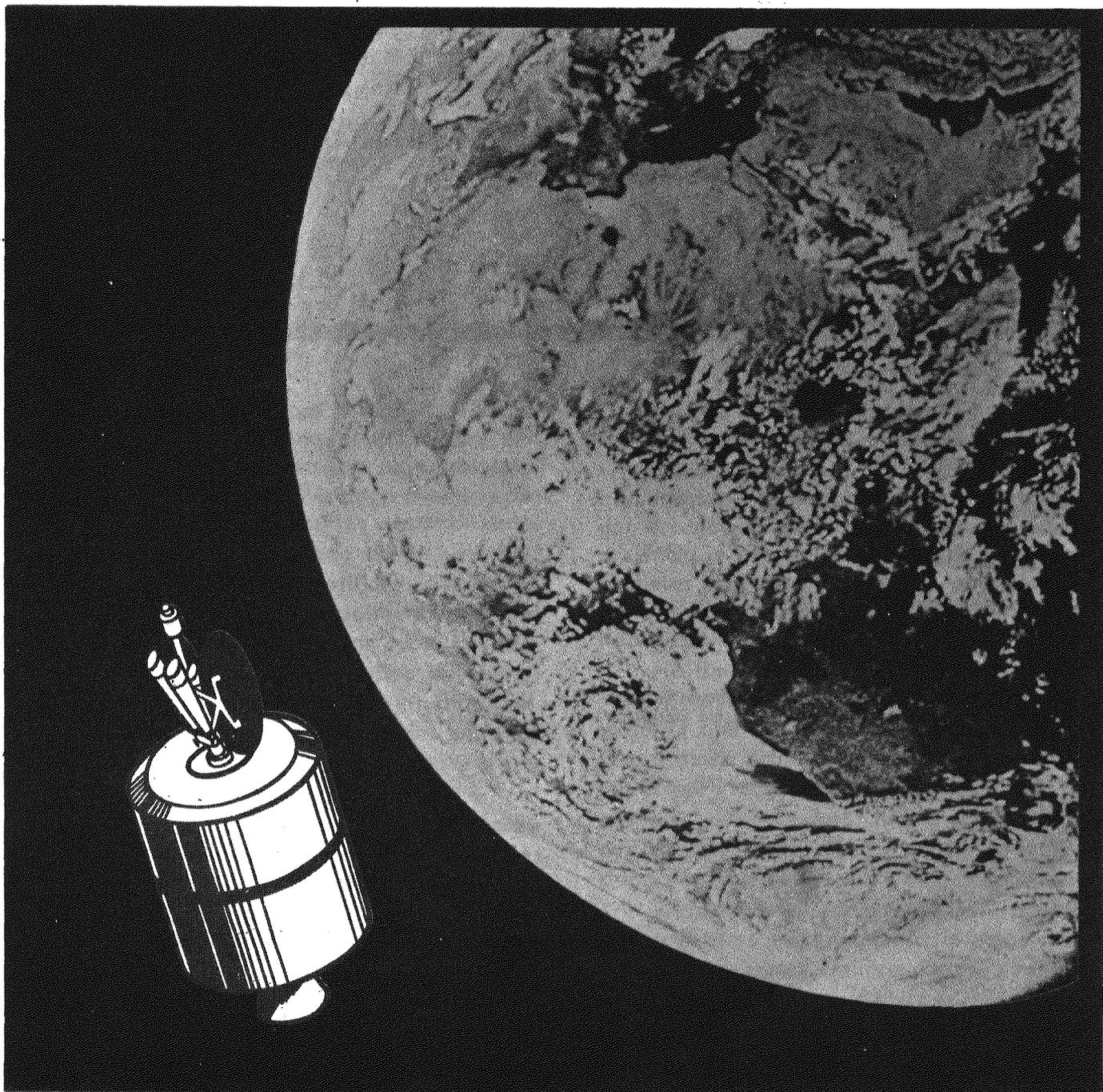


PROJETO  
DE ENSINO  
DE FÍSICA  
IFUSP - Instituto de Física da Universidade de São Paulo  
MEC/FAE /PREMEN

1

Mecânica

# Órbita de um satélite



# MEC/FAE/PREMEN

PEF — PROJETO DE ENSINO DE FÍSICA, constituído de quatro conjuntos destinados ao Ensino de 2.º Grau, foi planejado e elaborado pela equipe técnica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) mediante convênios com a FAE 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 Pinto 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 Fili Bottini  
João Baptista Novelli Júnior

## Fotografia 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 Espírito Santo Brites

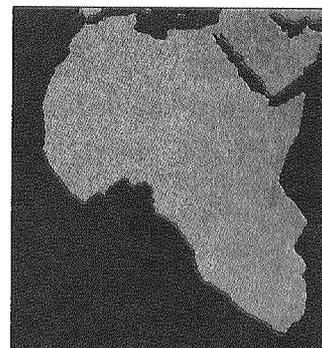
## Desenho Industrial

Alessandro Ventura

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

IFUSP: Caixa Postal 8 219. São Paulo — SP

# CAPA



Composição fotográfica de como seria visto o satélite Intelsat IV, em órbita, tendo a Terra ao fundo. Parcialmente escondidos por nuvens aparecem o Continente Africano, a Península Arábica, o Mar Vermelho, o Mediterrâneo e o Golfo Pérsico.

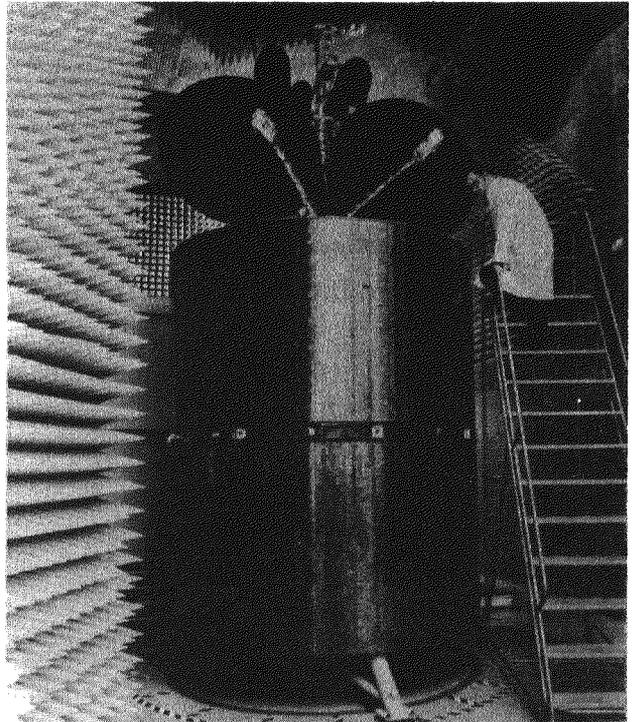
## SUMÁRIO

### CAPÍTULO 1 — Órbita de um satélite

1. Os pontos em um gráfico .....	1-2
2. Órbita de um satélite .....	1-3
3. Exercícios de aplicação .....	1-6
<b>Leitura Suplementar:</b>	
A ciência na cultura .....	1-9
Ciência e tecnologia .....	1-11
A Física no Brasil .....	1-13

O Intelsat IV é um satélite comercial de comunicações, colocado em órbita pelos Estados Unidos a 36 mil quilômetros de altura sobre o equador terrestre. Ele é destinado a estabelecer conexão entre os Estados Unidos e a Europa, sendo capaz de transmitir simultaneamente 9 000 chamadas telefônicas ou 12 programas coloridos de televisão.

Ao lado vê-se o satélite, que tem uma tonelada e meia de massa e 5 metros de altura, sendo testado.



## Órbita de um satélite

É provável que você já tenha ouvido falar em satélites de comunicações. São eles que tornam possível assistir, pela televisão, aos jogos da Copa do Mundo, à chegada dos astronautas à Lua e a outros acontecimentos que ocorrem no outro lado do mundo. Mas a utilidade dos satélites artificiais não se restringe às comunicações: atualmente, eles são úteis em setores tão diversos como a previsão meteorológica, as pesquisas geológicas e até mesmo a espionagem internacional. Centenas deles já foram colocados em órbita desde 1957, e seu emprego cresce dia a dia em importância.

Os satélites artificiais e as viagens espaciais são apenas algumas das realizações de nossa era científica e tecnológica. E não só a tecnologia, mas todos os aspectos da vida e do pensamento modernos são profundamente influenciados pela ciência. Infelizmente, os avanços científicos e tecnológicos não estão à disposição de todos os homens; a organização social, política e econômica do mundo não permite ainda que a humani-

dade, como um todo, seja beneficiada pelas conquistas científicas.

Você vive em um mundo cada vez mais influenciado pela tecnologia. Para compreender e controlar esse mundo, e para colocar a ciência a serviço do homem, é necessário conhecer essa ciência. A física, que você vai estudar neste curso, é uma parte importante da ciência.

