

versão preliminar

---

leituras de  
**física**

GRAF

ELETROMAGNETISMO

para ler, fazer e pensar

---

**20 a 29**

- |  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| 20. Usinas geradoras de eletricidade     | 25. Exercícios                       |
| 21. Dinamo de bicicleta                  | 26. Pilhas e baterias                |
| 22. Transformadores no circuito          | 27. Força e campo elétrico           |
| 23. A corrente elétrica vista por dentro | 28. A interação elétrica e seu papel |
| 24. Fumaça, cheiros e campos             | 29. Exercícios                       |

Leituras de Física é uma publicação do

## **GRAF - Grupo de Reelaboração do Ensino de Física Instituto de Física da USP**

### **EQUIPE DE ELABORAÇÃO DAS LEITURAS DE FÍSICA**

Anna Cecília Copelli  
Carlos Toscano  
Dorival Rodrigues Teixeira  
Isilda Sampaio Silva  
Jairo Alves Pereira  
João Martins  
Luís Carlos de Menezes (coordenador)  
Luís Paulo de Carvalho Piassi  
Suely Baldin Pelaes  
Wilton da Silva Dias  
Yassuko Hosoume (coordenadora)

### **ILUSTRAÇÕES:**

Fernando Chuí de Menezes  
Mário Kano

**GRAF - Instituto de Física da USP**  
**rua do Matão, travessa R, 187**  
**Edifício Principal, Ala 2, sala 305**  
**05508-900 São Paulo - SP**  
**fone: (011) 818-7011 fax:(011) 818-7057**

financiamento e apoio:

Convênio USP/MEC-FNDE

Sub-programa de educação para as Ciências (CAPES-MEC)

FAPESP / MEC - Programa Pró-Ciência

Secretaria da Educação do Estado de São Paulo - CENP

**A reprodução deste material é permitida, desde que observadas as seguintes condições:**

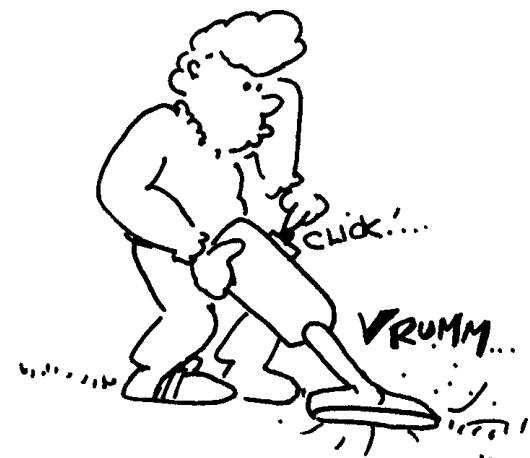
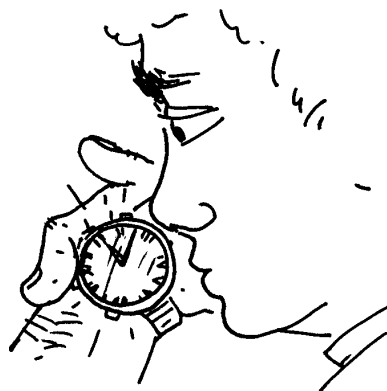
- 1. Esta página deve estar presente em todas as cópias impressas ou eletrônicas.**
- 2. Nenhuma alteração, exclusão ou acréscimo de qualquer espécie podem ser efetuados no material.**
- 3. As cópias impressas ou eletrônicas não podem ser utilizadas com fins comerciais de qualquer espécie.**

**junho de 1998**

# 20

## Usinas geradoras de eletricidade

Vamos conhecer os processos pelos quais diferentes formas de energia podem ser transformadas em energia elétrica

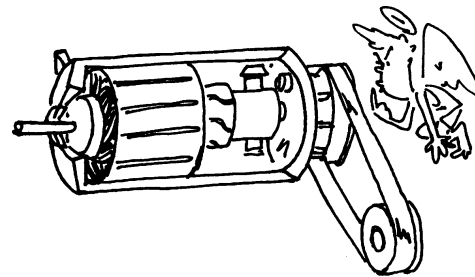
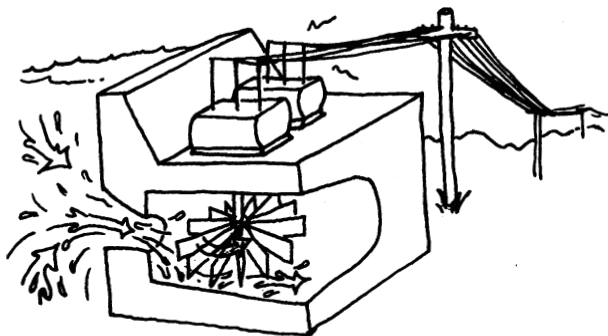


**Acende-apaga; liga-desliga; ...**

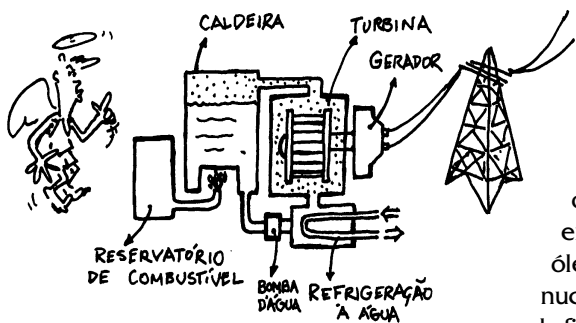
**Quantas fontes de energia elétrica você já utilizou hoje?**

Todos os aparelhos capazes de transformar alguma energia em energia elétrica são classificados como fontes de energia elétrica.

