

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

BIBLIOTECA  
INSTRUMENTAÇÃO PARA O ENF  
- IFUSP - SALA EP 210 -

eletromagnetismo

2

# Estrutura dos ímãs





# 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

## Leitura Suplementar

Igor Gil Pacca

## 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 Espírito 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.

# CAPA

Fotografia da estrutura magnética de um cristal de cobalto, ampliada mais de 3 000 vezes, nos é revelada por um poderoso microscópio.

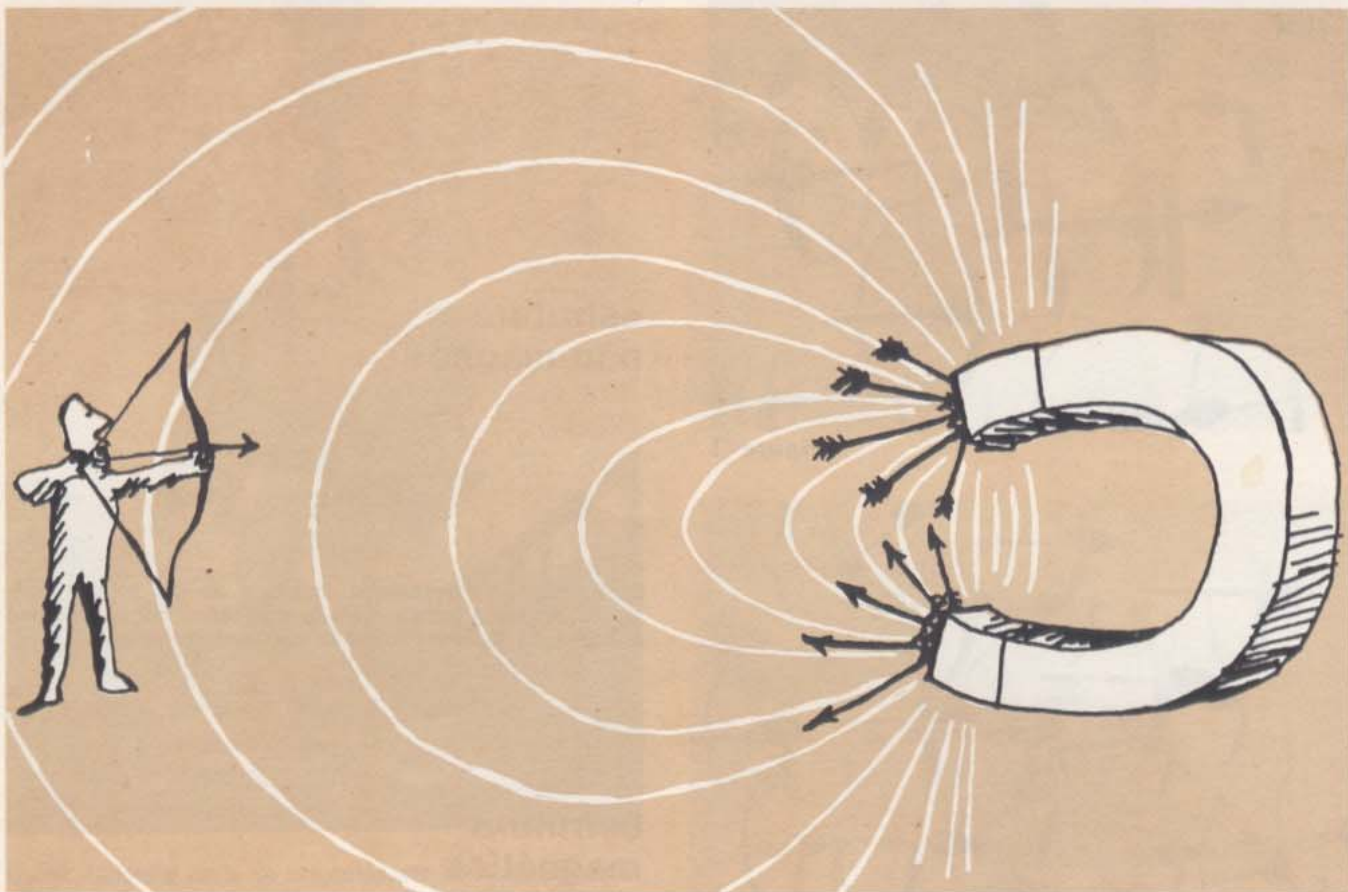
MEC FENAME PREMEN

Estrutura dos

## ÍNDICE

### 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 eleioímãs .....	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



## Estrutura dos ímãs

Alguma vez você já se perguntou por que os ímãs apresentam propriedades tão diferentes dos outros corpos? E no que lhes dá essas propriedades específicas? Pois é disso que vamos tratar neste capítulo. Vamos analisar estas propriedades e, a partir delas, tentaremos uma explicação.

Você observou que somente alguns materiais são atraídos por um ímã; por mais que você tente, por exemplo, atrair um pedaço de madeira com seu ímã, não o conseguirá.

Além disso, sabemos que os efeitos de um ímã são semelhantes aos de correntes elétricas; se houvesse corrente elétrica dentro de um ímã, poderíamos atribuir seu comportamento a essa corrente. A fim de tentar uma explicação satisfatória do comportamento dos ímãs, devemos analisar a estrutura dos materiais.

Pela teoria atômica, toda "matéria" é formada de átomos, constituídos por núcleos e por elétrons que se movem ao seu redor, criando pequenas correntes que circulam indefinidamente sem a necessidade de um gerador.

Será possível estabelecer uma relação entre a produção de efeitos magnéticos por correntes elétricas e esse movimento dos elétrons nos átomos? E isso não explicaria as propriedades magnéticas dos ímãs?

Veremos, a seguir, que tal relação é de fato possível. Ao final deste capítulo, você deverá ter compreendido como as propriedades dos ímãs estão ligadas à sua estrutura atômica e por que as propriedades magnéticas dos materiais que encontramos em nossa vida diária, apesar de serem todos constituídos de átomos, podem variar grandemente.



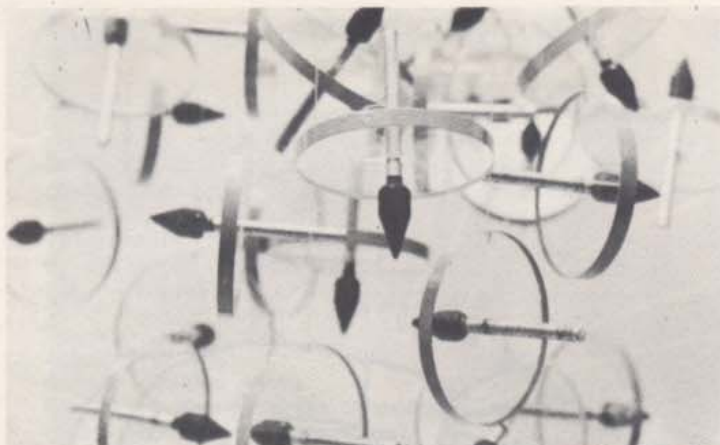


figura 1

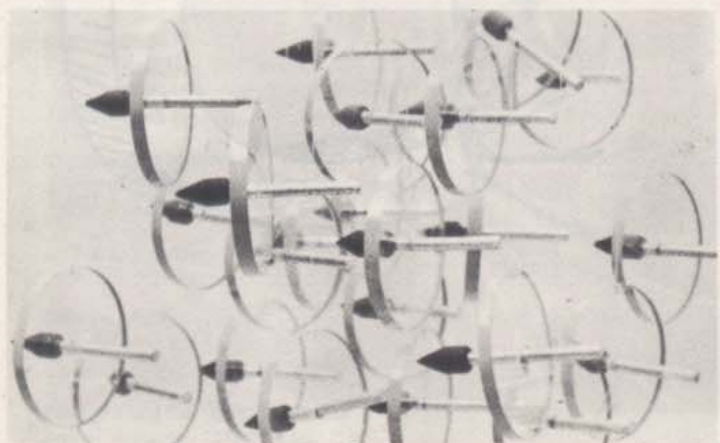


figura 2

## estrutura não-magnética



Esse modelo representa a trajetória de um elétron num átomo. A flecha indica o efeito magnético correspondente à espira de corrente formada por esse movimento.

## estrutura magnética

# 1. Materiais magnéticos

Os materiais que apresentam propriedades magnéticas são classificados em vários tipos; aqui eles serão subdivididos em apenas dois: materiais **ferromagnéticos** e materiais **não-ferromagnéticos**.

Dizemos que um material é **ferromagnético** quando ele é fortemente atraído por um ímã.

**Q1** — Utilize amostras de alumínio, plástico, ferro, latão, liga de níquel-cromo e outros materiais quaisquer, e verifique experimentalmente quais desses materiais são ferromagnéticos.

Os materiais que não são atraídos fortemente por ímãs, ou seja, materiais **não-ferromagnéticos**, serão chamados, neste curso, de **não-magnéticos**. Com aparelhos mais

2-2

sensíveis, verificaríamos que os materiais não-magnéticos podem ser levemente atraídos por ímãs (paramagnéticos) ou levemente repelidos por ímãs (diamagnéticos).

Somente o ferro, o níquel, o cobalto e algumas ligas que contêm esses elementos são ferromagnéticos, à temperatura ambiente. Entretanto, nem todos os compostos desses elementos são ferromagnéticos. Por exemplo, certos aços inoxidáveis não são ferromagnéticos, apesar de serem constituídos de 18% de cromo, 8% de níquel e 74% de ferro.

# 2. Propriedades magnéticas dos átomos

No modelo atômico da matéria, os elétrons, que são partículas com carga elétrica negativa, se movem em torno do núcleo do átomo. Nesse movimento, cada elétron passa a constituir uma corrente elétrica, que





O ímã da foto é parte de um guindaste utilizado para suspender e transportar pedaços de metal. Entretanto, somente serve para transportar materiais magnéticos.

circula em torno do núcleo como se percorresse uma espira.

Ora, você já sabe que uma corrente elétrica, circulando por uma espira, dá origem a um efeito magnético. Imagine, então, um átomo com um só elétron, girando numa órbita circular.

**Q2** — A partir do que você estudou sobre o efeito magnético da corrente elétrica, qual será a direção norte-sul magnética desse átomo em relação ao plano da órbita do elétron?

Quando um átomo possui muitos elétrons, seu efeito magnético é devido ao efeito conjunto de todos eles.

Em certos átomos esses efeitos somados resultam em um átomo que se comporta como um "ímãzinho"; dizemos que esses átomos são **magnéticos**. Outras vezes os efeitos se cancelam completamente e o átomo **não** se comporta como um ímãzinho; então dizemos que o átomo é **não-magnético**. Este últi-

## RESPOSTAS

**R<sub>1</sub>** -

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

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

mo caso só pode ocorrer se o átomo tem número par de elétrons.