Há uma porção de perguntas que você pode propor sobre o movimento de um satélite: O que é a órbita do satélite? Qual a forma dessa órbita? Há necessidade de um motor para manter o satélite em órbita? Por que o satélite não cai? Qual a sua velocidade? Há gravidade dentro dele? Como funciona um foguete no vácuo?

Durante este curso você vai adquirir conhecimentos para responder a essas questões, aproveitando, muitas vezes, sua própria experiência.

Já neste capítulo você fará, em papel milimetrado, o desenho da órbita de um satélite.

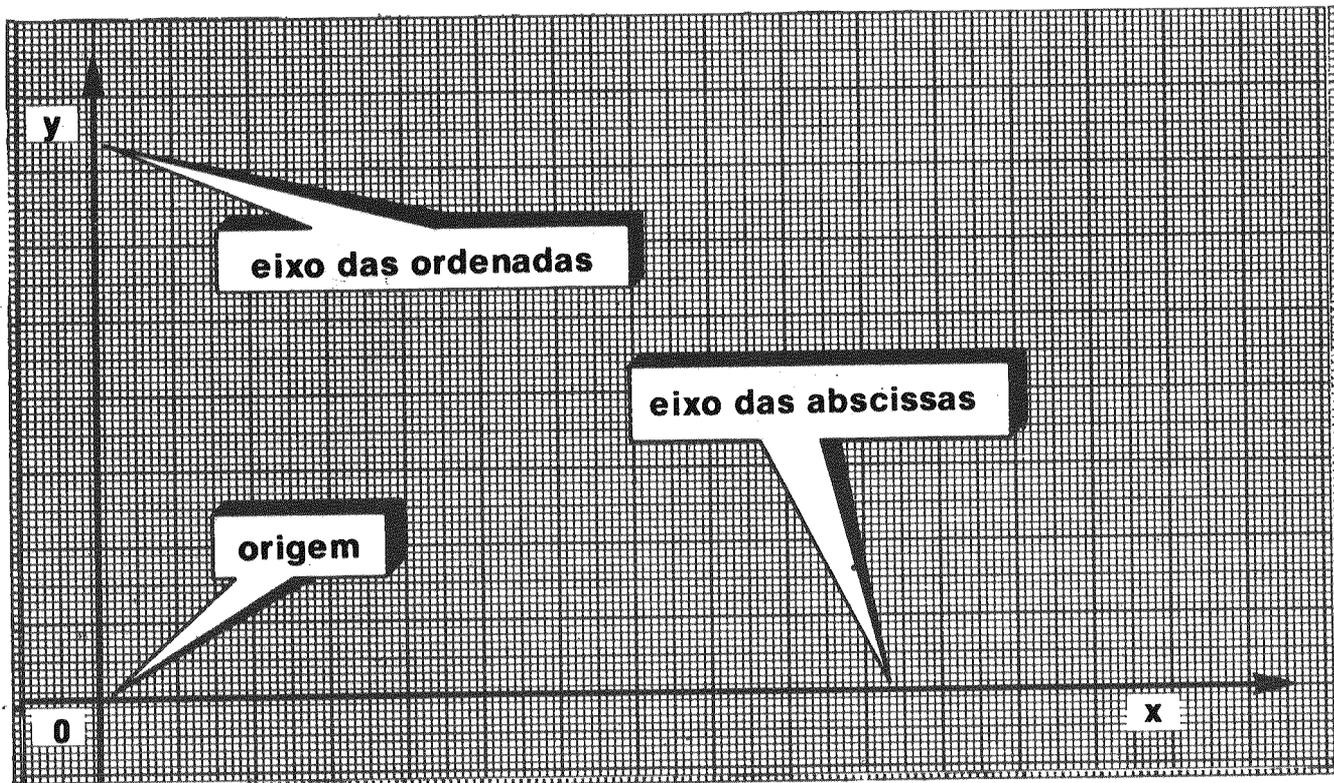


figura 1

## 1. Os pontos em um gráfico

Inicialmente, você vai aprender a marcar pontos em um sistema de coordenadas, formado por dois eixos ortogonais,  $Ox$  e  $Oy$ , semelhante ao da figura 1. O ponto em que esses eixos se cruzam recebe o nome de **origem**.

Pode-se representar números em cada eixo fazendo corresponder cada centímetro de papel milimetrado a uma unidade prefixada. Cada ponto  $P$  do plano  $Oxy$  é representado por um par de números:  $P(x; y)$ . A **coordenada  $x$** , isto é, o primeiro número do par, corresponde a um ponto do eixo  $Ox$  e é chamada **abscissa** do ponto; a **coordenada  $y$** , que se refere a um ponto do eixo  $Oy$ , é a **ordenada** do ponto.

Dado um par, formado, por exemplo, pelos números 3,9 e 3,1 (três vírgula nove e três vírgula um), o ponto correspondente  $P(3,9; 3,1)$  pode ser encontrado da seguinte maneira: inicialmente, marcam-se sobre o eixo  $Ox$  o ponto  $M$  que corresponde a 3,9 e sobre o eixo  $Oy$  o ponto  $N$  que corresponde a 3,1 (figura 2). A partir de  $M$  traça-se uma

reta paralela ao eixo  $Oy$ , e a partir de  $N$  uma paralela ao eixo  $Ox$ . A interseção dessas duas retas corresponde, então, ao ponto  $P$  procurado (figura 2).

**Q1** — Localize na figura 2 os pontos  $R(2,5; 4,1)$  e  $S(1,7; 3,2)$ .

Reciprocamente, conhecendo o ponto no plano você pode determinar suas coordenadas  $x$  e  $y$ . A figura 3 mostra como fazer isso: pelo ponto  $J$  traçam-se retas paralelas aos eixos  $Ox$  e  $Oy$ . A primeira encontra o eixo  $Oy$  no ponto 2,4; a segunda intercepta o eixo  $Ox$  no ponto 4,3. As coordenadas do ponto  $J$  são, então, 4,3 e 2,4. Isso corresponde ao par  $J(4,3; 2,4)$ . Note que a abscissa é sempre escrita em primeiro lugar.

**Q2** — Determine, na figura 3, as coordenadas do ponto  $L$ .

Como você está usando papel milimetrado, não necessitará traçar pelo ponto as paralelas aos eixos, pois poderá usar as já impressas. Isso tornará seu trabalho mais rápido e mais limpo.

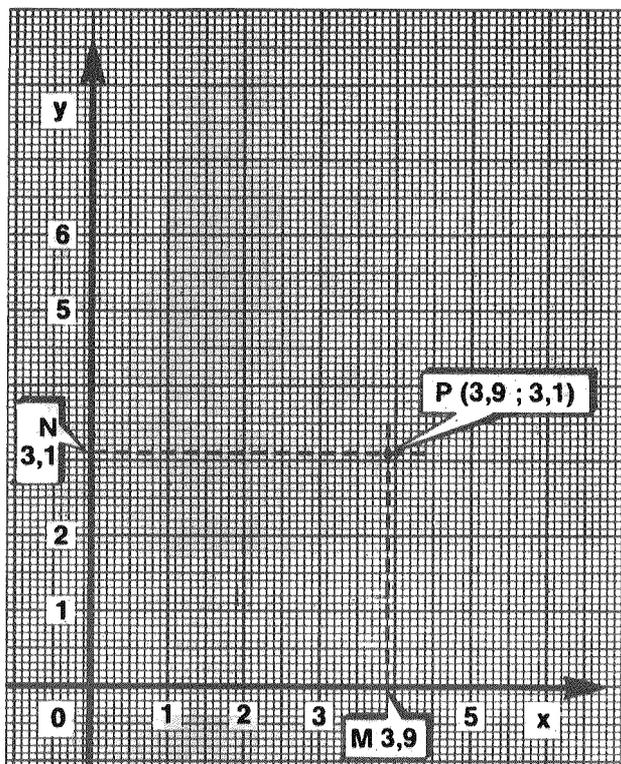


figura 2

## 2. Órbita de um satélite

O caminho percorrido por um corpo que se move é chamado **trajetória** desse corpo. As trajetórias fechadas e descritas pelos satélites artificiais e pelos planetas recebem o nome de **órbitas**.

**Q3** — O que você entende por trajetória de um satélite?

**Q4** — O que é órbita de um satélite?

**Q5** — Você diria que um carro, enquanto vai de São Paulo ao Rio, descreve uma órbita?

Veja as respostas à página 1-4.