A maior parte da energia elétrica utilizada no Brasil provém dos geradores de eletricidade das usinas, temos também de usinas hidroelétricas. Nessas usinas a água é represada em alternadores e os dinamos de automóveis que têm o mesmo por meio de barragens, que têm a finalidade principal de funcionamento. A diferença se dá na maneira como proporcionar um desnível de água capaz de movimentar o eixo do gerador: através da explosão do combustível no cilindro do motor. As turbinas são formadas por conjuntos de pás ligadas ao eixo do gerador de eletricidade, que é posto a girar com a passagem da água.

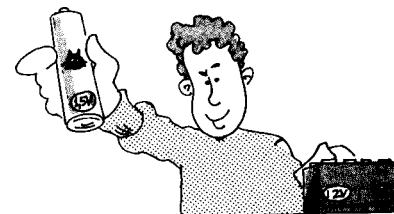
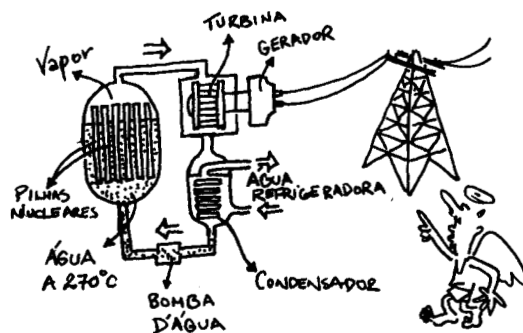


Outra forma de utilização de energia elétrica é através do processo de separação de cargas. Um exemplo bastante típico desses geradores é a pilha e também nas baterias comumente utilizadas em rádios, brinquedos, lanternas, relógios, etc.



As turbinas podem também ser movimentadas por vapor d'água a alta pressão. Nesse caso, as usinas são termoeletricas ou nucleares.

Nas termoeletricas, o vapor d'água, é obtido através do aquecimento de água em caldeiras, pela queima de carvão, óleo, derivados de petróleo. Já nas usinas nucleares, o vapor d'água é obtido através da fissão do urânio.

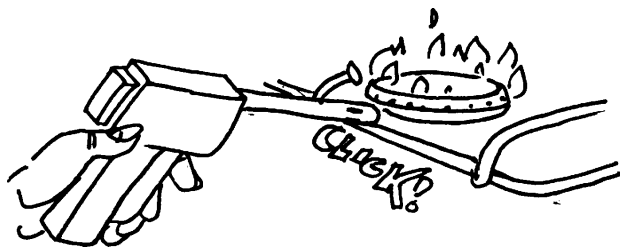


Nesses sistemas uma reação química faz com que cargas elétricas sejam concentradas em certas regiões chamadas pólos. Assim obtém-se os pólos positivos (onde se concentram íons com falta de elétrons) e os pólos negativos (onde os íons tem elétrons em excesso). Através desses pólos, tem-se a tensão elétrica que permite o estabelecimento da corrente elétrica quando um circuito ligado a eles é fechado.

Além da reação química, existem outras formas de se promover a separação de cargas. Nas portas automáticas e sistemas de segurança, a separação de cargas é produzida pela incidência de luz sobre material fotossensível. O resultado é a corrente elétrica num circuito.

Nas máquinas fotográficas totalmente automáticas, uma célula fotossensível regula a abertura do diafragma e o tempo de exposição ao filme. Em outras máquinas não automáticas, o medidor de luminosidade é um aparelho chamado fotômetro. A luz incidente na célula que tem duas camadas de material condutor separados por uma película de selênio ou cádmio cria uma tensão proporcional à intensidade de luz e a corrente obtida muda a posição do ponteiro do galvanômetro.

Já no acendedor de fogão sem fio a separação de cargas ocorre ao pressionarmos um cristal. Este é denominado **efeito piezoelétrico** que também está presente no funcionamento de alguns tipos de agulhas de toca-discos e de microfones de cristal.