Um corpo qualquer é constituído por um número muito grande de átomos, cujas direções norte-sul estão, em geral, distribuídas ao acaso (figura 1). É de se esperar, portanto, que esse corpo não constitua um ímã. Se, por outro lado, um material apresenta um grande número de átomos com orientações norte-sul aproximadamente concordantes (e dessa maneira as orientações atômicas não mais se distribuem ao acaso), o conjunto se comporta como um ímã (figura 2); os efeitos magnéticos dos átomos se somam, de forma semelhante à que você verificou que acontece com ímãs.

**Q3** — Qual deve ser a interação entre duas amostras de materiais nos quais as orientações dos átomos estão distribuídas ao acaso?

O comportamento magnético de um corpo depende, então, da disposição das orientações de seus pequenos "ímãs" atômicos.



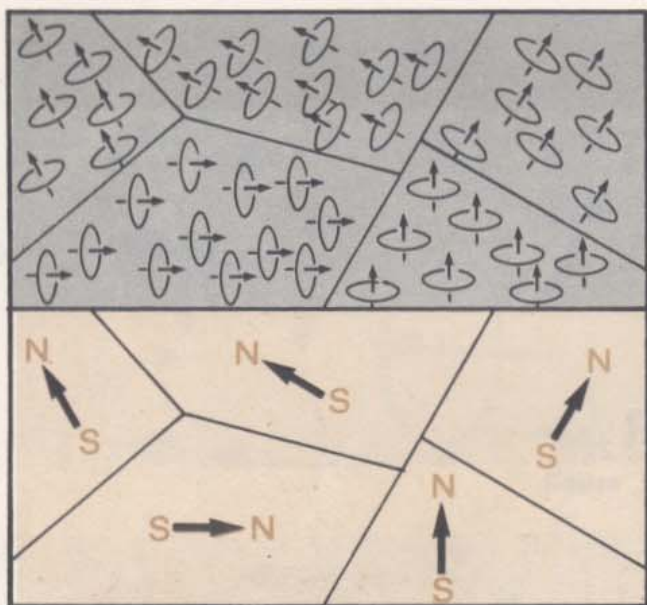


figura 3 — Representações esquemáticas de pedaço de um material que tem 5 domínios. As flechas da figura (b) representam as orientações dos domínios.

### 3. Domínios magnéticos

O fato de um material possuir átomos magnéticos não implica necessariamente que ele possa ser atraído por um ímã. Os átomos podem apresentar certos efeitos magnéticos, mas a orientação dos ímãzinhos atômicos é desordenada devido à agitação a que estão sujeitos os átomos do material. Dessa maneira, o efeito magnético resultante é nulo.

Numa substância ferromagnética há regiões em que todos os átomos apresentam magnetização com orientação aproximadamente igual (figura 3a).

Uma região na qual os ímãzinhos atômicos estão alinhados é chamada **domínio magnético**. Num material ferromagnético há, geralmente, muitos domínios, cada um com uma orientação magnética, não necessariamente concordante com as orientações dos demais domínios (figura 3b). Portanto, o que diferencia os materiais ferromagnéticos dos não-magnéticos é a existência ou não de domínios\*.

O efeito magnético que se observa num determinado material é resultante dos efei-

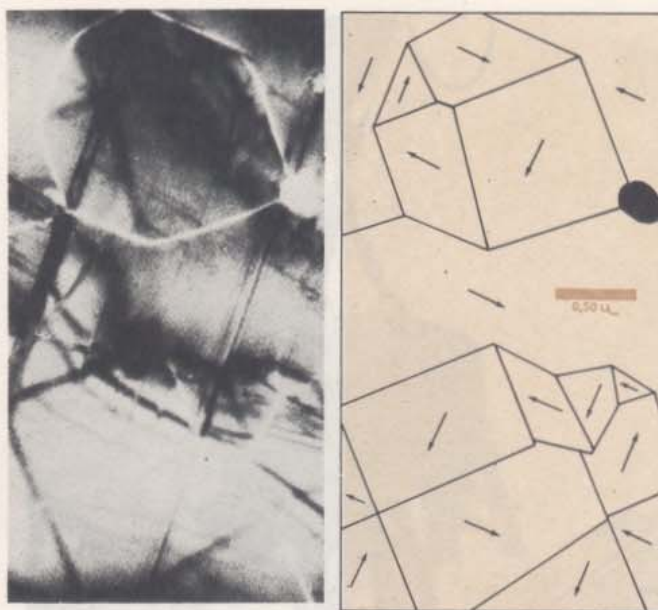


figura 4 — A foto mostra, com grande ampliação, os domínios magnéticos numa lâmina de cobalto (o segmento  $\mu$  indicado corresponde a  $0,5 \times 10^{-4}$  cm no cristal). No esquema estão indicados os contornos dos domínios magnéticos do material e suas orientações; as flechas representam a direção de magnetização de cada domínio.

tos de todos os domínios que ele possui. Quanto maior for o domínio, maior será seu efeito. Quando dois domínios têm orientações opostas, o efeito é o resultado da diferença entre ambos, podendo chegar a anular-se; quando a orientação não é oposta, seus efeitos se somam. Quanto mais domínios estiverem alinhados numa mesma direção, maior será o efeito magnético do material.

Dizemos que um material está **magnetizado** quando o número de domínios alinhados numa direção é muito maior do que em qualquer outra direção.

Ao se aproximar um ímã de um material que tenha domínios magnéticos, as orientações dos domínios tendem a se alinhar na direção norte-sul do ímã, e, dessa forma, o material passa também a constituir um ímã. Quando o material é afastado do ímã, alguns

\* Existem certas forças, entre os átomos, capazes de ordenar as orientações. Essas forças determinam não só a distância entre os átomos, mas também a orientação deles em relação aos seus vizinhos. Quando essas forças tendem a orientar átomos vizinhos cujas direções norte-sul são concordes, obtemos materiais ferromagnéticos. São essas forças, em última análise, que dão ao corpo a possibilidade de se magnetizar. Entretanto, nem todos os materiais cujos átomos possuem propriedades magnéticas são ferromagnéticos, pois, devido à disposição dos átomos, essas forças não são suficientes para orientá-los (criar domínios), como, por exemplo, no óxido de ferro (ferrugem), que é não-magnético.



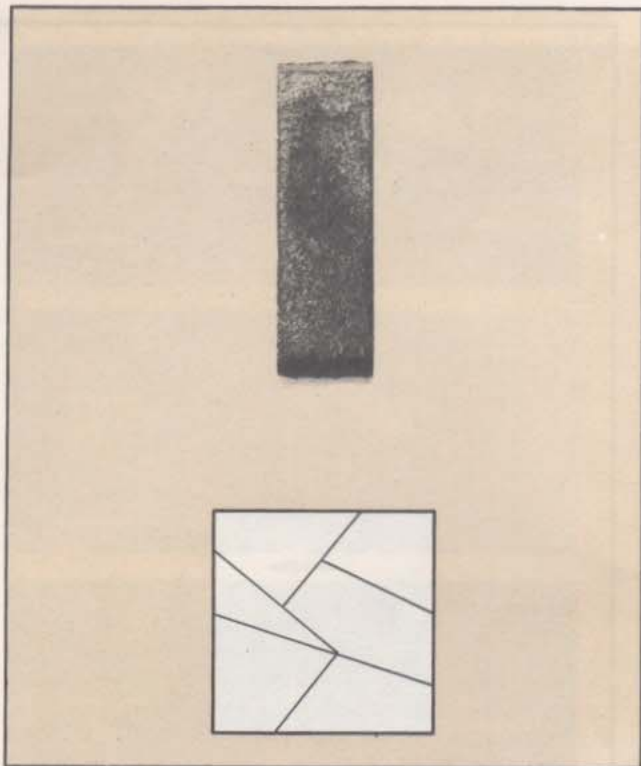


figura 5

dos domínios voltam à situação original; outros, contudo, permanecem alinhados (figura 4).

**Q4** — Indique, na figura 5, as orientações dos domínios magnéticos.

Você vai agora verificar experimentalmente o processo de orientação e desorientação dos domínios magnéticos de um material ferromagnético, submetido à influência de um ímã.

Segure um prego em uma das mãos e encoste um de seus extremos a um dos pólos de um ímã de barra. Aproxime um segundo prego da extremidade livre do primeiro (veja a figura 6).

**Q5** — Por que o segundo prego fica suspenso?

**Q6** — Afaste vagarosamente o ímã do conjunto, sem largar o prego. O que acontece com o prego que estava suspenso, e por quê?

**Q7** — Explique o que ocorreu com os domínios magnéticos dos dois pregos no decorrer de toda a experiência.

Discuta com seu grupo e com seu professor as respostas **R1** a **R7**.

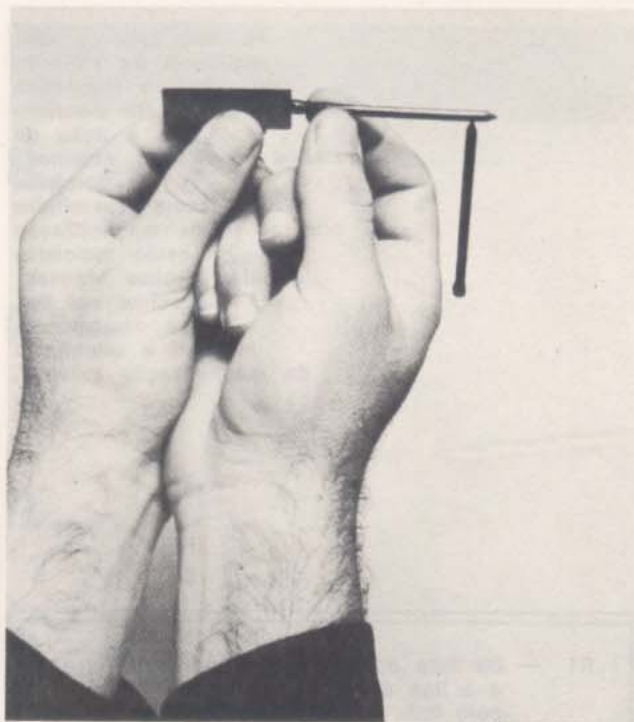


figura 6

## RESPOSTAS

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

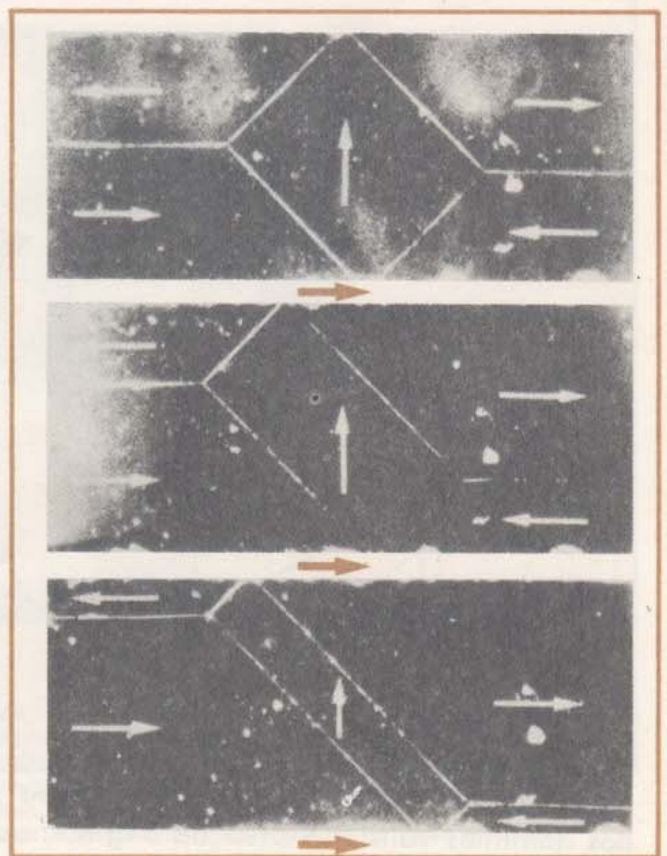
**R<sub>6</sub>** -

**R<sub>7</sub>** -

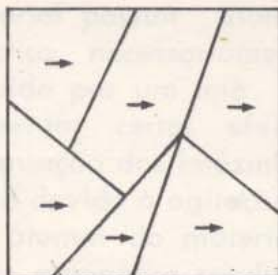


Ao lado aparece uma seqüência da variação da estrutura magnética de um filete de ferro sob a ação de efeitos magnéticos externos.

