premente no caso da Engenharia Nuclear, que envolve Física Nuclear, etc. Não creio que seja relevante dar mais dados sobre isso, e passo às conclusões. podemos concluir, enfatizando que embora o problema de relacionamento entre Ciência e Tecnologia em nosso país não comporte soluções imediatas e unila-

TABELA 1A

DISCIPLINA	
1º Período:	Opção: CONSTRUÇÃO CIVIL Construção Civil I Arquitetura I Urbanismo I Estruturas de Edifícios I Fundação I
2º Período:	Instalações Eletro-mecânica e de Gás Construção Civil II Arquitetura II Urbanismo II Instalações Hidráulicas Domiciliares Estrutura de Edifícios II Apropriação Programação e Controle

TABELA 1B

DISCIPLINA	
5º Período:	Opção: ENGENHARIA DE SISTEMAS ELÉTRICOS Aplicação de Computadores I Complementos de Sistemas Comunicações nos Sistemas Elétricos
1º Período:	Complementos de Proteção Técnica de Alta Tensão Controle dos Sistemas Interligados Organização das Indústrias

TABELA 3

ÁREAS DA ENGENHARIA	FÍSICA CLÁSSICA FÍSICA QUÂNTICA						
	MECÂNICA CLÁSSICA	ELETROMAGNÉTICA	TERMODINÂMICA	MECÂNICA ESTATÍSTICA	FÍSICA ATÔMICA	FÍSICA ESTADOS SÓLIDOS	FÍSICA NUCLEAR
CIVIL	x						
MECÂNICA	x		x				
QUÍMICA	x		x	x			
METALÚRGICA	x		x			x	
ELÉTRICA		x			x	x	
NUCLEAR				x	x		x

TABELA 2

DISCIPLINA	
FUNDAMENTOS DE ELETRODINÂMICA - Meios dielétricos e condutores - Problemas de contorno - Representação integral do campo magnético.	
PROPAGAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS Tópicos em propagação eletromagnética. podendo incluir: teoria magneto-iônica, propagação de meios anisotrópicos, propagação ionosférica, propagação troposférica, propagação das ondas terrestres.	
PROPAGAÇÃO DAS LINHAS E GUIAS DE ONDA Equação Geral das ondas - Ondas eletromagnéticas - Equação das linhas de transmissão, coeficientes de reflexão - Carta de Smith - Dipolos e Quadrípolos - Modos acoplados - Planos paralelos, guia retangular, cilíndricos e coaxiais - Guias carregados - Cavidades.	
ANTENAS Conceitos fundamentais de antenas - Dipolo elétrico e antena linear - Redes de Antenas.	
TEORIA ELETROMAGNÉTICA I Revisão dos fundamentos de eletrodinâmica - Teoria especial de relatividade e eletrodinâmica - Funções escalares de Green - Funções vetoriais de onda - Funções diádicas de Green	
TEORIA ELETROMAGNÉTICA II Soluções para altas frequências: ótica geométrica série de Luneburg-Kline e teoria geométrica de difração - Preparação através de meios especiais; meios não-homogêneos, meios anisotrópicos e meios turbulentos - Excitação de ondas superficiais.	
TEORIA ELETROMAGNÉTICA III Método de ponto de sela; método de descida brusca e método da fase estacionária - Aplicação dos métodos de ponto de sela a vários problemas eletromagnéticos - Teoria da camada de reparação de Kock - Transformações da Watson.	