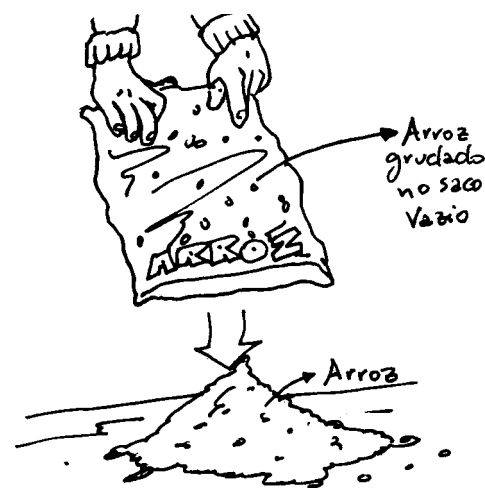


Através da diferença de temperatura também se pode provocar a separação de cargas em alguns materiais. Esse efeito é utilizado para medir a temperatura nos automóveis quando as extremidades de dois metais diferentes entram em contato e são submetidas a distintas temperaturas: um ligado ao motor outro a carcaça.

É possível, também, produzir separação de cargas por meio do atrito entre certas espécies de materiais. Esse processo de separação de cargas pode ser observado em muitas situações do cotidiano.

Os raios que aparecem durante as tempestades são grandes movimentos de cargas elétricas da Terra para as nuvens ou das nuvens para a Terra. Essas grandes quantidades de cargas nas nuvens são produzidas por atrito das gotículas de água com o ar.

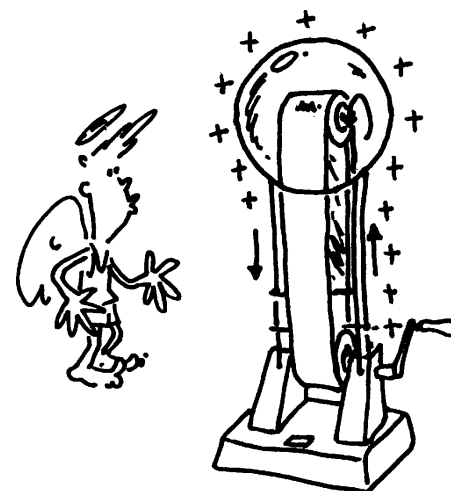
Quando esvaziamos um saco plástico contendo arroz é muito comum acontecer de alguns grãos permanecerem grudados na parte interna do saco, mesmo quando este é totalmente virado para baixo e chacoalhado. Isto acontece porque esses grãos ao serem atritados com o plástico, durante o esvaziamento, ficam eletrizados e por isso são atraídos.



A separação de cargas por atrito é bastante fácil de ser efetuada. Basta, por exemplo, esfregar um objeto plástico, tal como uma régua ou uma caneta esferográfica, em papel ou numa blusa de lã. Quando aproximamos a região atritada a pequenos pedaços de papel, aos pêlos do braço ou cabelos, notamos que eles se atraem.

Em muitos laboratórios didáticos de demonstração é comum encontramos um aparelho que separa cargas elétricas por atrito com grande eficiência: o gerador de Van de Graaff.

Enquanto a correia é movimentada pelo motor elétrico um pente metálico ligado a uma fonte de alta tensão transfere cargas elétricas para ela. Estas são transportadas até o interior da esfera metálica e transferidas para ela através de um contato metálico. Assim, as cargas elétricas vão sendo acumuladas em sua superfície externa, atingindo milhares de volts.



## Rapidinhas

1. A maior usina hidroelétrica do mundo está no Brasil, localizada no rio Paraná. Tem 18 turbinas que em operação são capazes de gerar 13.320.000.000 Watt de energia elétrica. Sua construção teve como consequência a inundação de uma área enorme para acúmulo de água, o que torna muito discutível a construção de grandes usinas e o impacto ambiental provocado.

2. A construção das usinas nucleares utilizadas para geração de energia elétrica, foi uma maneira de manter em atividade a indústria dos artefatos nucleares. A entrada do Brasil na chamada era nuclear, comprando usinas de uma empresa americana - a Westinghouse - foi muito polêmica, uma vez que sua necessidade para o país era questionada. Localizada em Angra dos Reis, no Rio de Janeiro, sua construção teve início em 1972 e começou a operar somente em 1985. Tendo como característica o fato de interromper o seu funcionamento - 30 vezes somente nos primeiros 6 anos - é conhecida como "vaga-lume".

3. Até o acidente na usina de Chernobyl na Ucrânia em 1986, era voz corrente que uma usina nuclear jamais podia explodir: "As chances de fusão de um núcleo são de uma a cada 10.000 anos. As usinas são dotadas de controle seguros e confiáveis, protegidos de qualquer colapso por três sistemas de segurança diferentes e independentes...". Entretanto, o impossível acontece! Com a explosão que arrancou o teto do reator de 700 toneladas, uma bola de fogo lançou no ar, a mais de 1000 metros de altura, uma mistura de elementos radiativos. Estima-se que entre 7 e 10.000 o número de mortos e 160.000 km<sup>2</sup> de área contaminada.