Os domínios aparecem bem nítidos e suas orientações de magnetização estão indicadas pelas flechas brancas. As flechas em cor, abaixo da amostra, indicam a orientação da magnetização externa.



- R1 — Da lista apresentada, somente o ferro e a liga de níquel-cromo são atraídos pelo ímã. Assim, das substâncias citadas, apenas essas são ferromagnéticas.
- R2 — A direção N—S do átomo será perpendicular ao plano da órbita do elétron.
- R3 — O efeito magnético resultante será nulo, devido à desordem das orientações atômicas.
- R4 — Uma possível orientação dos domínios é a seguinte:



- R5 — Quando o primeiro prego é aproximado do ímã, ele passa, também, a constituir um ímã, pois seus domínios magnéticos se orientam. Nessas condições, é capaz de atrair o segundo prego, que, por sua vez, também fica magnetizado.
- R6 — O segundo prego cai. Ao se afastar o ímã, diminui a magnetização dos pregos e, como consequência, não há mais atração suficiente para manter o segundo prego suspenso.
- R7 — Encostando o primeiro prego no ímã, seus domínios magnéticos se alinham e ele passa a constituir um ímã para o segundo prego, cujos domínios também se alinham. Dessa maneira, os pregos passam a se atrair. Afastando-se o ímã, as orientações dos domínios (ou de uma parte deles) voltam a se dispor ao acaso, o que causa uma diminuição na magnetização dos dois pregos.

## 4. Magnetização e desmagnetização

Para alterar a magnetização de uma substância ferromagnética, é necessário rearranjar convenientemente os seus domínios. Como você verificou na seção anterior, a proximidade de um ímã pode alterar o estado de magnetização de um corpo.

Você vai agora realizar uma experiência, para verificar como se pode magnetizar e desmagnetizar um material.

Aproxime um pequeno pedaço de níquel-cromo (que é um material ferromagnético) de um dos pólos de um ímã. Aproxime-o, depois, da bússola.

**Q8** — Qual o efeito que você notou? Por que ele se manifestou?

Tomando o cuidado de segurar o pedaço de níquel-cromo pela mesma extremidade que anteriormente, aproxime-o da extremidade oposta do ímã. Depois, leve-o à bússola.



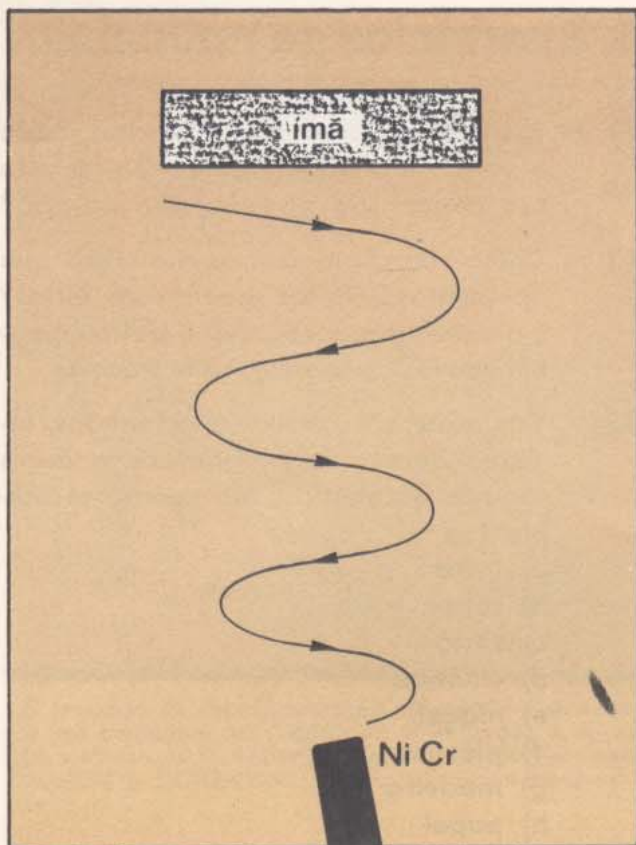


figura 7

**Q9** — A agulha da bússola é desviada? O desvio se dá no mesmo sentido que anteriormente?

Compare os resultados a que você chegou nas questões 8 e 9 com os obtidos por seus colegas.

Os resultados das duas últimas experiências sugerem um processo para efetuar a desmagnetização de um corpo. Você vai agora aplicá-lo para desmagnetizar o níquel-cromo.

Segure um ímã de barra com uma das mãos e o níquel-cromo com a outra; aproxime o níquel-cromo de uma das extremidades do ímã, sem tocá-la. A seguir, execute com o níquel-cromo um movimento de vaivém entre as duas extremidades do ímã, aumentando aos poucos a distância entre o níquel-cromo e essas extremidades; ao mesmo tempo, afaste vagarosamente as duas mãos.

Esse procedimento está esquematizado na figura 7.

**Q10** — Aproxime o níquel-cromo da bússola. A agulha é desviada?

## RESPOSTAS

**R<sub>8</sub>** -

**R<sub>9</sub>** -

**R<sub>10</sub>** -

**R<sub>11</sub>** -

**Q11** — Utilizando o conceito de domínios magnéticos, explique o que ocorreu nesse processo de magnetização e desmagnetização.

Levando em conta que os átomos dos materiais podem ser magnéticos ou não e que são capazes de formar domínios, foi possível chegar a uma explicação do comportamento dos ímãs e dos materiais magnéticos e não-magnéticos.

Além das experiências que você realizou, muitas outras experiências precisas foram feitas com vários materiais e estão de acordo com a idéia de **domínio** que é universalmente aceita.

Você poderá encontrar ainda outras confirmações do conceito de **domínio** nos textos complementares.

O estudo das propriedades magnéticas dos materiais tem grande importância prática, pois esses materiais serão usados na construção de motores elétricos, transformadores e ímãs. Além disso, as propriedades magnéticas estão ligadas à estrutura atômica e, portanto, seu estudo traz informações importantes à teoria atômica da matéria.



- R8 — A agulha da bússola é desviada, indicando que o níquel-cromo está magnetizado.
- R9 — A agulha da bússola é desviada, mas no sentido oposto ao que se verificou anteriormente. Isso indica que o pedaço de níquel-cromo se magnetizou com orientação oposta à anterior.
- R10 — É possível que ainda reste alguma magnetização no níquel-cromo; nesse caso, a agulha da bússola deve sofrer um pequeno desvio. Repetindo a experiência com mais cuidado, é possível desmagnetizar o material quase completamente.
- R11 — Aproximando o níquel-cromo de um dos pólos do ímã, as orientações de seus domínios se alinham. Afastando-o do ímã, alguns domínios continuam alinhados, e ele fica um pouco magnetizado. Aproximando o níquel-cromo da outra extremidade do ímã, acontece o mesmo, mas a magnetização tem orientação oposta. Com o movimento de vaivém, a orientação da magnetização do níquel-cromo vai-se alterando; ao mesmo tempo, a magnetização vai-se tornando mais fraca, pois cada vez que se completa um vaivém, um número menor de domínios magnéticos fica orientado segundo uma direção preferencial. Ao fim do processo, os domínios estão orientados em todas as direções.

figura 8

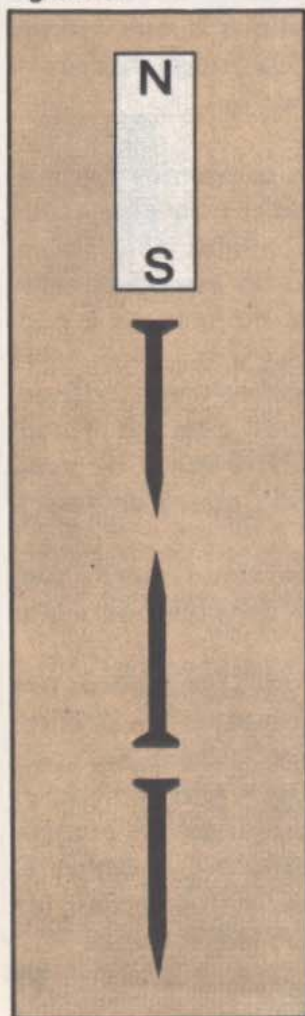
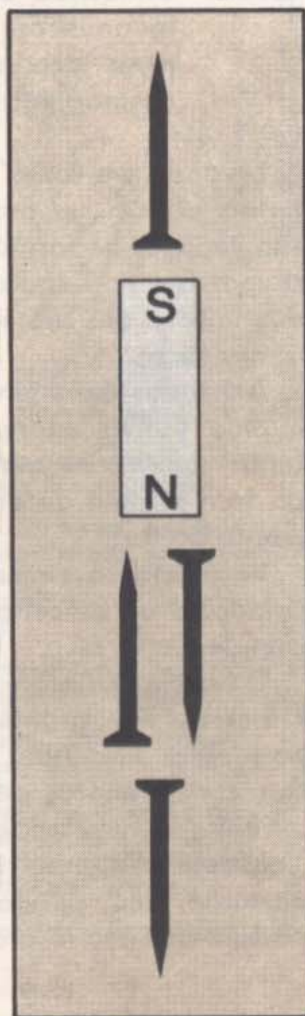


figura 9



## 5. Exercícios de aplicação I

- E1 — Por que nem todos os materiais, cujos átomos individualmente têm efeito magnético, são atraídos por um ímã?
- E2 — Como são chamados os materiais que apresentam efeitos magnéticos fortes? E os que não apresentam efeitos magnéticos (ou os apresentam fracos)?
- E3 — Dos materiais abaixo relacionados, indique quais são magnéticos e quais são não-magnéticos em condições ambientes:
- ferro
  - cobre
  - zinco
  - chumbo
  - níquel
  - plástico
  - madeira
  - papel
  - água

Cite outros materiais que você conhece e classifique-os em magnéticos ou não-magnéticos.