O aspecto da trajetória de um corpo depende da posição de onde ela é observada. Um exemplo é o da trajetória dos planetas: em 1609, Johannes Kepler mostrou que eles descrevem órbitas elípticas em torno do Sol. Contudo, um observador situado sobre a Terra jamais veria tais trajetórias como elipses. Para que isso seja possível, o

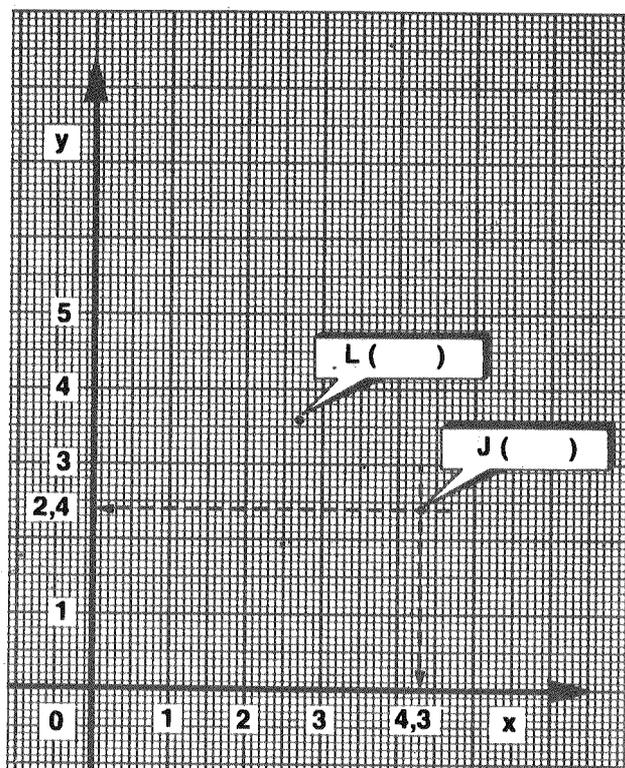


figura 3

## RESPOSTAS

**R<sub>2</sub>** -

**R<sub>3</sub>** -

**R<sub>4</sub>** -

**R<sub>5</sub>** -

$R_2$  — L (2,7; 3,6)

$R_3$  — A trajetória de um satélite é o caminho que ele percorre.

$R_4$  — Órbita de um satélite é o mesmo que sua trajetória, se esta for fechada. A rigor, a trajetória de um satélite nunca é fechada, mas em espiral: devido ao atrito com a atmosfera, sua velocidade vai diminuindo e ele se aproxima cada vez mais da Terra, à medida que vai dando voltas em torno do planeta. No entanto, se ele está suficientemente afastado, esse efeito é tão pequeno que a curto prazo pode ser desprezado. Neste curso, esse efeito não será levado em conta.

$R_5$  — Não, pois não se trata de uma trajetória fechada, percorrida repetidamente.

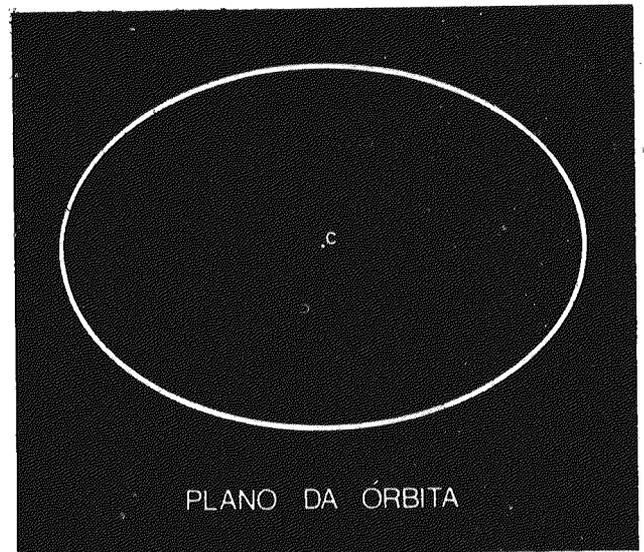
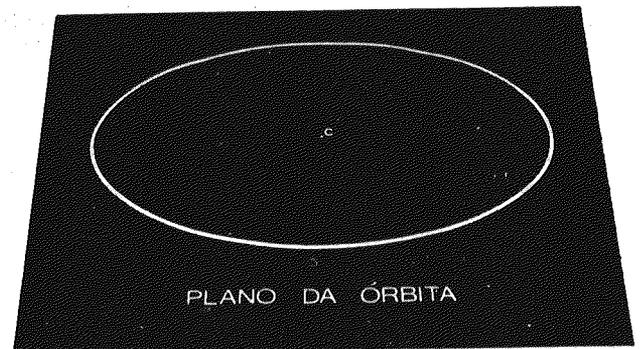


figura 4 — Desenho de uma órbita como é "vista" por um observador ou por uma câmara fotográfica de duas posições diferentes. Na foto acima o observador está localizado na reta perpendicular ao plano da órbita que passa pelo ponto C. Na foto abaixo, o observador está afastado dessa reta.



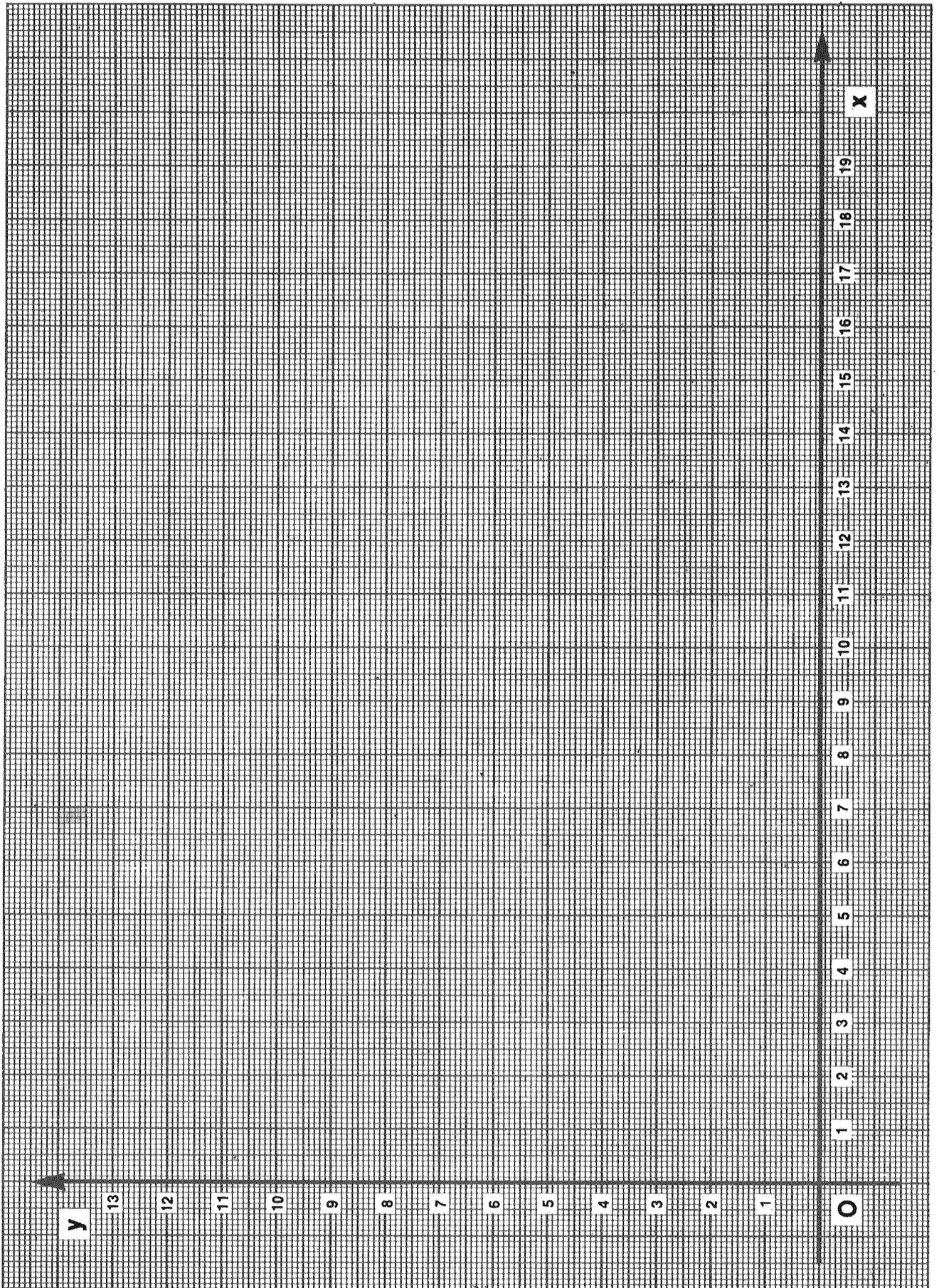
observador deve se colocar fora do plano da órbita do planeta, de preferência sobre uma reta perpendicular a esse plano e que passe pelo centro da órbita (figura 4).

Vamos agora desenhar a órbita do satélite Kosmos 159, lançado pela União Soviética a 17 de maio de 1967. A tabela 1 contém as coordenadas de 25 pontos que representam 25 posições do satélite. Localize, no papel milimetrado da página 1-5, todos os pontos dessa tabela, desde  $P_1$  até  $P_{25}$ .

Trace uma linha que passe por todos esses pontos, utilizando para isso a régua flexível. A curva obtida é uma elipse e representa a órbita do satélite; ela deverá ser semelhante à da figura 4 superior. Marque agora no papel milimetrado o ponto T (2,9 ; 7,5). Esse ponto corresponde ao centro da Terra.