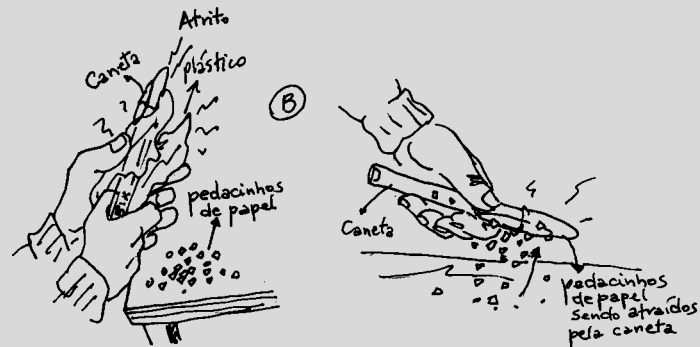
## exercitando ...

1. Quais as fontes de energia que você conhece? No Brasil, qual é a mais utilizada? Por que?
2. Alguns tipos de acendedores de fogão não utilizam diretamente a energia elétrica da tomada e tampouco a de uma bateria comum. No entanto, tais acendedores produzem uma faísca quando pressionados por uma espécie de gatilho preso a uma mola. Discuta que transformações de energia ocorrem nesse dispositivo.
3. Os dínamo e os alternadores podem ser classificados como fontes de energia elétrica. Quais as formas de energia transformadas em energia elétrica nesses aparelhos?

### PARA FAZER E PENSAR

**Atrite uma caneta 'bic' junto a um pedaço de plástico e depois aproxime-a de pedacinhos de folha de papel.**

**O que ocorreu com a caneta após ela ter sido atritada? Esse processo é semelhante a qual dos discutidos nas páginas 78 e 79?**

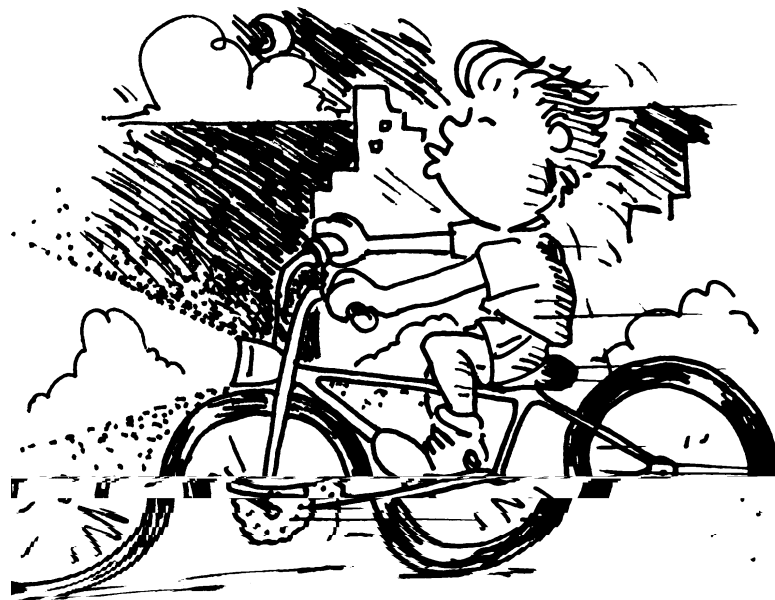
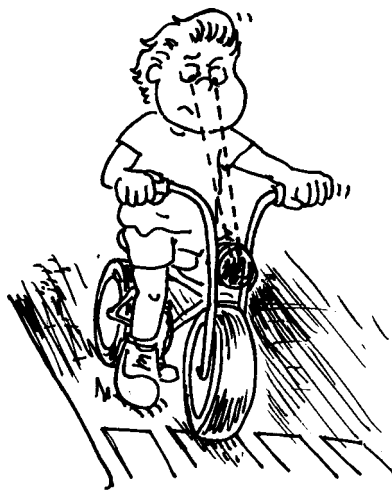


# —21—

## Dinamo de bicicleta

A Física do dinamo de bicicleta será ilustrativa para entender o gerador de usina hidrelétrica

**Quando ouvimos falar em geradores de eletricidade, pensamos logo nas usinas, suas barragens; mas o dinamo de bicicleta é também um gerador que representa uma das duas maneiras conhecidas de se obter energia elétrica. Uma pista para se saber como isso é obtido está presente na ilustração. Qual é ela?**



**Os geradores das usinas e os dinamos de bicicleta são construídos de formas semelhante e têm o mesmo princípio de funcionamento. Em ambos, há produção de energia elétrica a partir da energia mecânica de rotação de um eixo. A partir da atividade que vem logo a seguir vamos começar a desvendar esse mistério.**

## Dinamo de Bicicleta: o gerador arroz com feijão

Para fazer esta atividade você vai precisar tomar duas providências:

1. trazer ou ajudar seu professor a obter um dinamo desse tipo;
2. além dele será necessário uma bússola. Com eles você vai estar pronto para fazer a primeira parte.