- E4 — Como foi descrita a estrutura dos materiais magnéticos de forma a poder explicar os efeitos de um ímã?
- E5 — Explique a alteração que ocorre na estrutura de um pedaço de ferro que o faz ser atraído por um ímã.
- E6 — Três pregos são alinhados com um ímã de barra (figura 8). Indique os pólos magnéticos que aparecem nas extremidades de cada prego nos seguintes casos:
- os pregos são de ferro;
  - os pregos são de latão.
- E7 — Alguns pregos estão colocados próximos de um ímã de barra (figura 9). Indique os pólos magnéticos que aparecem nas extremidades de cada prego.
- E8 — Explique por que o pedaço de níquel-cromo perdeu sua magnetização com a experiência que você realizou, afastando-o do ímã num movimento de vaivém.





O processo de desmagnetização por choques mecânicos já era conhecido no século XVI. A ilustração é do livro *De Magnete*, de W. Gilbert, publicado em 1600. As palavras **AUSTER** e **SEPTENTRIO** indicam a direção norte-sul da Terra.

## 6. Outras formas de desmagnetizar

### Ações mecânicas

Outra forma de desmagnetizar alguns materiais é o choque mecânico.

Magnetize o pedaço de níquel-cromo, aproximando-o do ímã. Verifique se ele está ou não magnetizado.

Segurando-o por uma ponta, golpeie algumas vezes a extremidade oposta com um lápis. Agora, aproxime o níquel-cromo da bússola.

**Q12** — O níquel-cromo continua magnetizado?

**Q13** — Explique o que teria ocorrido neste processo, usando o conceito de domínio magnético.

Assim, você poderá agora magnetizar e desmagnetizar o níquel-cromo tantas vezes quantas quiser, alinhando ou desalinhando seus domínios.

Nem todos os materiais, quando magnetizados, podem ser desmagnetizados tão facilmente como o níquel-cromo. Um ímã como o seu, por exemplo, não perde toda sua magnetização com a simples pancada de lápis. Entretanto, é importante tomar cuidado no manuseio de um ímã, pois, além de ser frágil, ele pode perder um pouco de sua magnetização se for submetido a um choque mecânico.

## RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

R<sub>1</sub> -

R<sub>2</sub> -

R<sub>3</sub> -

R<sub>4</sub> -

R<sub>5</sub> -

R<sub>8</sub> -

## RESPOSTAS

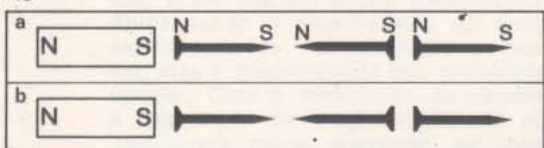
R<sub>12</sub> -

R<sub>13</sub> -

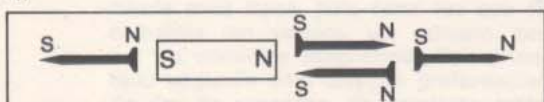


- R1 — Porque nem todos os materiais possuem domínios magnéticos.
- R2 — Materiais que apresentam efeitos magnéticos fortes são chamados magnéticos e os outros são chamados de materiais não-magnéticos.
- R3 — São materiais magnéticos: a) e e).
- R4 — Os materiais magnéticos possuem domínios que, sob certas condições, podem orientar-se preferencialmente num determinado sentido. Teremos, então, um ímã.
- R5 — Um pedaço de ferro pode possuir domínios orientados ao acaso. Quando o aproximamos de um ímã, o campo magnético deste orienta os domínios, fazendo com que o pedaço de ferro também se torne um ímã.

R6 —

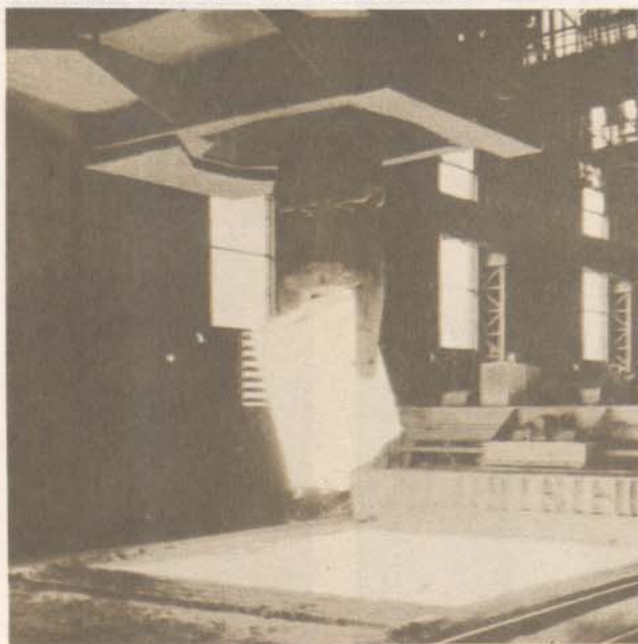


R7 —



- R8 — Quando se aproxima o níquel-cromo de um pólo do ímã, um certo número de domínios é orientado. Quando o níquel-cromo se aproxima do outro pólo, o sentido de orientação se inverte. Quando afastamos o níquel-cromo num movimento de vaivém, o número de domínios que se orienta em cada pólo é cada vez menor, até estarem totalmente desorientados quando o níquel-cromo se encontra longe do ímã.

Lingotes de ferro, quando saem do forno a altíssimas temperaturas, não podem estar magnetizados.



2-10

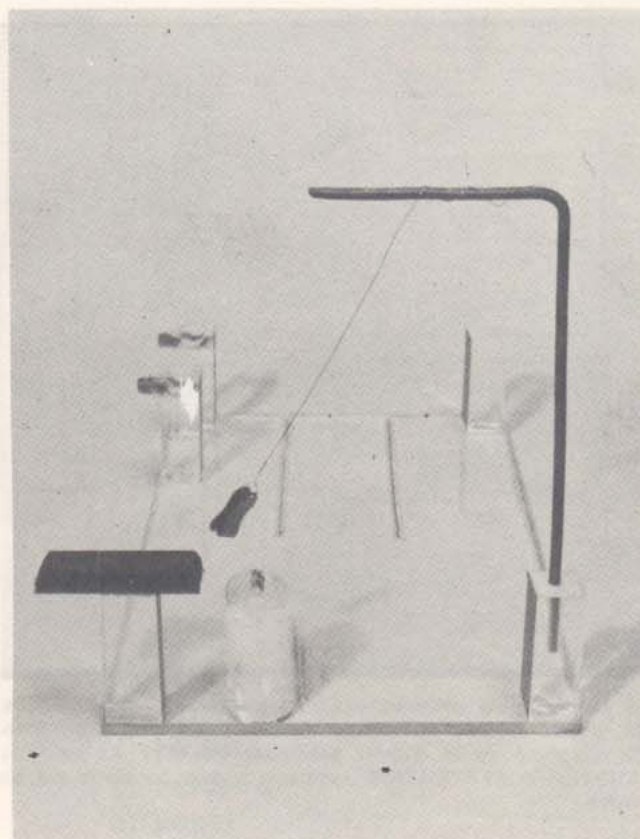


figura 10

### Ações térmicas

Outro processo para desmagnetizar um material é o aumento da temperatura. Para ver como isso funciona, você vai realizar uma experiência em que um pedaço de níquel-cromo é desmagnetizado quando se eleva sua temperatura.

Esta experiência poderia ser feita nos mesmos moldes que as executadas para evidenciar o processo de desmagnetização por choques mecânicos e por aproximação de ímãs.

Entretanto, neste caso, você vai utilizar um dispositivo que tornará a experiência um pouco mais complexa e interessante que as anteriores.

Amarre um pedaço de níquel-cromo com um fino fio metálico e suspenda-o no suporte, como mostra a figura 10.

Coloque o ímã sobre o suporte, de forma que o níquel-cromo seja atraído por ele; o níquel-cromo não deve tocar o ímã, mas ficar a uma distância de mais ou menos 0,5 cm (veja a figura 10).

**Q14** — Por que o fio que suspende o níquel-cromo fica inclinado, fora da vertical?

**Q15** — Você obteria o mesmo resultado se suspendesse no fio um pedacinho de latão? Por quê?

Acenda uma vela embaixo do níquel-cromo, para aquecê-lo, e espere uns 20 segundos. É importante que a chama da vela não oscile muito.



MATERIAL	TEMPERATURA °C
disprósio	-168
gadolínio	16
níquel-cromo	300
níquel	358
magnetita	585
ferro	770
cobalto	1 140

tabela 1

- Q16** — O que você observa quando o níquel-cromo se aquece?
- Q17** — Deixe a experiência montada, isto é, mantenha a vela, o ímã e o fio com níquel-cromo nas mesmas posições em que ficaram após o níquel-cromo ter-se aquecido; descreva o que ocorre.
- Q18** — Enquanto aquecido, o níquel-cromo tem comportamento semelhante ao do latão?
- Q19** — A que você atribui o fato da atração do ímã pelo níquel-cromo desaparecer quando este último é aquecido?

Acima de uma determinada temperatura, o níquel-cromo deixa de ser ferromagnético. Essa temperatura, chamada **temperatura ou ponto de Curie**, é diferente para cada material.

A tabela 1 dá valores da temperatura de Curie para alguns materiais. Um corpo só pode ser magnetizado se sua temperatura estiver abaixo da temperatura de Curie. Acima do ponto de Curie, o material torna-se não-magnético.

Para temperaturas muito baixas, próximas do zero absoluto — 273°C, as propriedades magnéticas dos materiais, assim como as elétricas, apresentam grandes alterações; esses fenômenos são o objeto de estudo da Criogenia (veja a "Leitura Suplementar" do capítulo 8, **Eletricidade**, PEF).

## RESPOSTAS

**R<sub>14</sub>** -

**R<sub>15</sub>** -

**R<sub>16</sub>** -

**R<sub>17</sub>** -

**R<sub>18</sub>** -

**R<sub>19</sub>** -



- R12 — Você deve ter verificado que o níquel-cromo perdeu a magnetização. Se a agulha da bússola ainda se defletir um pouco, você pode tornar essa deflexão praticamente nula, golpeando a peça um pouco mais.
- R13 — Ao golpear o material, seus domínios tendem a se distribuir de modo que as orientações magnéticas fiquem desordenadas; o efeito magnético resultante é, então, nulo.
- R14 — O níquel-cromo é um material ferromagnético; assim, o ímã o atrai, mantendo o fio em posição inclinada com relação à vertical.
- R15 — Não. Com o latão o resultado não seria o mesmo, porque o latão não é atraído por um ímã.
- R16 — Ao se aquecer, o níquel-cromo deixa de ser atraído pelo ímã e o fio volta à posição vertical.
- R17 — Depois de alguns segundos em que o fio de sustentação permaneceu na posição vertical, o níquel-cromo volta a ser atraído pelo ímã. Com isso, é novamente aquecido, deixa de ser atraído, e o fio volta à posição vertical. Resfriando-se o níquel-cromo é outra vez atraído etc.
- R18 — Sim. Quando aquecido, o níquel-cromo perde a propriedade de ser atraído pelo ímã, passando a se comportar como o latão.
- R19 — No início da experiência, o ímã atrai o níquel-cromo, porque alinha as orientações dos seus domínios magnéticos. Com o aquecimento, os domínios magnéticos são destruídos, o que faz com que o material se torne não-magnético. **Comentário:** Quando o material atinge a temperatura de Curie, sua estrutura atômica sofre alterações tais que as forças entre os átomos de um domínio são insuficientes para manter os átomos vizinhos com orientações concordes. Dessa maneira, os domínios deixam de existir (veja a nota de rodapé na pág. 2-4).