$P_1$	( 3,6 ; 3,2)	$P_{14}$	(17,8 ; 10,6)
$P_2$	( 5,8 ; 2,2)	$P_{15}$	(16,7 ; 11,6)
$P_3$	( 7,7 ; 1,8)	$P_{16}$	(15,1 ; 12,4)
$P_4$	(10,8 ; 1,6)	$P_{17}$	(13,2 ; 13,0)
$P_5$	(13,3 ; 2,0)	$P_{18}$	(10,7 ; 13,4)
$P_6$	(15,2 ; 2,6)	$P_{19}$	( 7,6 ; 13,2)
$P_7$	(16,7 ; 3,4)	$P_{20}$	( 5,6 ; 12,7)
$P_8$	(17,8 ; 4,4)	$P_{21}$	( 3,5 ; 11,7)
$P_9$	(18,6 ; 5,4)	$P_{22}$	( 2,0 ; 10,5)
$P_{10}$	(19,0 ; 6,4)	$P_{23}$	( 0,8 ; 8,3)
$P_{11}$	(19,2 ; 7,5)	$P_{24}$	( 1,2 ; 5,7)
$P_{12}$	(19,0 ; 8,6)	$P_{25}$	( 2,6 ; 4,0)
$P_{13}$	(18,6 ; 9,6)		

tabela 1 — Órbita do satélite Kosmos 159 (calculado segundo dados do livro *Events in Space* de W. Ley, Ed. Mac Kay, Nova Iorque, 1969).





Fotografia do céu à noite, com o diafragma da máquina aberto durante algumas horas. Por causa da rotação da Terra em torno do seu eixo, as estrelas parecem percorrer trajetórias circulares. A fotografia foi tirada no hemisfério norte em que há uma estrela (Polaris) próxima do pólo norte celeste e que quase não se desloca; esta estrela produziu o traço mais forte perto do centro. No hemisfério sul não há estrela visível perto do pólo.

### 3. Exercícios de aplicação

E1 — Determine as coordenadas dos pontos T, Z, W da figura 5.

E2 — Na figura 6, a interseção das retas r e s determina um ponto. Quais são suas coordenadas?

E3 — Os pontos relacionados abaixo pertencem à trajetória de um corpo.

Localize-os no sistema de coordenadas da figura 7 e trace a curva determinada por eles.

$M_1$ (3,0 ; 2,0)	$M_2$ (3,9 ; 3,0)
$M_3$ (5,7 ; 4,0)	$M_4$ (8,1 ; 4,8)
$M_5$ (9,9 ; 5,2)	$M_6$ (11,4 ; 5,8)
$M_7$ (12,9 ; 6,6)	$M_8$ (14,1 ; 8,0)

E4 — Considerando apenas a curva obtida no exercício anterior, você pode concluir que ela é uma órbita? Por quê?

Veja as respostas à página 1-8.