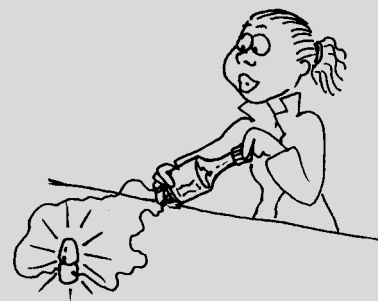
### Parte 1

- a. aproxime a bússola do dinamo parado e verifique o que acontece com ela.
  - b. repita girando devagar com a mão o eixo do dinamo.
- O que é possível dizer sobre o que há lá dentro?



### Parte 2

Para verificar se ele de fato é um gerador de eletricidade conecte nos seus terminais um led (diodo fotoemissor). Gire o seu eixo e observe o que ocorre com o led. Gire para o lado oposto. E agora?

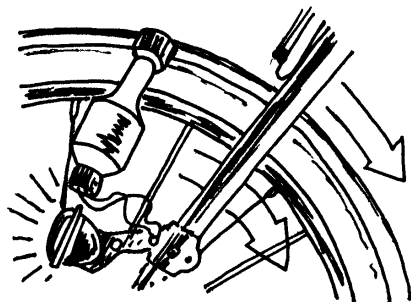


### Parte 3

- a. desparafuse a porca que fixa o eixo e retire-o com cuidado. Do que ele é feito? Torne a aproximar dele a bússola.
- b. observe a parte do dínamo que fica em volta da carcaça na parte interna. Do que ela é feita?



Quando o dínamo está em contato com a roda, o seu movimento de rotação é transferido para o eixo do dínamo pelo contato com o pneu.



Como o ímã é fixado ao eixo, ele fica girando entre as bobinas. O fato da lâmpada do farol acender está associado a esse movimento.

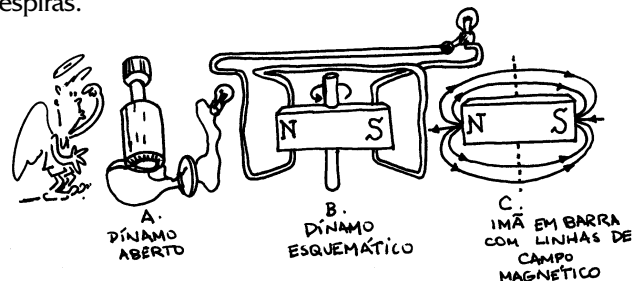
No dínamo não há contato físico entre o ímã e as bobinas. Entretanto, elas se influenciam mutuamente. Como diz Paulinho da Viola, é preciso lembrar que **"a vida não é só isso que se vê, é um pouco mais, que os olhos não conseguem perceber..."**. Neste caso, esse algo mais, invisível, mas real, é o campo magnético, no qual as bobinas estão imersas. Deste modo, por meio do campo magnético as partes fixa e móvel do dínamo podem se "comunicar".

Mas isso não é tudo, porque apenas a presença do ímã no interior do dínamo não é suficiente para acender a lâmpada. Isso pode ser compreendido usando-se o princípio da conservação da energia. Quando a lâmpada está acesa, ela irradia continuamente energia luminosa e térmica para o meio. Se o acendimento da lâmpada pudesse ser causado apenas pela presença do ímã em repouso, isso significa que a energia estaria "saindo" do interior desse ímã, o que sugere que ele deveria "gastar-se" depois de um certo tempo. Entretanto, ímãs não se "gastam", ao contrário das baterias.

É aí que entra o arroz e feijão!

Alguém tem que pedalar a bicicleta para acender o farol ou girar o eixo do dínamo para acender o led.

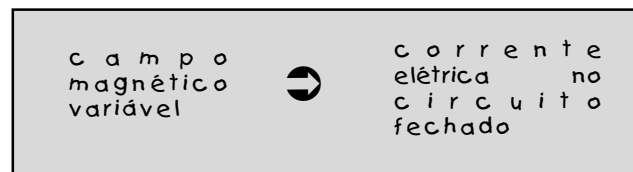
De acordo com o princípio da conservação de energia, o fluxo contínuo de energia luminosa e térmica para fora do sistema não pode ser causado por algo que não muda ao longo do tempo. Em outras palavras, não há como o ímã parado possa "bombear" energia, continuamente, para a lâmpada. Para que isso ocorra é preciso fornecer energia e isto é feito através do **movimento**. Para facilitar a discussão do fenômeno físico da geração de corrente elétrica pelo dínamo de bicicleta, vamos representá-lo esquematicamente por um ímã colocado entre duas espiras.



O campo magnético de um ímã parado varia de ponto para ponto do espaço, mas em cada um desses pontos ele permanece constante no tempo. Quando o ímã gira, como acontece com a parte móvel do dínamo de bicicleta o campo magnético varia no espaço ao redor dele. Essa variação gera o campo elétrico produzindo uma corrente elétrica que é percebida com o acendimento da lâmpada

O funcionamento do dínamo ilustra um caso particular de uma das quatro leis gerais do Eletromagnetismo: **a lei de Faraday**, segundo a qual uma corrente elétrica é gerada num circuito fechado sempre que houver uma variação de um campo magnético nessa região.