TABELA 4

ENGENHARIA NUCLEAR - COPPE	
PREPARAÇÃO (SEM CRÉDITO - 2 MESES)	
	Física Atômica Introdução à Física dos Reatores Introdução à Engenharia dos Reatores Matemática
1º Período	Física Nuclear Física de Reatores I Tecnologia dos Reatores Matemática I
2º Período	Laboratório de Inst. Nuclear Física de Reatores II Física de Neutrons* Transferência de Calor** Matemática II
3º Período	*Física de Reatores III **Transferência de Calor II Análise de Reatores Dinâmica de Usinas Nucleares Dinâmica de Fluidos Compressíveis Laboratório de Física de Reatores

terais, da nossa parte, universitários, devemos nos empenhar para explicitar a distorção causada pela maciça importação de tecnologia. Esse empenho se insere no esforço para tentar dar algum conteúdo social, se é que isso é possível, ao nosso desenvolvimento industrial. Para torná-lo mais independente do exterior e mais útil à massa da população em geral, marginalizada por ele. Para isto, dentro de nossas limitações, nos parece desejável desenvolver um certo estímulo a estudantes de tecnologia a se interessarem por Ciência e tomarem créditos em departamentos de Ciência, e vice-versa — que alguns cientistas se interessem por tecnologia. Por exemplo, orientando teses, ou simplesmente procurando encaminhar soluções de problemas que sejam apresentados por tecnólogos aos cientistas, no caso os físicos. Isso poderia contribuir em parte para explicitar algumas dessas contribuições que, no entanto, nós somos impotentes para resolver.

Vou enumerar o que entendo sobre tudo o que foi dito. Em primeiro lugar, acreditamos que a interação da Física com a Engenharia é um problema relevante em nosso país, embora não deva ser mistificado, nem se deva com isso, desestimular aqueles que se dedicam à Física pura. Entendo isso da seguinte forma: o problema da aplicação da Física não pode ser resolvido exclusivamente pelos físicos, pela escolha de assuntos potencialmente aplicáveis à realidade brasileira. O contra-exemplo típico é a Física do Estado Sólido ou a Física de Nêutrons aplicada uma na Eletrônica e na Ciência dos Materiais e outra na Engenharia Nuclear. O fato de se escolher um desses assuntos para estudo não significa absolutamente uma integração com a realidade brasileira, porque a efetiva aplicação desses estudos não depende do pesquisador, absolutamente. De modo que estudar Física de partículas ou Física de nêutrons ou do estado sólido, é completamente alienado, desse ponto de vista. Assim, a decisão não estaria de maneira simples, na mão do pesquisador. A aplicação da Física depende do intercâmbio com as

outras áreas do conhecimento. É sempre um fato de natureza multidisciplinar esse intercâmbio. Em especial com a Engenharia, que poderia oferecer alguns problemas concretos. Em geral, esse intercâmbio não é simples. Caímos num outro ponto, também de difícil solução, porque esse intercâmbio não é simples. A grande maioria dos engenheiros no Brasil se aplica a tarefas muito aquém do nível que recebe na graduação. O que tende a fazê-los encarar como supérfluo qualquer estudo mais aprofundado. Se encararmos as atividades típicas de execução e supervisão de projetos importados, os engenheiros não precisam de uma formação científica que os torne criativos. Pelo contrário. Um excesso de criatividade pode torná-los críticos demais, inadaptados aos fins da empresa, que deseja apenas um executor eficiente de idéias alheias, ou um administrador responsável. É claro que os cursos de Pós-Graduação em Engenharia tendem a formar engenheiros mais criativos. No entanto, grande parte desses se refugia nas próprias universidades, onde porventura existam condições de trabalho para eles, nos poucos institutos de pesquisa ou mesmo se tornam cientistas puros, no sentido de não se aplicarem. Finalmente, o problema que surge, e cuja consciência me parece bastante comum entre os cientistas puros, entre eles os físicos, é perigo que surge da expressão adaptar-se à realidade brasileira. Como acreditamos e acabamos de explicitar, essa realidade é negativa. De certa forma, adaptar-se a ela pode significar apenas baixar o nível da atividade universitária a um grau ainda menor do que está. É preferível, pois, pensarmos em modificar a realidade brasileira. Mas aqui a colocação do problema transcende ao tema que nos foi proposto.

3. Bacharelado e Pós-Graduação em Física

ALCEU G. DE PINHO FILHO (PUC-RJ)

A Pós-Graduação no Brasil, dentro de sua atual configuração, não foi uma iniciativa dos educadores. Ela foi mo-