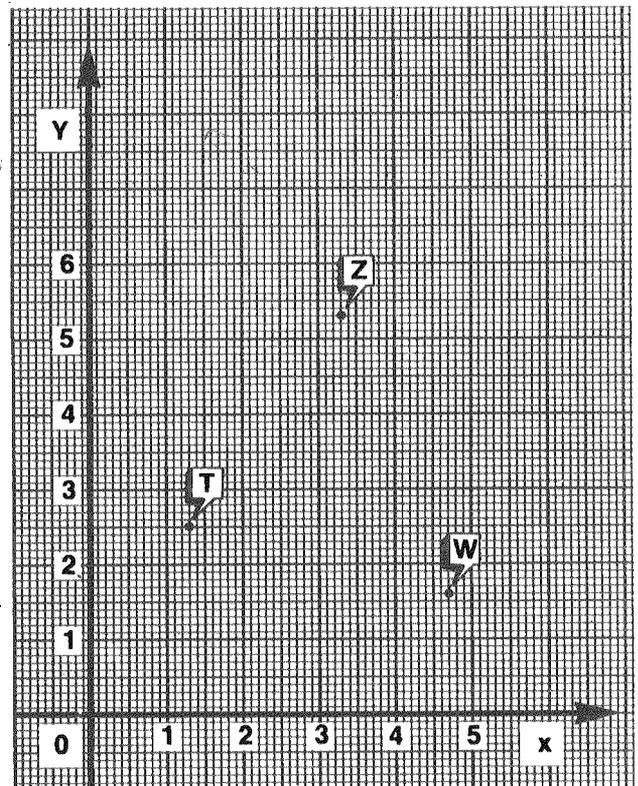


figura 5

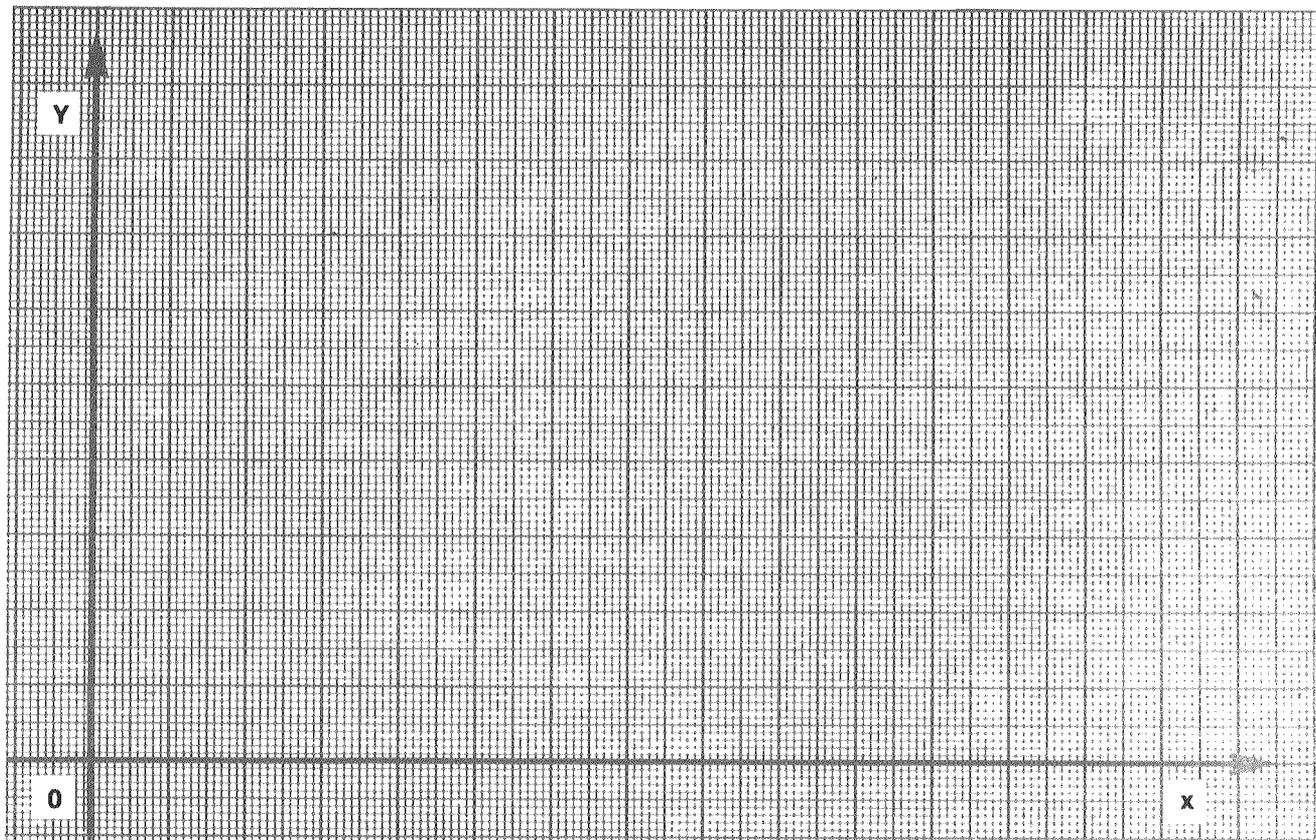


figura 7

## RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

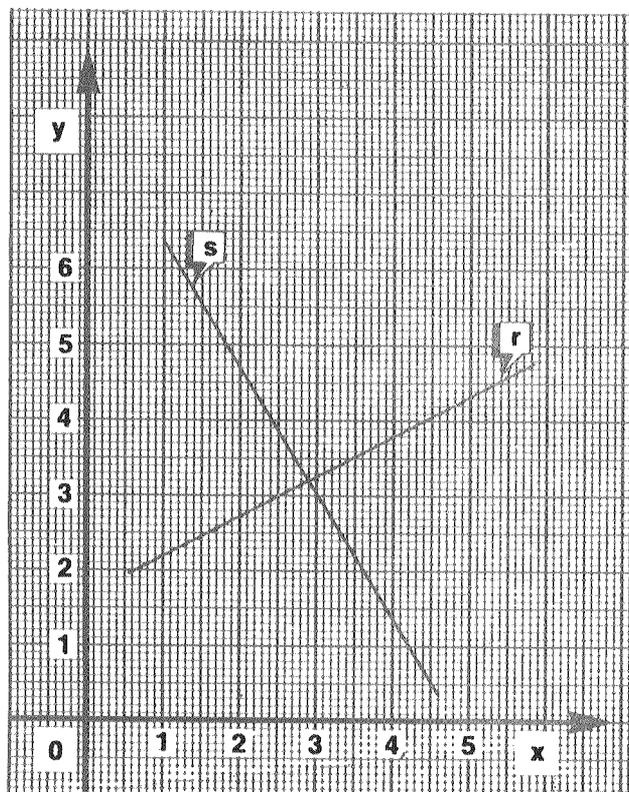
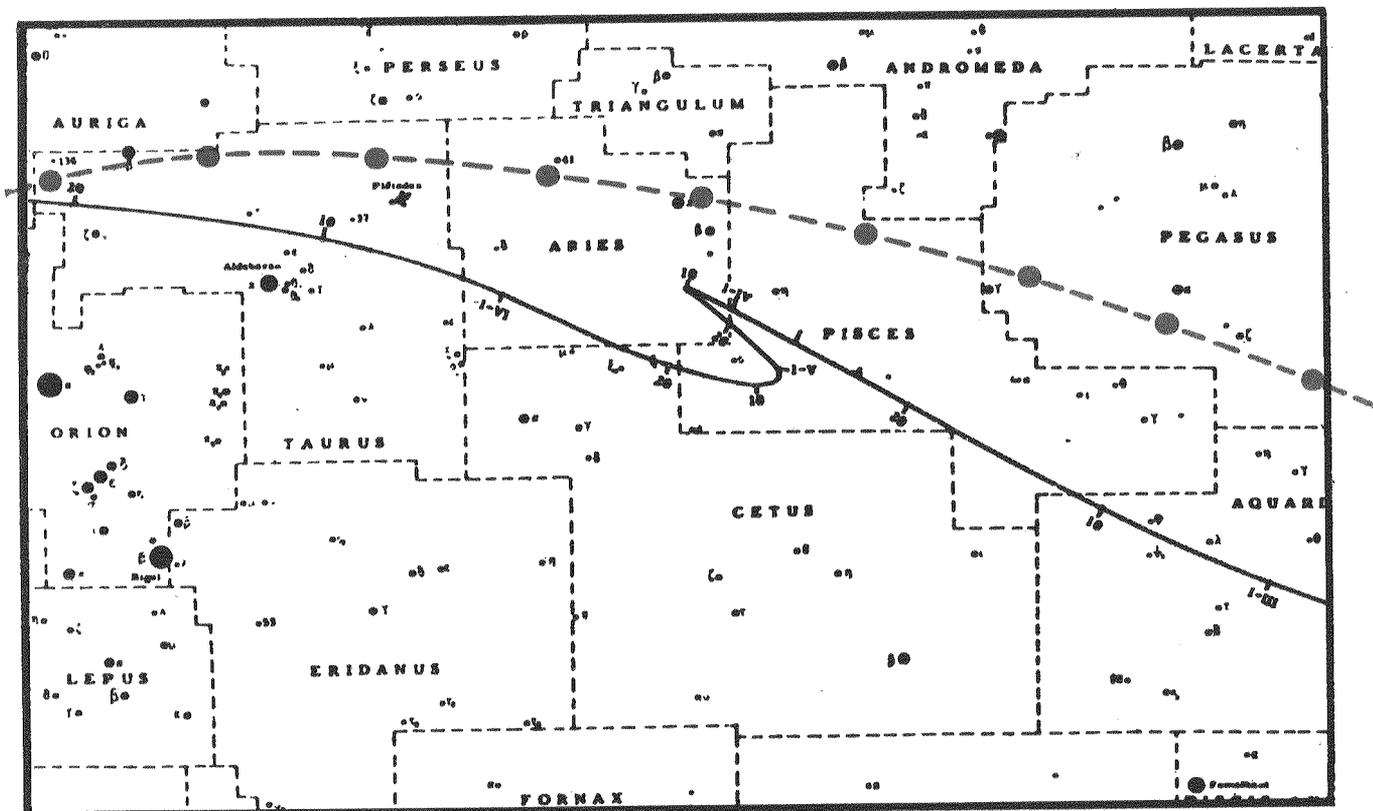


figura 6

$R_1 -$

$R_2 -$

$R_4 -$



Pequeno trecho das trajetórias aparentes do planeta Mercúrio e da Lua em 1971. Na figura estão marcadas as posições de Mercúrio nos dias 1, 10 e 20 de cada mês, de março a junho de 1971 (1-III até 20-VI), bem como as posições da Lua a zero hora de cada dia, de 12 a 20 de julho do mesmo ano.

As trajetórias mostradas na figura *não* representam os movimentos que uma pessoa situada sobre um ponto da superfície terrestre veria se observasse os dois astros no decorrer de uma única noite. Nesse caso, as trajetórias resultantes — arcos de circunferência (veja a figura da pág. 1-6) — se devem ao movimento de rotação da Terra em torno de seu próprio eixo. Note-se que, em uma única noite, a posição de Mercúrio — ou de qualquer outro planeta — *em relação às estrelas* não muda significativamente: se, no começo da noite, o planeta se encontra entre duas estrelas determinadas, por exemplo, ao fim de algumas horas ele ainda se encontrará entre essas estrelas, apesar de todo o conjunto ter-se movido no céu.

Assim, o que a figura acima mostra são os movimentos da Lua e de Mercúrio *em relação às estrelas*, movi-

mentos estes obtidos observando os astros durante muitas noites. É a isso que se dá o nome de trajetória aparente.

A trajetória aparente de Mercúrio resulta da combinação de dois movimentos elípticos em torno do Sol: o do próprio Mercúrio e o da Terra. Por causa desta combinação a trajetória é complicada e apresenta idas e voltas (como o trecho entre 10-IV e 1-V).

A Lua, por sua vez, descreve uma circunferência em torno da Terra, e sua trajetória aparente é mais simples. Como será a trajetória aparente de um satélite artificial como o Kosmos 159?

As trajetórias aparentes de todos os planetas apresentam idas e voltas; foram tais irregularidades que levaram Copérnico a propor a teoria heliocêntrica, isto é, a teoria que apresenta o Sol, e não a Terra, como o centro em torno do qual os planetas giram.

A figura foi construída a partir de dados do Anuário do Observatório Astronômico de São Paulo, 1971.

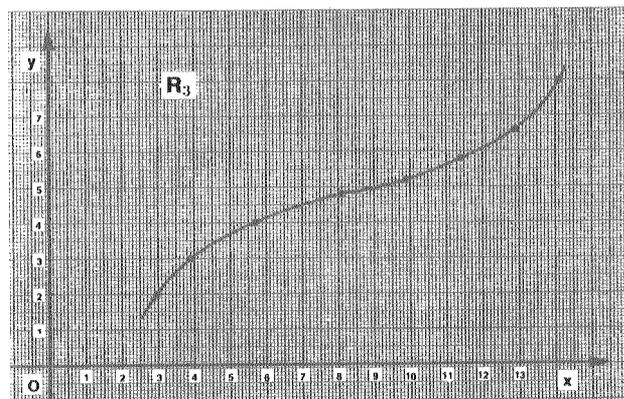
$R_1$  — T (1,3; 2,5)

$Z$  (3,3; 5,3)

$W$  (4,7; 1,6)

$R_2$  — (2,9; 3,2)

$R_4$  — A curva obtida no exercício anterior não é uma órbita, porque não é uma trajetória fechada.



# Leitura Suplementar

## A CIÊNCIA NA CULTURA

Desde tempos imemoriais o homem perscruta o mundo e tenta explicá-lo. A necessidade de compreender o mundo em que vivemos parece ser uma necessidade fundamental do homem. Todas as civilizações que conhecemos tiveram teorias e dogmas sobre a criação do mundo, por que as estrelas existem e se movem, o que são as estrelas e os planetas, por que chove, o que é o Sol etc. Inicialmente, tais teorias eram mais fantásticas que qualquer outra coisa, nascidas de observações falhas e de muita mística. Baseavam-se sobretudo nas crenças da época, em detrimento de fatos observados. Aliás, as crenças eram consideradas fatos.

O conhecimento do mundo era pequeno, e assim o homem sentia-se em um mundo que não compreendia, em que não podia prever, e muito menos controlar, o que ia acontecer. A atitude do homem frente ao mundo tendia a ser supersticiosa, cheia de medo, impotente.