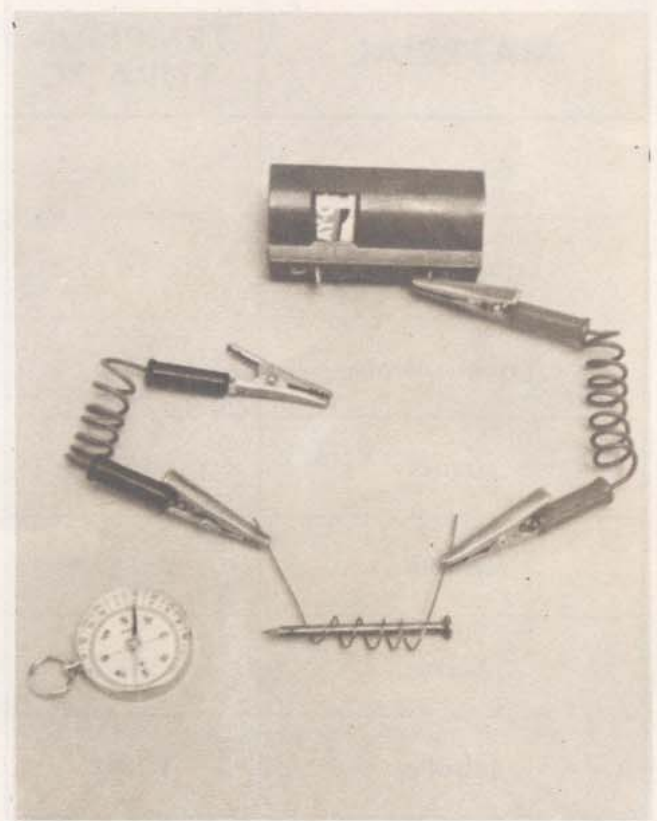


figura 11

## 7. Ímãs e eletroímãs

Os materiais ferromagnéticos prestam-se à construção de ímãs. Quando magnetizados por influência de um outro ímã, por exemplo, tal magnetização se mantém durante certo tempo. Quando a magnetização se mantém por tempo muito grande, e não se altera facilmente por ações externas, temos um ímã chamado **permanente**.

No capítulo anterior, você viu que um solenóide, quando percorrido por corrente elétrica, constitui um ímã; você viu também que o solenóide perde essa propriedade assim que a corrente deixa de circular.

Existe uma forma de intensificar a influência que um solenóide pode exercer sobre uma bússola. Você fará uma experiência para verificar esse fato.

Construa um solenóide, enrolando um fio condutor num lápis. Dê cerca de cinco voltas com o fio; em seguida, retire o lápis e coloque a bússola próxima a uma das extremidades do solenóide. Verifique o desvio sofrido pela agulha, quando o solenóide é ligado a uma pilha.

Tome um prego e, usando os métodos que você já conhece, desmagnetize-o ao máximo.

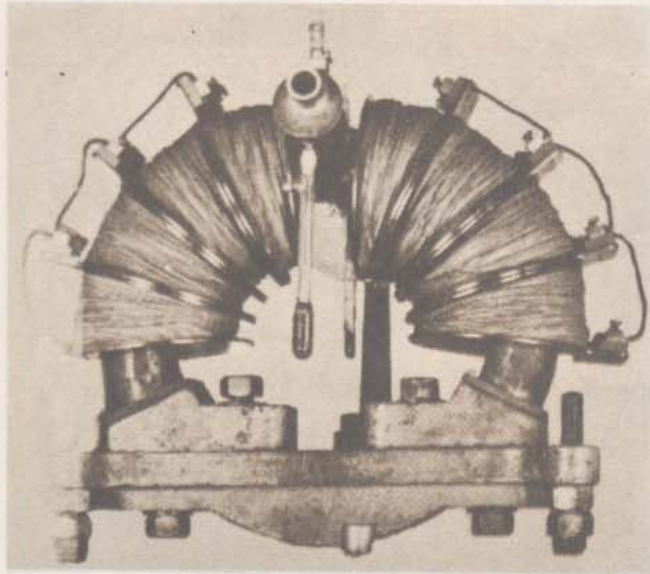
Introduza um prego de ferro dentro do solenóide. Verifique novamente o desvio sofrido pela agulha da bússola, quando passa corrente pelo solenóide. Veja a figura 11.



## RESPOSTAS

R<sub>20</sub> -

R<sub>21</sub> -



Este eletroímã foi usado no começo do século para defletir um raio de átomos carregados.

**Q20** — A introdução do ferro modificou o efeito magnético do dispositivo?

Desligue a pilha e verifique, com o auxílio da bússola, o estado de magnetização do prego.

**Q21** — O prego perdeu completamente a magnetização?

O ímã constituído por um solenóide que contém um núcleo de ferro é chamado **eletroímã**; esse dispositivo é utilizado em grande número de aparelhos elétricos em que se quer obter movimento de rotação de um eixo (como em liquidificadores, batedeiras, bombas elétricas etc.).

## 8. Exercícios de aplicação II

**E9** — Sabe-se que à temperatura de 1 000°C um pedaço de cobalto pode ser magnetizado e um pedaço de ferro não. Por quê?

**E10** — Por que o aquecimento pode desmagnetizar uma substância?

**E11** — A que é devido o magnetismo residual de um eletroímã?

**E12** — Sabe-se que é possível desmagnetizar um material com choques mecânicos. Explique o que ocorre com os domínios do material nesse processo.

## RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

R<sub>9</sub> -

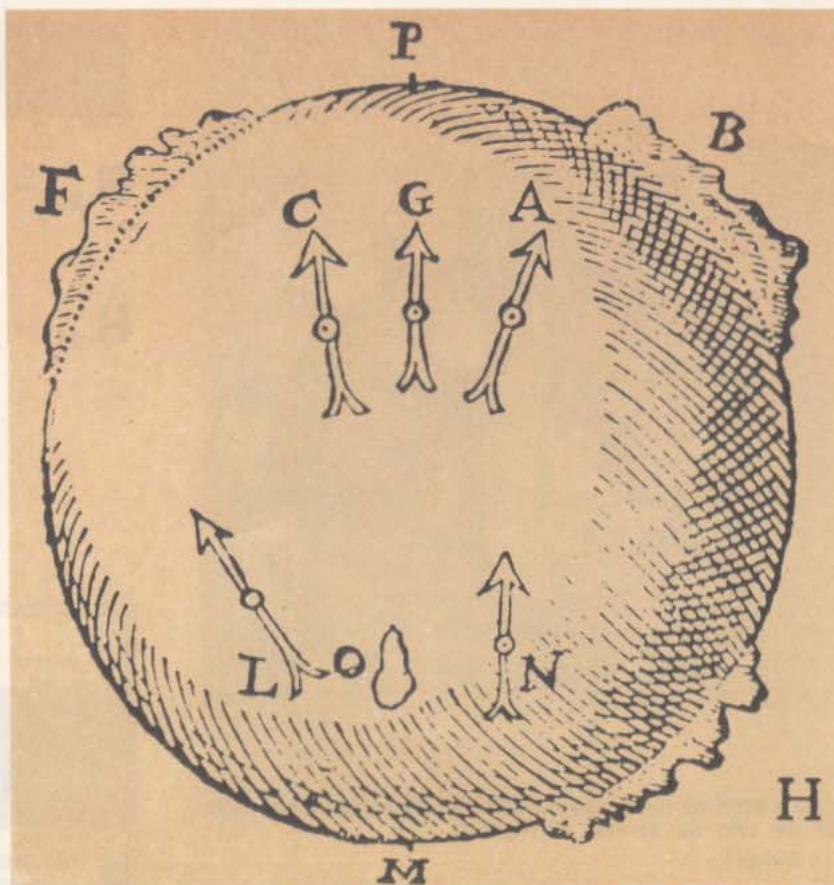
R<sub>10</sub> -

R<sub>11</sub> -

R<sub>12</sub> -



As grandes navegações do século XVI possibilitaram determinar a direção assumida pela agulha da bússola em vários pontos da Terra. Isso contribuiu para o estudo do magnetismo terrestre. Em 1600, William Gilbert publicou o desenho ao lado em seu livro *De Magnete*.



## 9. Magnetismo da Terra

R20 — Sim.

R21 — Não, mas o efeito é muito menor do que quando estava dentro do solenóide, ligado à pilha.

R9 — Porque o ponto de Curie do ferro é inferior a  $1\ 000^{\circ}\text{C}$  e o do cobalto é superior a esta temperatura.

R10 — Porque, pela agitação térmica dos átomos, os domínios são destruídos.

R11 — O magnetismo residual de um eletroímã é devido ao fato de alguns domínios continuarem orientados depois de parar a corrente elétrica.

R12 — Pelos choques mecânicos, os domínios se desorientam.

Sabe-se, há centenas de anos, que a Terra se comporta como um gigantesco ímã, mas uma pergunta continua em aberto: por que a Terra tem essa propriedade?

Várias têm sido as tentativas de explicação. Uma hipótese muito antiga defendia que uma grande quantidade de material magnético (magnetita) deveria estar localizada em alguma região da Terra e produzir tal efeito.

Já no século XVI, Gilbert preocupou-se com o estudo do magnetismo terrestre. Baseando-se na orientação assumida pela bússola em vários pontos da Terra, o que podia ser agora conhecido, graças às grandes navegações, concluiu que o magnetismo terrestre poderia ser explicado por uma distribuição homogênea de magnetita em toda a Terra. Sua hipótese era aceitável, porque, na verdade, o comportamento magnético de uma esfera uniformemente magnetizada equivale ao da Terra.

Outras explicações para a origem do magnetismo terrestre surgiram, a partir de estudos do matemático alemão Gauss: ele concluiu, de seus estudos, que a fonte do magnetismo terrestre estava no interior da Terra.

Vejamos, então, algumas informações sobre a estrutura da Terra, para entender seu magnetismo.