Esse processo de geração de corrente pode ser representado pelo seguinte encadeamento de efeitos:



**A corrente elétrica que surge também é chamada de corrente induzida.**

### exercitando ...

1. Nos geradores em que o rotor é um eletroímã localizado internamente a um estator constituído por bobinas, para manter o movimento de rotação é necessário um torque externo, além daquele realizado contra as forças de atrito. Discuta a necessidade desse torque externo na manutenção do movimento do rotor, partindo do princípio de que na ausência de torques externos a quantidade de movimento angular (momento angular) se mantém constante.
2. Analise as situações descritas abaixo, e verifique se há ou não produção de campo magnético variável na região próxima
  - a- Um fio com corrente alternada e parado em relação ao chão.
  - b - Um fio com corrente contínua e parado em relação ao chão.
  - c - Uma bobina com corrente contínua e parada em relação ao chão.
  - d - Uma bobina com corrente contínua se deslocando com velocidade  $v$  em relação ao chão.
  - e - Um ímã se deslocando com velocidade  $v$  em relação ao chão.
  - f - Um ímã girando com velocidade angular  $\omega$ .

#### LEI DE LENZ

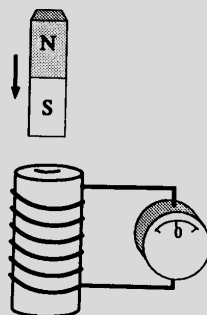
Faraday descobriu que uma corrente elétrica é gerada num circuito elétrico fechado, colocado numa região onde haja um campo magnético variável.

Este fenômeno recebeu o nome de **indução eletromagnética**, e a corrente que surge é chamada de **corrente induzida**.

Um outro trabalho foi realizado para saber o conhecimento do sentido desta corrente induzida, que não é qualquer. Ele tem relação com a causa que lhe deu origem. É isso que nos informa a chamada lei de Lenz:

**"O sentido da corrente induzida é tal que, o campo magnético criado por ela, se opõe à causa que lhe deu origem".**

Para entendermos o significado dessa nova lei observe a situação mostrada na figura (a).



O ato de empurrar um ímã na direção da espira corresponde à "causa" responsável pela origem da corrente induzida na espira. De acordo com a lei de Lenz, o campo magnético da corrente induzida deve se opor à aproximação do ímã, ou seja, o ímã deve ser repelido. Assim, na situação indicada para que ocorra repulsão ao ímã, a face da espira voltada para ele deve corresponder ao "polo" sul. Para isso ser possível, a corrente induzida deve ter o sentido indicado na figura (b). Se afastarmos o ímã da espira, a corrente induzida deve também opor-se a essa separação. Para tanto, dará origem a um "polo" norte na face da espira voltada para o ímã como indica a figura (c).



A aproximação ou o afastamento do ímã em relação à espira encontra uma certa resistência que precisa ser vencida. Isso significa que é necessário a realização de um trabalho por um agente externo. Esse comportamento, está de acordo com o **princípio da conservação da energia**, já estudado anteriormente.

# 22

## Transformadores no circuito

Entre a usina e os centros consumidores de energia elétrica há um enorme circuito. Suas características, você vai estudar agora.

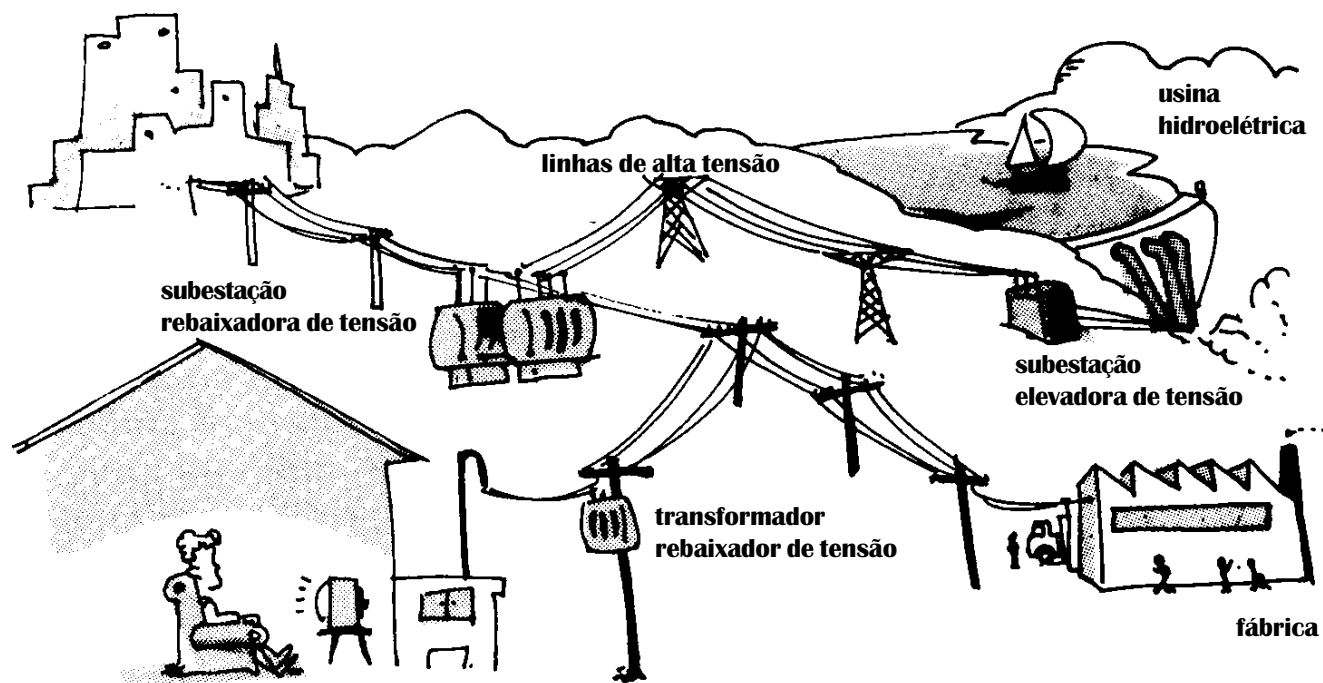
Entre a usina hidrelétrica e a nossa residência existem muitos transformadores, uma vez que a tensão de saída dos geradores é da ordem de 10.000V, nos fios de alta tensão é de 700.000V e a de consumo doméstico encontra-se na faixa de 110/220V. A tensão no consumo comercial/industrial varia de 110/220V até 550V, enquanto que no consumo em transporte (trens elétricos, metrô) varia de 600V a 3.000V.