Aos poucos o conhecimento do mundo foi se tornando mais completo e organizado até que, no século XVII, se desenvolveu um modo sistemático de desvendar os chamados "segredos da natureza". Tal método baseia-se na aplicação do raciocínio lógico às observações da natureza (seja em experiências realizadas especialmente para o estudo, seja na vida cotidiana), na construção de teorias baseadas nas observações e na verificação da validade dessas teorias em novas observações. É o **método científico**. Seu advento marca uma mudança importante da posição do homem no mundo. É o começo da era científica e tecnológica. O homem compreende cada vez mais o mundo, sabe prever certos acontecimentos e controlá-los. Não é mais puro juguete das forças da natureza, adquire uma sensação de poder e independência que antes não possuía.

A visão que o homem tem do universo e da própria posição nesse universo sempre se altera quando uma nova concepção científica vem substituir uma velha maneira de pensar. Como consequência, em todo campo de atividade e de pensamento ocorre uma mudança de perspectiva.

A importância que as idéias científicas podem adquirir no âmbito político-social é exemplificada pelos destinos de Giordano Bruno e Galileu Galilei na Itália renascentista. Bruno foi queimado vivo como herege, em 1600; uma de suas heresias foi advogar o sistema heliocêntrico de Copérnico, isto é, a crença de que a Terra e os demais planetas giram em torno do

Sol. Ora, isso entrava em contradição com os ensinamentos da Igreja; assim, esta, por intermédio da Santa Inquisição, condenou Bruno à fogueira.

Anos mais tarde, Galileu, considerado o fundador da ciência moderna, defendeu o sistema heliocêntrico, despertando também as iras da Igreja. Como consequência, foi obrigado a abjurar publicamente suas convicções, ficando sob custódia da Inquisição até o fim da vida.

Casos como esses foram, com o passar do tempo, se tornando cada vez mais raros; hoje não mais se verificam manifestações desse tipo de intolerância com respeito às ciências naturais. Entretanto, quando assuntos científicos adquirem importância social imediata, ainda se registram, às vezes, situações semelhantes.

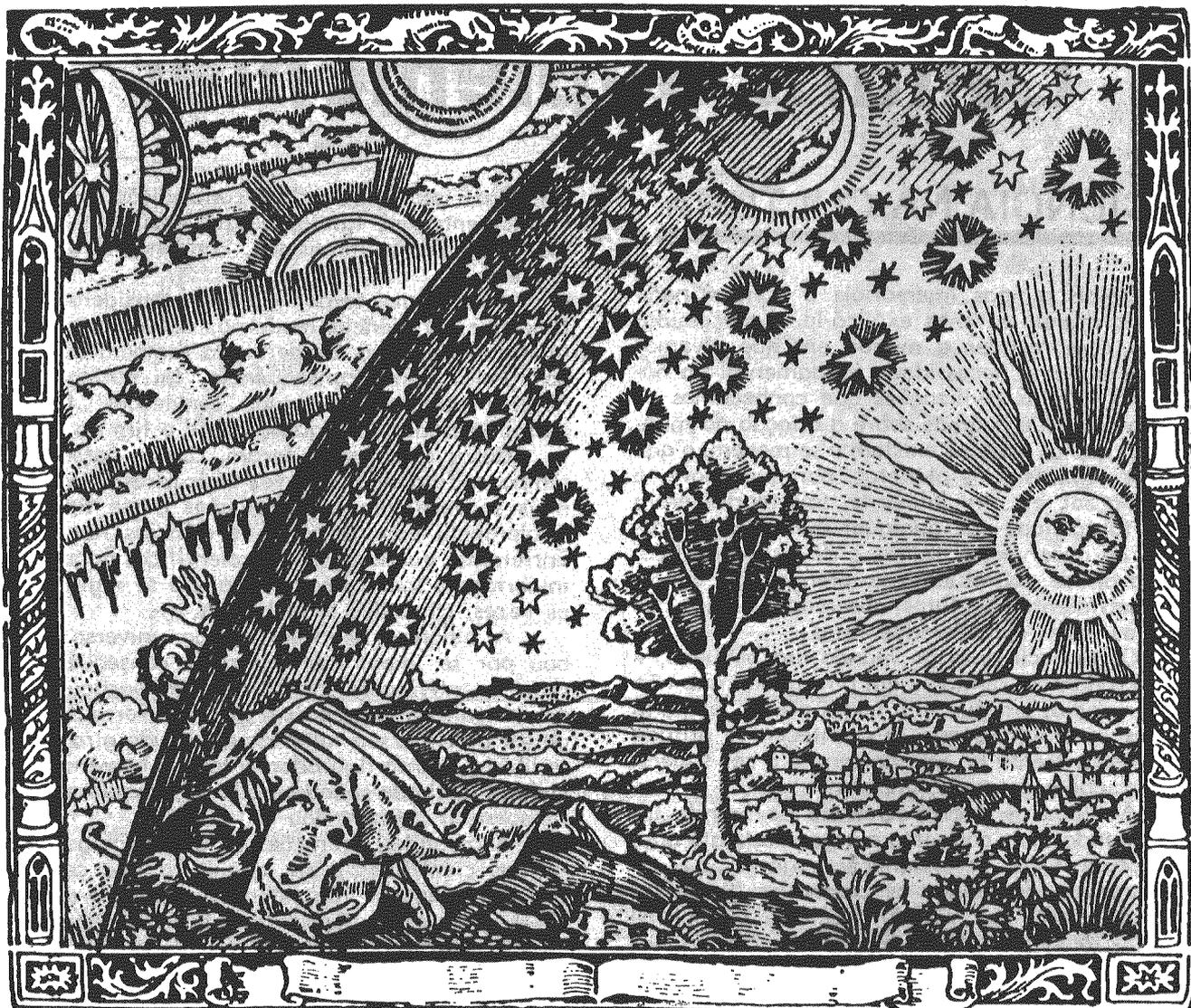
A hipótese heliocêntrica do universo acabou por se impor com enormes consequências para as atividades científicas em particular e para a cultura humana em geral: a Terra deixou de ser o centro em torno do qual tudo gira, tanto literal quanto figuradamente, e o homem, que vivia no fechado mundo medieval, passou a sentir sobre si a imensidão do universo.

As grandes alterações induzidas pelas conquistas científicas sobre a cultura não se restringem a épocas tão remotas quanto o século XVII. Em nosso próprio tempo, descobertas no campo da mecânica quântica vieram modificar drasticamente a visão que temos do mundo.

Até 50 anos atrás, acreditava-se, por influência da mecânica newtoniana, que o mundo era **determinístico**; isto é, que, dadas as condições de um sistema qualquer em um dado instante, fica determinada com toda a certeza sua evolução futura. De fato, na maior parte dos fenômenos físicos do dia-a-dia isso parece acontecer: sabendo-se a posição inicial de uma pedra, a velocidade com que ela é lançada e os demais fatores que podem influenciar seu movimento, pode-se determinar com toda segurança o ponto em que ela cairá e em que posição ela o fará.

No nível macroscópico, previsões desse tipo são possíveis, e com grande precisão; no entanto, as coisas não são as mesmas quando se passa ao nível microscópico.

A descoberta dos fenômenos atômicos e o aparecimento da mecânica quântica trouxeram como um de seus corolários o chamado **princípio de indeterminação**. Segundo tal princípio, é impossível determinar simultaneamente, e com precisão, a posição e a velocidade de uma partícula, como por exemplo um elétron. Assim, também é impossível prever com precisão sua trajetória futura.



(xilogravura, século XVI)

Na época em que foi enunciado, o princípio de indeterminação deu origem a grandes celestias, pois ele lançava por terra as bases das concepções deterministas. Hoje, a maioria dos físicos não mais aceita uma interpretação determinista do mundo; esse fato influenciou profundamente a filosofia e as outras ciências.

As grandes conquistas científicas alcançadas nos últimos séculos dão aos cientistas a sensação de que os mistérios de hoje serão desvendados amanhã, que as dúvidas que o preocupam hoje desaparecerão no futuro. No entanto, muitos deles têm consciência de que cada porta que se abrir trará novos problemas, e que nunca chegará um momento em que o homem poderá dizer que compreende o mundo em sua totalidade.

Assim, ainda há muitos fenômenos que não entendemos, doenças que não sabemos evitar, catástrofes naturais que não podemos prever, partículas nucleares com propriedades misteriosas etc. Essas questões serão resolvidas, mas outras tomarão seu lugar.

GALILEU — Só na constelação de Órion são quinhentas estrelas fixas. São os muitos mundos, os incontáveis outros mundos, as estrelas distantes de que falava o queimado vivo, que ele não chegou a ver, mas que ele esperava.

SAGREDO — Mas mesmo que esta terra seja uma estrela, tem muito chão até as afirmações de Copérnico, de que ela gira em volta do Sol. Não há estrela no céu que tenha outra girando à sua volta. Mas, em torno da Terra, gira sempre a Lua.

GALILEU — Eu duvido, Sagredo. Desde anteontem que eu duvido. Olhe Júpiter: perto dele estão quatro estrelas menores, que só se vêem pelo telescópio. Eu as vi segunda-feira mas não fiz muito caso da sua posição. Ontem, olhei outra vez. Eu jurava que todas as quatro tinham mudado a sua posição. Eu tomei nota. Estão diferentes outra vez. O que é isso? Olhe você.