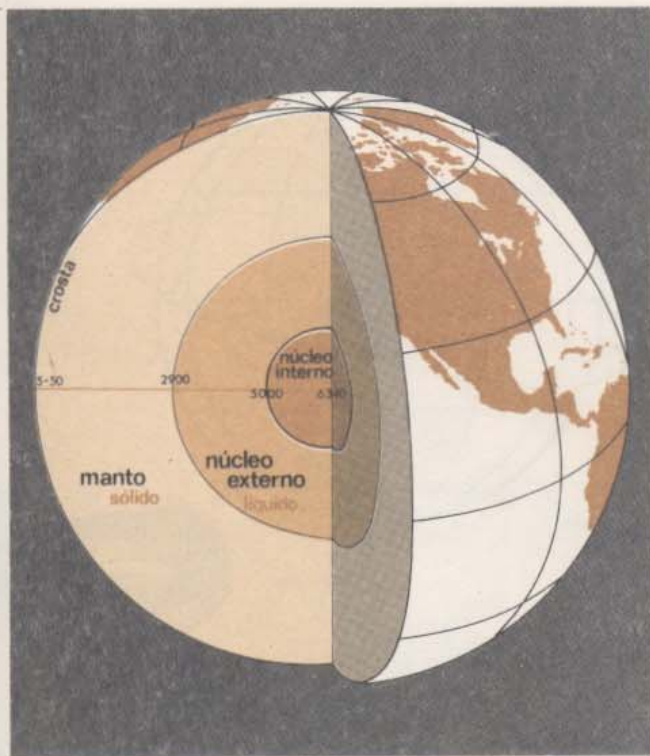


figura 12 — Camadas da Terra em escala. A espessura da crosta, que varia de 5 a 50 km, é um risco de lápis comparada com as das outras camadas. Tem-se acesso direto somente ao material da crosta, pois minas profundas e sondas geofísicas atingem menos de 10 km.

A estrutura da Terra é estudada com dados colhidos na propagação de abalos sísmicos. As ondas sísmicas provenientes de um terremoto são registradas por sismógrafos de observatórios situados em vários pontos da Terra e a análise da propagação dessas ondas no interior da Terra permite conhecer a variação de propriedades físicas (densidade, elasticidade, estado físico da matéria) em função da profundidade.

A partir desses estudos, concluiu-se que a Terra é formada por camadas (veja a figura 12).

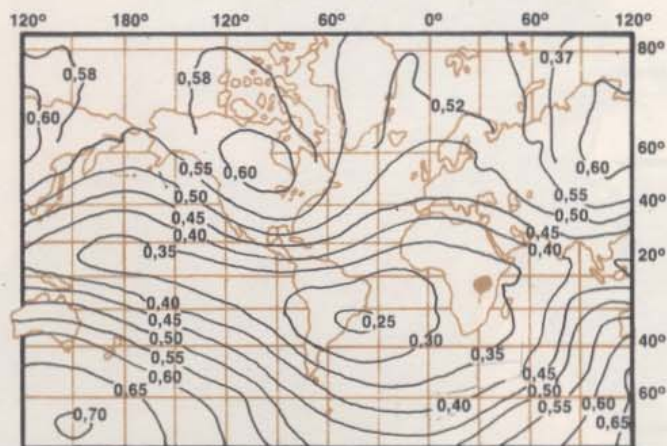
Em qual dessas camadas estaria o fator responsável pelo magnetismo da Terra?

Pelo que se sabe das escavações realizadas na crosta terrestre, a quantidade de material magnetizado da Terra é insuficiente para explicar o seu magnetismo.

Além disso, observa-se que o magnetismo terrestre quase não se altera em lugares cuja superfície tem uma constituição ou uma forma diferente. Isso leva a concluir que forma e quantidade de matéria não correspondem a diferentes efeitos magnéticos.

Esses fatos, associados a outras informações, permitem concluir que o magnetismo terrestre tem sua origem principal no interior da Terra (núcleo) e não na sua crosta ou no manto.

Entretanto, há um outro fato que aparentemente contraria essa hipótese. Supõe-se que a



As linhas da figura ligam pontos da Terra em que o efeito magnético tem igual intensidade. Note que as linhas passam de grandes profundidades para grandes altitudes, sem sofrer desvios. A unidade dos valores indicados é o "gauss", que será definido no capítulo 3.

temperatura do núcleo deva ser altíssima, uma vez que a temperatura aumenta à medida que se desce em uma mina. Dessa forma, as temperaturas, no núcleo, deveriam chegar a mais de 4 000 graus, o que eliminaria a possibilidade de existência de materiais ferromagnéticos nessa região.

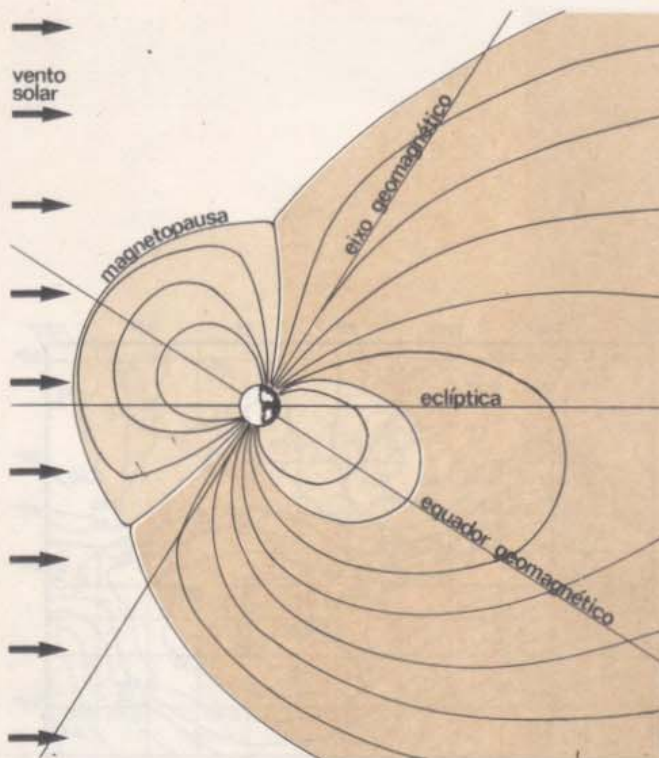
Até hoje não se sabe exatamente como o magnetismo terrestre é gerado, porque o núcleo da Terra, onde devem ocorrer os processos que dão origem a esse magnetismo, ainda é muito mal conhecido. Desconhece-se a sua constituição física e química e o comportamento dos materiais nas condições de temperatura e pressão elevadas aí existentes.

A explicação atual baseia-se em medidas do magnetismo terrestre, obtidas em laboratórios especializados (observatórios geomagnéticos), que existem em vários pontos da Terra.

Os dados experimentais obtidos nos observatórios geomagnéticos são utilizados pelos pesquisadores, que procuram criar modelos capazes de explicar o magnetismo terrestre.

Os modelos atualmente aceitos atribuem o magnetismo da Terra a movimentos da parte líquida do núcleo. Esses movimentos, por sua vez, seriam causados por diferenças de temperatura, de forma semelhante ao movimento que se observa em líquidos numa panela ao fogo.





Até a década de 1950 acreditava-se que o campo magnético terrestre se estendia indefinidamente pelo espaço. Com o advento da era espacial, sondas e satélites permitiram verificar que ele só existe dentro de determinada região, chamada magnetosfera, com uma extensa cauda do lado oposto ao Sol.

O movimento de rotação da Terra orientaria essas correntes internas de forma conveniente, produzindo espiras de corrente, e seus efeitos magnéticos, somados, dariam como resultante o magnetismo da Terra.

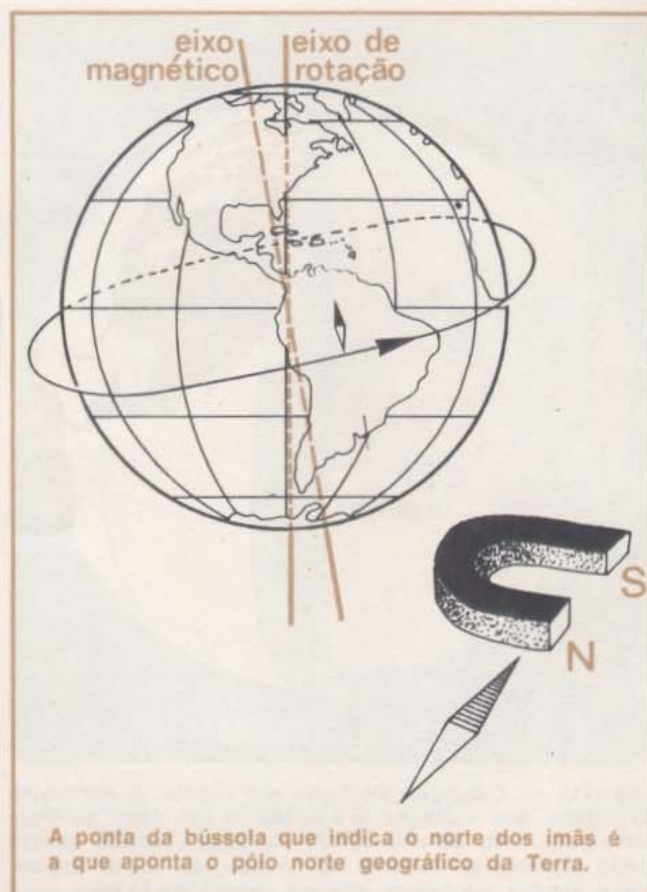
De acordo com os modelos, as espiras de corrente podem aparecer, desenvolver-se e desaparecer. A quantidade e a posição das espiras determinam a maior ou menor intensidade do efeito magnético resultante.

O estudo do magnetismo de rochas permitiu concluir que a intensidade do efeito magnético vem diminuindo nos últimos 1 200 anos. Além disso, mostrou também que, quando a intensidade do magnetismo chega a um mínimo, pode haver uma inversão de polaridade, isto é, o pólo norte pode trocar de posição com o pólo sul.

Fato interessante do magnetismo terrestre é que, atualmente, a direção N—S geográfica não coincide com a N—S magnética (veja a figura 13).

Se imaginássemos a direção N—S do magnetismo terrestre sendo produzida por uma única espira de corrente, essa espira deveria estar localizada conforme indica a figura 13.

Você poderá entender esse fato, se considerar que a orientação das espiras de corrente dada



A ponta da bússola que indica o norte dos ímãs é a que aponta o pólo norte geográfico da Terra.

figura 13

pela rotação da Terra não é perfeita, e o eixo magnético apresenta-se deslocado em relação ao eixo de rotação.

Tem-se observado que a posição dos pólos magnéticos está-se deslocando ao redor dos pólos geográficos. Esse deslocamento é muito lento; uma volta completa do pólo magnético ao redor do pólo geográfico leva cerca de 2 000 anos.


Há outros efeitos que causam alterações no magnetismo terrestre. Por exemplo, há espiras de corrente que circulam na ionosfera\*. Essas correntes são afetadas pela luz, pelas partículas solares e também pelas marés.

Quando aparecem manchas solares, o campo magnético terrestre sofre perturbações, que podem ser observadas nos laboratórios especializados.

O estudo do magnetismo terrestre é um problema aberto em Geofísica. Está relacionado com estudos de Geologia, das propriedades magnéticas de materiais, de Hidrodinâmica (movimento de fluidos), da ionosfera, do Sol, e com outros campos do conhecimento.