Por que é necessário elevar ou baixar a tensão elétrica e como isso pode ser feito?



Ligar um aparelho à tomada significa fazer com que ele se torne parte de um circuito muito maior, que pode ter centenas de quilômetros de extensão.

Se acompanharmos os fios que chegam a uma tomada podemos verificar que eles estão ligados à rede elétrica de nossa casa. Essa rede, por sua vez, está ligada aos fios que vêm do poste, através da caixa de distribuição. Esses fios, antes de chegar às residências, "passam" por sucessivos aparelhos, denominados **transformadores**, localizados em pontos estratégicos ao longo da rede elétrica. Os fios da rua são distribuídos a partir de uma subestação rebaixadora de tensão, que está ligada por cabos de alta tensão a outra subestação, localizada ao lado da usina geradora de energia elétrica. A função desta subestação é elevar a tensão gerada na usina para ser transportada por longas distâncias.

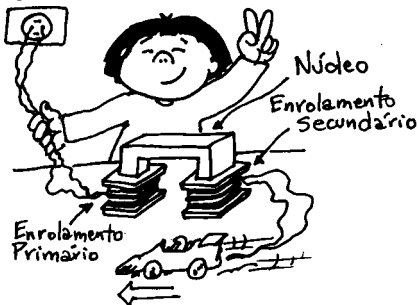


A transmissão da energia elétrica das usinas até os pontos de consumo é efetuada através de fios condutores e por isso parte dela é dissipada na forma de calor. De acordo com a lei de Joule-Lenz ( $P = R \cdot i^2$ ), essa perda é proporcional ao quadrado da corrente. Dessa forma, para reduzi-la é conveniente diminuirmos a intensidade da corrente. Como a potência é proporcional à tensão e à corrente ( $P = U \cdot i$ ), podemos obter a mesma quantidade de energia

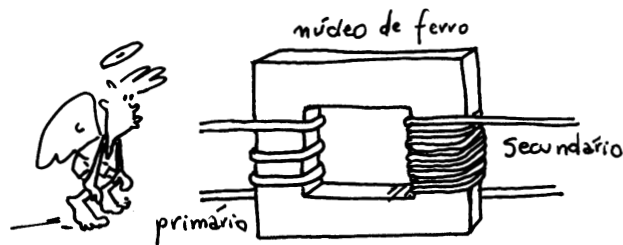
transmitida na unidade de tempo através de uma corrente menor, se aumentarmos a tensão.

É o transformador que realiza tais alterações. Por isso ele está presente nas duas subestações, ora para elevar, ora para baixar a tensão. Também está presente em alguns postes onde a tensão é novamente rebaixada ou elevada para ser colocada em condições de uso.

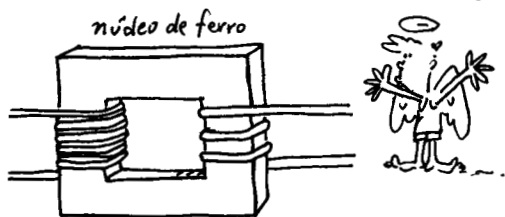
Basicamente o transformador é constituído de fios enrolados em um núcleo de ferro. São dois enrolamentos independentes: o enrolamento primário, ligado à fonte e o enrolamento secundário, onde se obtém a tensão desejada. Os dois enrolamentos podem estar: um sobre o outro isolados eletricamente e com o núcleo de ferro comum a ambos; ou podem estar separados, ou seja, o enrolamento primário numa parte do núcleo e o secundário em outra parte.