SAGREDO — Eu vejo três.

GALILEU — A quarta onde está? Olhe a tabela. Vamos calcular o movimento que elas possam ter feito (...) Está provado. A quarta só pode ter ido atrás de Júpiter, onde a gente não a vê. Está aí uma estrela que tem outra girando à sua volta.

SAGREDO — Mas e a esfera de cristal, em que Júpiter está fixado?

GALILEU — É; onde é que ela ficou? Como pode Júpiter estar fixado, se há estrelas girando em volta dele? Não há suporte no céu, não há ponto fixo no universo! (da peça teatral *Galileu Galilei* de B. Brecht, 1943).

# CIÊNCIA E TECNOLOGIA

O papel que os progressos científicos exercem na vida cotidiana é mais perceptível, no entanto, quando se consideram suas conseqüências práticas. Estamos agora falando da tecnologia.

Se alguém lhe pedisse para citar algumas "conquistas da tecnologia", você provavelmente falaria em coisas modernas e impressionantes, como a televisão, os computadores, os plásticos, os reatores nucleares, viagem à Lua e assim por diante. E, respondendo assim, você estaria certo, mas apenas parcialmente; na verdade, existem milhares de pequenas (e mesmo grandes) conquistas da tecnologia de que você se beneficia, talvez sem saber que foram fruto de um lento, gradual e muitas vezes penoso processo de aperfeiçoamento. Assim, o pão que você come, as roupas que veste, a totalidade dos utensílios domésticos que usa, existem graças a conquistas tecnológicas.

Pode-se dizer que quase tudo o que o homem moderno utiliza provém da tecnologia. As exceções que logo vêm à mente são os produtos naturais, como as frutas, o petróleo, a carne etc. Mesmo assim, a influência da tecnologia nas atividades extrativas é cada vez mais significativa: os modernos métodos de utilização do solo, por exemplo, baseiam-se, entre outras coisas, na seleção de sementes e na utilização intensiva de máquinas agrícolas, incluindo aviões para pulverização de inseticidas.

Mas o papel da tecnologia na vida humana não foi sempre tão importante como é hoje: durante quase toda a história, a vasta maioria da população mundial usufruiu apenas das conquistas tecnológicas mais rudimentares, como o arado primitivo e a tecelagem a mão. Foi apenas no século XVII, com a Revolução Industrial, que esse estado de coisas começou a se alterar: a invenção da máquina a vapor deu origem a um rápido processo de mecanização da indústria, que passou a produzir mais a preço menor. Como conseqüência, a influência da tecnologia sobre a vida do homem comum cresceu, de tal forma que hoje o telefone, os tratores, a eletricidade e uma infinidade de outras conquistas tecnológicas são encontradas mesmo nos lugares mais remotos e atrasados.

Se bem que todo método que o homem idealiza e executa para controlar a natureza seja uma conquista tecnológica, há uma grande diferença entre o gênero de progresso tecnológico que se verificou durante quase toda a história da civilização e aquele que se dá hoje em dia. A invenção do primeiro arado, por exemplo, ocorreu quando alguém resolveu usar um galho de árvore para cavar o chão, em vez de fazer esse trabalho com as próprias mãos. Já o transistor, parte integrante de quase todos os modernos

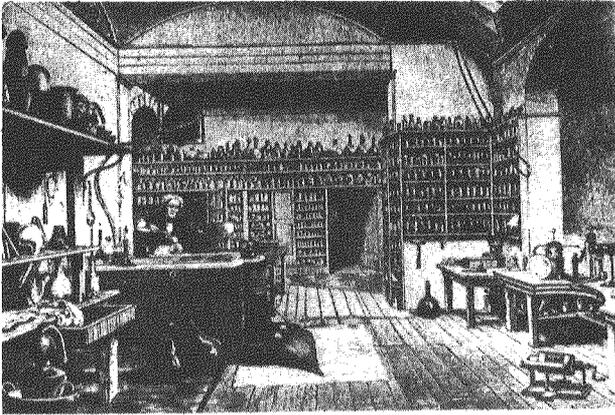
aparelhos eletrônicos, nasceu a partir de pesquisas científicas na área da física do estado sólido. Em outras palavras, durante muito tempo o desenvolvimento da tecnologia deu-se em bases puramente empíricas, ou seja, por um processo de tentativa e erro: uma pessoa resolvia aperfeiçoar um determinado método de trabalho, introduzindo, mais ou menos ao acaso, modificações nos instrumentos e técnicas já existentes. As alterações podiam ou não levar a bons resultados, e disso dependia o progresso. Mas, cada passo à frente somava-se a todo o conhecimento passado, e dessa maneira o ritmo em que o progresso tecnológico se dava era sempre crescente.

No entanto, o método de tentativa e erro foi sendo gradualmente substituído por um processo mais eficiente: a utilização do conhecimento científico para restringir o número de tentativas e assim errar menos. Dessa forma, a observação quase casual de que o aquecimento de uma massa de trigo pulverizado e misturado com água dava origem a algo de sabor agradável e evidentes propriedades nutritivas criou a técnica da fabricação do pão. Por sua vez, o estudo das propriedades dos fermentos, que é uma atividade científica, possibilitou uma aceleração no progresso desse particular ramo da tecnologia.

Assim, a ciência fornece os conhecimentos que a tecnologia usa para avançar. Essa relação de dependência, entretanto, não se verifica apenas em um sentido. Muitas áreas da ciência se desenvolveram a partir de necessidades tecnológicas. Um dos exemplos mais significativos é o surgimento da mecânica quântica, ramo muito importante da física moderna: em meados do século passado, os industriais alemães estavam encontrando grandes dificuldades em aumentar a produção e a qualidade do aço de suas siderúrgicas. O problema, transferido à área científica, reduziu-se ao estudo do comportamento dos corpos quando submetidos a altas temperaturas. Tal estudo, além de ter resolvido o problema da siderurgia, levou à criação de uma nova área de pesquisas científicas; e foi de questões levantadas nessa área que nasceu a necessidade de criar a mecânica quântica.

A interdependência entre ciência e tecnologia é hoje tão importante que, nos países desenvolvidos, todo complexo industrial de alguma significação conta com um centro de pesquisas científicas. A situação é bem outra nos países menos desenvolvidos, onde as grandes indústrias são quase todas estrangeiras. Assim, eventuais problemas científicos que podem surgir no processo de aperfeiçoamento de uma técnica industrial já foram resolvidos no país de origem da empresa em questão.

Como conseqüência, o pequeno desenvolvimento científico que ocorre nos países subdesenvolvidos é quase completamente desligado do progresso tecnológico.