\* Ionosfera é a região da atmosfera que está, aproximadamente, a 100 km de altura. Essa região é condutora e está sob baixa pressão.





**A deriva dos continentes  
e os materiais magnéticos**

**Igor Gil Pacca**  
Instituto Astronômico e Geográfico - USP





A fotografia da página anterior foi tirada da nave Gemini II, em setembro de 1966. Ela mostra o golfo de Aden e o Mar Vermelho, um dos mais novos oceanos formado pelo movimento de placas. O esquema ao lado representa essa região antes da separação; repare que as linhas que representam os paralelos e meridianos atuais não coincidem.

# Leitura Suplementar

## A deriva dos continentes e os materiais magnéticos

### 1. A deriva dos continentes

Você já notou como os contornos das costas atlânticas da América do Sul e da África são parecidos? Pois essa semelhança que, de modo geral, existe não só nesse caso, mas também para costas opostas, dos dois lados de cada oceano, atraiu a atenção de um meteorologista alemão chamado Alfred Wegener, no início deste século.

Wegener escreveu um livro chamado **A Origem dos Continentes e dos Oceanos**, publicado em 1915, no qual expôs a sua teoria. Nele Wegener afirma que toda a crosta dos continentes formava inicialmente um supercontinente que se partiu em vários pedaços, dando origem aos continentes e oceanos atuais.

Essa idéia chocou a maioria dos cientistas da época, que criticaram e até ridicularizaram a teoria de Wegener.

Quarenta anos depois, na década de 50, o estudo da magnetização remanescente de rochas (Paleomagnetismo) reabilitou a desmoralizada teoria de Wegener, e introduziu idéias so-

bre movimentos da crosta que estão revolucionando as Ciências da Terra.

Antes de estabelecermos a relação entre deriva continental e magnetismo de rochas, vamos considerar alguns detalhes do processo de magnetização.

### 2. Magnetização remanescente de rochas

Quase todas as rochas contêm minerais magnéticos, isto é, minerais tais como a magnetita e a hematita, que apresentam propriedades de materiais ferromagnéticos.

Consideremos, por exemplo, uma rocha que se forme pela solidificação de lava de um vulcão. Enquanto a temperatura da lava for superior à temperatura de Curie para os minerais magnéticos, ela será não-magnética; quando, ao se resfriar, for atingida a temperatura de Curie, passará a ser ferromagnética.

Ocorrem então interações entre os átomos da rocha, que se organizam em domínios ferromagnéticos, orientados pelo campo magnético externo, que é o campo da Terra.

Assim, a rocha adquire uma "memória" magnética, onde ficam registradas a direção e até a intensidade do campo magnético da Terra, existentes na época em que a rocha se formou.





figura 14



figura 15

### 3. As curvas de deslocamento polar

Sabendo-se a idade de uma rocha\*, pode-se então conhecer a posição em que se encontrava o pólo magnético da Terra com relação à posição daquela rocha na época da sua formação. Basta para isso que se determine a direção atual da sua magnetização remanescente.

Quando se determinam as posições do pólo em várias épocas, com rochas de várias idades, de um mesmo continente, verifica-se que essas posições não coincidem. Elas situam-se ao longo de uma linha que foi chamada de **curva de deslocamento polar** (figura 14).

O campo magnético da Terra é o campo de um dipolo, como o campo de um ímã. O deslocamento polar para a América do Sul poderia significar então que a direção do dipolo tivesse variado no intervalo de tempo indicado na figura 14. Outra possibilidade seria que o dipolo tivesse permanecido com direção fixa, mas a América do Sul tivesse se deslocado em relação ao eixo de rotação da Terra.

\* A idade de uma rocha é determinada pela geocronologia. O processo consiste basicamente em medir quantidades relativas de certos isótopos radioativos de elementos constituintes de minerais e de seus produtos de decaimento.

O campo magnético da Terra é gerado por movimentos de líquido condutor no núcleo da Terra. Qualquer movimento que ali ocorra é ordenado e comandado pelo movimento de rotação da Terra e o resultado disso é que o eixo do dipolo geomagnético está hoje e sempre deve ter estado próximo ao eixo de rotação da Terra.

É mais razoável supor então que a curva de deslocamento polar indique que a América do Sul tenha-se deslocado com relação ao pólo.

Um dipolo tem um só pólo sul e um só pólo norte, mas as curvas de deslocamento polar para a América do Sul e para a África não coincidem! (figura 14)

Se elas não coincidem é porque deve ter havido movimento relativo entre a África e a América do Sul. Note entretanto que as curvas, embora não coincidindo, são em parte semelhantes.

Superpondo as partes semelhantes, obtém-se a figura 15. As partes das curvas entre 350 milhões de anos e aproximadamente 200 milhões de anos antes da época atual coincidem. As partes para épocas mais recentes não só não coincidem como são opostas.

Este resultado significa que, até aproximadamente 200 milhões de anos atrás, América do



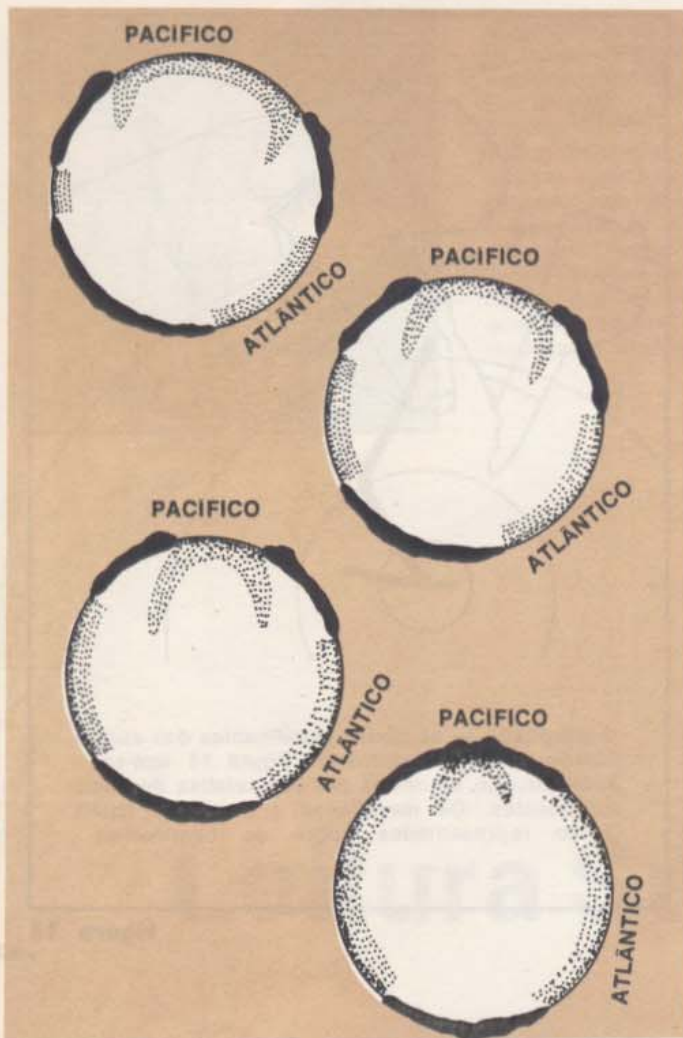


figura 16 a

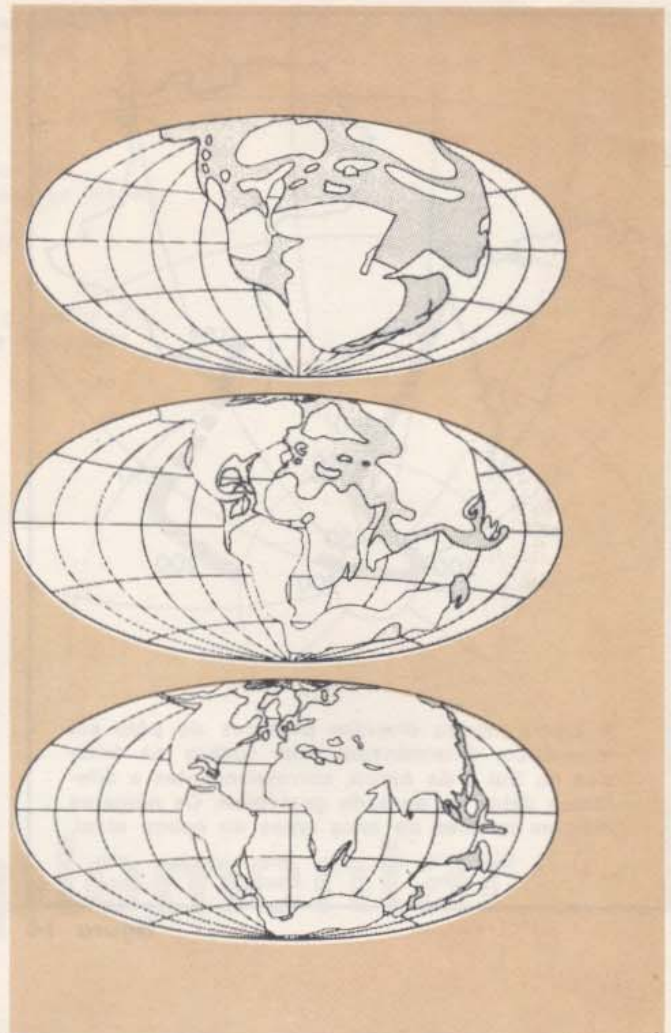


figura 16 b

A crosta terrestre está em constante modificação desde a formação do planeta. Há indícios de que, há milhões de anos, os continentes estavam todos reunidos num único bloco (Pangéia). Posteriormente, o movimento de placas separou os continentes até a situação atual. A tectônica de placas prevê um afastamento cada vez maior entre a América do Sul e a África, comprimindo o oceano Pacífico e alargando o Atlântico.