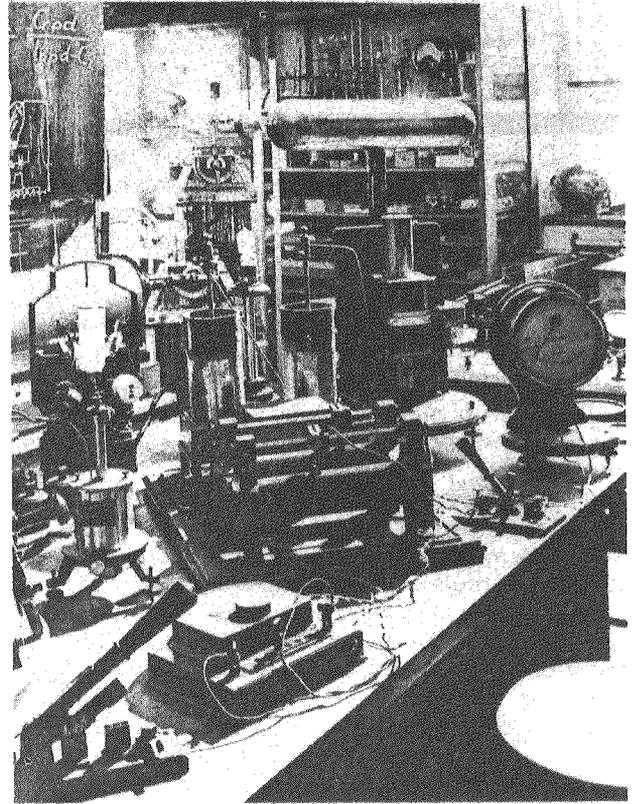
**Londres — 1850**

*A complexidade crescente e evolução dos laboratórios de Física.*

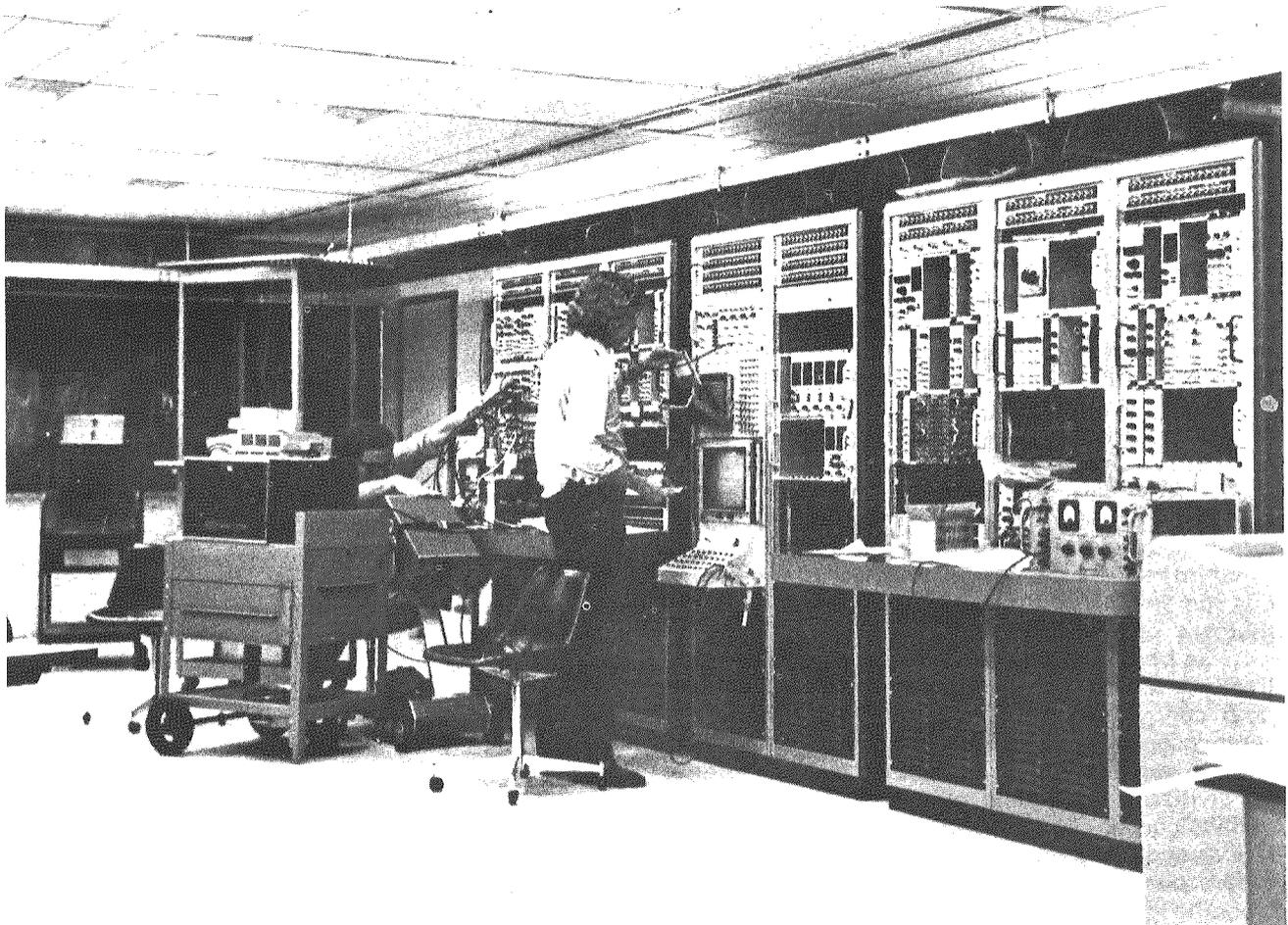
Acima, o laboratório de Michael Faraday, um dos maiores experimentadores do século XIX, em Londres, por volta de 1850.

Ao lado, um laboratório da Universidade de Zurique, cidade onde morava Einstein ao publicar a revolucionária Teoria da Relatividade, em 1905.

O Acelerador Eletrostático Pelletron, da Universidade de São Paulo, construído em 1971, possui, além do acelerador, um computador de terceira geração, oficinas mecânica e eletrônica, sala de controle e obtenção de dados (vista abaixo), destinados a pesquisas em Física Nuclear.



**Zurique — 1905**



**São Paulo — 1972**

# A FÍSICA NO BRASIL

No Brasil, a pesquisa que se faz na área da física, por exemplo, se restringe ainda às universidades, às instituições governamentais e a poucos centros isolados, quase sem vinculação com a indústria (tabela abaixo).

Aliás, a pesquisa em física é uma atividade recente no Brasil. Começou em 1934, quando o professor italiano Gleb Wataghin fundou o Departamento de Física da Faculdade de Filosofia (hoje Instituto de Física) da Universidade de São Paulo. Depois disso surgiram outros grupos no Rio de Janeiro e, na década de 1960, em outras cidades.

Atualmente, há no país cerca de 20 instituições em que se desenvolvem pesquisas em física; tais pesquisas variam desde o trabalho puramente teórico, como é conduzido no Instituto de Física Teórica de São Paulo, até a pesquisa aplicada, como é feita nos Institutos de Enge-

nharia Nuclear de Belo Horizonte, São Paulo e Rio de Janeiro. A maior parte das atividades desses centros é dirigida para dois principais campos: a física do estado sólido e a física nuclear. A primeira é importante para a indústria metalúrgica e eletrônica.

A física nuclear tem aplicações importantes em medicina, biologia, agricultura, prospecção geológica, astrofísica e principalmente em produção de energia em reatores nucleares.

A Sociedade Brasileira de Física,\* entidade que congrega a maioria dos físicos e professores de física no país, publica a Revista Brasileira de Física e tem atualmente cerca de mil sócios. Esse número, para o Brasil, é muito pequeno, havendo falta de professores de física em muitas universidades e escolas secundárias. A indústria, que nos países desenvolvidos emprega muitos físicos, aqui oferece colocação para apenas algumas dezenas.

Os cientistas em geral estão filiados à Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência,\*\* que tem cerca de 6000 sócios; edita a revista **Ciência e Cultura**, dedicada à divulgação científica, e promove reuniões científicas anuais.

## PRINCIPAIS INSTITUIÇÕES DE PESQUISA EM FÍSICA NO BRASIL

INSTITUIÇÃO	LOCAL	CAMPO DE PESQUISA
1 — Universidade de São Paulo, Inst. de Física	São Paulo	Fís. Nuclear, dos Sólidos e Teórica
2 — Univ. S. Paulo, Inst. de Astronomia e Geofísica	São Paulo	Geofísica, Astronomia, Astrofísica
3 — Univ. S. Paulo, Inst. de Física e Química, S. Carlos	São Carlos	Fís. dos Sólidos, Fís. Médica
4 — Univ. S. Paulo, Esc. Sup. de Agricultura	Piracicaba	Fís. Nuclear Aplicada à Agricultura
5 — Instituto de Energia Atômica	São Paulo	Fís. Nuclear Pura e Aplicada
6 — Instituto de Física Teórica	São Paulo	Física Teórica
7 — Centro de Radioastronomia da Univ. Mackenzie	São Paulo	Radioastronomia
8 — Univ. Est. de Campinas, Inst. de Física	Campinas	Raios Cósmicos, Fís. dos Sólidos
9 — Instituto Tecnológico de Aeronáutica	S. José dos Campos	Física Atômica, Astronomia
10 — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	S. José dos Campos	Pesquisas Espaciais
11 — Pontif. Univ. Catól. R. Janeiro, Inst. de Física	Rio de Janeiro	Fís. Teórica, Nuclear e de Sólidos
12 — Univ. Fed. do R. Janeiro, Inst. de Física	Rio de Janeiro	Física dos Sólidos
13 — Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas	Rio de Janeiro	Fís. Nuclear, dos Sólidos e Teórica
14 — Instituto de Energia Nuclear	Rio de Janeiro	Física Nuclear Aplicada
15 — Univ. Fed. de Minas Gerais, Inst. de Física	Belo Horizonte	Física dos Sólidos
16 — Instituto de Pesquisas Radioativas	Belo Horizonte	Fís. Nuclear Aplicada e Fís. dos Sólidos
17 — Univ. Fed. do R. G. do Sul, Inst. de Física	Porto Alegre	Fís. Nuclear, dos Sólidos e Teórica
18 — Univ. Fed. da Bahia, Inst. de Física e Geociências	Salvador	Geofísica
19 — Univ. Fed. do Ceará, Inst. de Física	Fortaleza	Física dos Sólidos
20 — Universidade Nacional de Brasília	Brasília	Física dos Sólidos

\* S.B.F.: Caixa Postal 20 553, São Paulo, SP.

\*\* S.B.P.C.: Rua Cunha Gago, 713, Pinheiros, São Paulo, SP.

ISBN 85-222-0160-9

Esta obra foi impressa pela  
**EDITORA DO BRASIL S/A.**  
Av. Mal. Humberto de Alencar Castelo Branco, 368  
Fone: 913-4141 — Guarulhos — SP  
para a  
FAE — Fundação de Assistência ao Estudante  
Rua Miguel Ângelo, 96 — Maria da Graça  
Rio de Janeiro — RJ — República Federativa do Brasil  
em 1984.