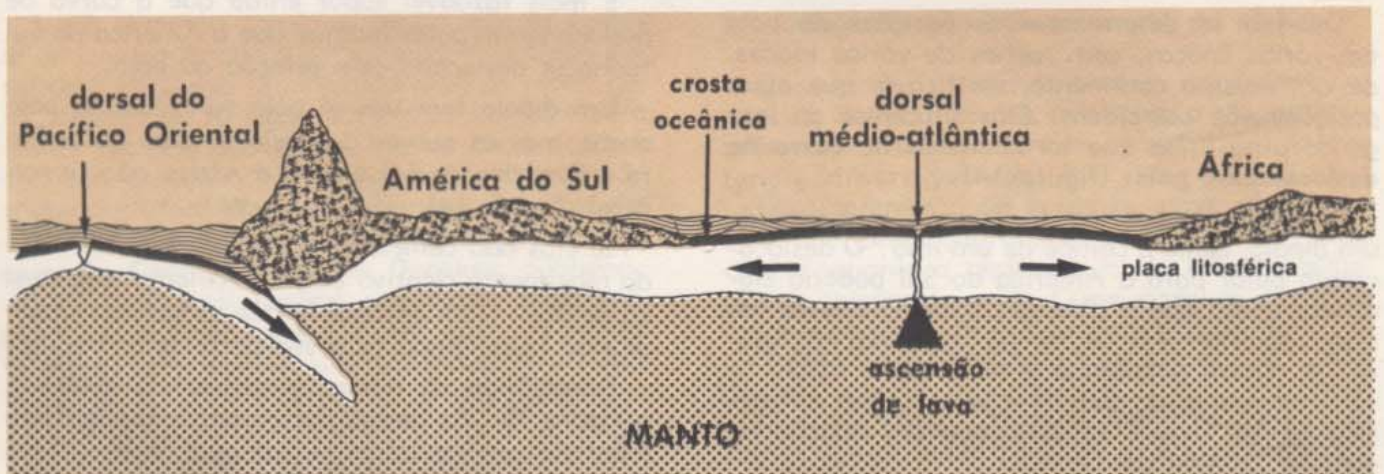


figura 16 c

O material proveniente do manto afasta as placas e forma crosta nova (dorsais), enquanto em outros lugares as placas são comprimidas, entram uma por baixo da outra (fossas oceânicas) e dão origem a montanhas altíssimas.



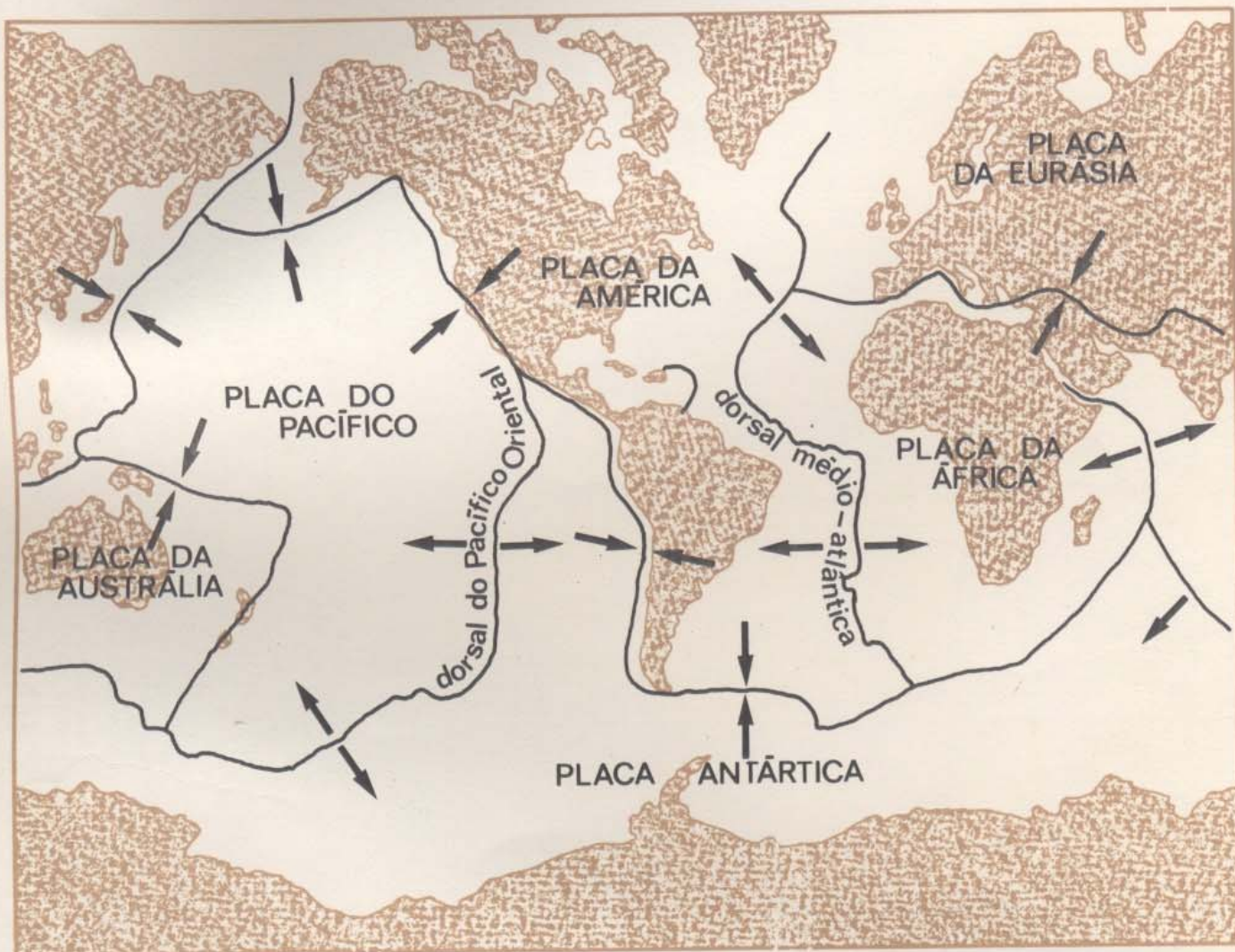


figura 17 — A camada externa da Terra forma um mosaico de placas. De acordo com a tectônica de placas, elas são rígidas e estão em constante movimento: as

direções dos deslocamentos das placas estão indicadas pelas flechas.

Sul e África constituíam um único continente, que então se fragmentou.

Curvas de deslocamento polar foram obtidas para outros continentes. Os resultados paleomagnéticos indicam que América do Sul e África faziam parte de um supercontinente que compreendia ainda a Austrália, a Antártida e a Índia. Esse continente chama-se Gondwana. Num certo intervalo da história geológica da Terra, além do Gondwana, parece ter existido outro continente, chamado Laurásia, que compreendia a América do Norte, a Europa e a Ásia.

#### 4. A tectônica de placas

O estudo dos movimentos da crosta terrestre (tectônica global), graças, principalmente, a determinações da magnetização remanescente de rochas, conduziu à teoria da tectônica de placas, proposta em 1967.

De acordo com essa teoria, a crosta terrestre é constituída, como mostra a figura 17, de algumas placas limitadas pelas cordilheiras médio-oceânicas (dorsais) e pelas fossas oceânicas ou cadeias de montanhas.

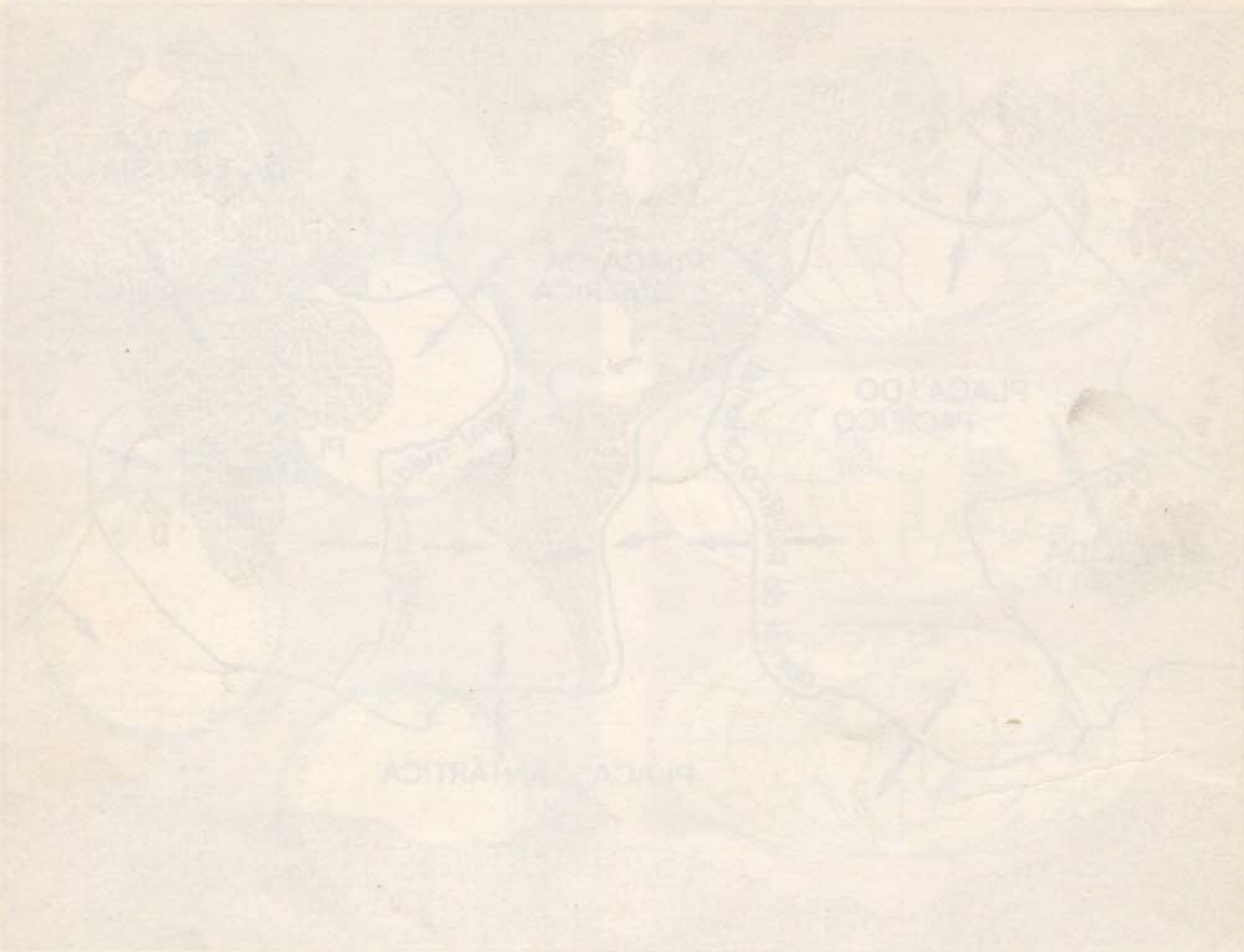
Nas dorsais médio-oceânicas, como a que existe no Atlântico Sul, a meio caminho entre a América do Sul e a África, há freqüente emissão de lava que expande o soalho oceânico, empurrando uma placa para um lado e outra para o lado oposto.

Em outros lugares, duas placas colidem, entrando uma por baixo da outra, produzindo-se então as fossas oceânicas e cadeias de montanhas, como os Andes.

A figura 16 ilustra as situações em que nova crosta é criada (dorsal) e, ainda, mecanismo de desaparecimento de uma placa por baixo de outra (fossas e cadeias de montanhas).

Ao longo das dorsais médio-oceânicas e cadeias de montanhas jovens (cinturões orogênicos) são muito freqüentes os terremotos.





Esta obra foi impressa pela  
Companhia Gráfica LUX  
Estrada do Gabinal, n.º 1521 — Rio de Janeiro — RJ  
para a  
FENAME — Fundação Nacional de Material Escolar  
Rua Miguel Ângelo, 96 — Maria da Graça  
Rio de Janeiro — RJ — República Federativa do Brasil  
em 1976.