Nos transformadores da subestação elevadora de tensão, o enrolamento primário tem menor número de voltas de fio que o enrolamento secundário, podendo, em muitos casos, este enrolamento ser constituído por fios mais finos.



Os transformadores rebaixadores de tensão têm maior número de voltas de fio no enrolamento primário que no secundário. Em geral, nesse tipo de transformador os fios utilizados no enrolamento secundário são mais grossos.



Sendo  $U_p$  e  $U_s$  as tensões nos terminais dos fios nos enrolamentos primário e secundário e  $N_p$  e  $N_s$  o número de voltas de fio em cada um desses enrolamentos, vale a seguinte relação para o transformador:

$$U_p / U_s = N_p / N_s$$

### Balanco energético no transformador

O rendimento nos transformadores é em torno de **98%**, o que significa que a potência elétrica no enrolamento primário é praticamente igual à do enrolamento secundário, ou seja,  $U_p i_p$  (enrolamento primário) =  $U_s i_s$  (enrolamento secundário) ou

$$U_p / U_s = i_s / i_p$$

A queda de potência ou energia, da ordem de **2%**, deve-se aos seguintes fatores:

- aquecimento dos enrolamentos (de acordo com a lei de Joule-Lenz);
- correntes induzidas no núcleo de ferro do transformador, que criam um campo magnético contrário àquele criado pela corrente no enrolamento primário. Tais correntes induzidas são também conhecidas por correntes de Foucault.

- processo de magnetização que ocorre no núcleo de ferro do transformador (pelo fato da corrente, que cria o campo magnético, ser alternada, há um ciclo de magnetização do núcleo, que acompanha as variações da intensidade e de sentido da corrente). Por esse motivo, o núcleo de ferro é laminado, separado com material isolante.

Todos esses fatores podem provocar o aquecimento. É por isso que aparelhos de som e vídeo e os seus esquentam "durante" o funcionamento, e o seu gabinete possui orifícios para ventilação junto ao transformador.

### exercitando ...

1. Um transformador é constituído por dois enrolamentos de fios de cobre, um de 200 e outro de 1 200 espiras. Esses solenóides envolvem uma mesma barra de ferro.

a) Se a tensão no enrolamento (primário) de 200 espiras for de 12 volts, que tensão obtemos no outro enrolamento (secundário)?

b) Qual a função do núcleo de ferro?

c) É possível esse transformador funcionar se a tensão de 12 volts for de uma bateria (corrente contínua)? Por quê?

2. Um transformador tem 200 espiras no primário, recebendo uma tensão de 110V. Quantas espiras deve ter no secundário, para que a tensão de saída seja 220V?

3. Qual a tensão retirada da saída de um transformador, sabendo que a tensão de entrada é de 220V e a razão entre o número de espiras do secundário e o número de espiras do primário é  $1/20$ ? O transformador funcionou como elevador ou como rebaixador de tensão?

4. Explique porque o núcleo de ferro do transformador é laminado.

5. Um transformador está sendo usado para baixar a tensão de 120V para 9V. Sabendo-se que o número de espiras do primário é 240 voltas e que a potência no circuito secundário é 6W e considerando que a perda de energia é desprezível, responda:

a. qual o número de espiras do secundário;

b. qual a corrente elétrica no secundário;

c. qual a corrente elétrica no primário.

### Saiba um pouco mais sobre o transformador

Os aparelhos elétricos são construídos para funcionarem com determinadas tensões. Quando a tensão de funcionamento dos aparelhos não coincidir com a tensão da fonte é necessário intercalar entre os dois um transformador para adequar essas tensões.

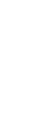
Quando o enrolamento primário é ligado a um circuito de corrente alternada, esta corrente cria um campo magnético proporcional a ela própria e ao número de voltas do enrolamento. Como a corrente é alternada, o campo magnético criado por ela é também variável com o tempo e, conseqüentemente, aparece um fluxo da variação deste campo na região onde se encontra o enrolamento secundário.

Este fluxo de variação do campo magnético do primário, induz um campo elétrico no enrolamento secundário, de tal forma que, quanto maior for o fluxo dessa variação, maior a intensidade do campo elétrico induzido em cada espira. A tensão que resulta nos terminais do enrolamento secundário é proporcional ao campo elétrico induzido e ao número de voltas do enrolamento.

O transformador é um aparelho consumidor de energia elétrica quando considerado do lado do enrolamento primário e, também, fonte ou gerador de energia elétrica do lado do enrolamento secundário.

Uma aplicação da lei de Faraday. A indução eletromagnética nos transformadores.

Segundo a lei de Faraday, quando numa região do espaço ocorre uma variação do campo magnético, é induzido nessa região um campo elétrico.

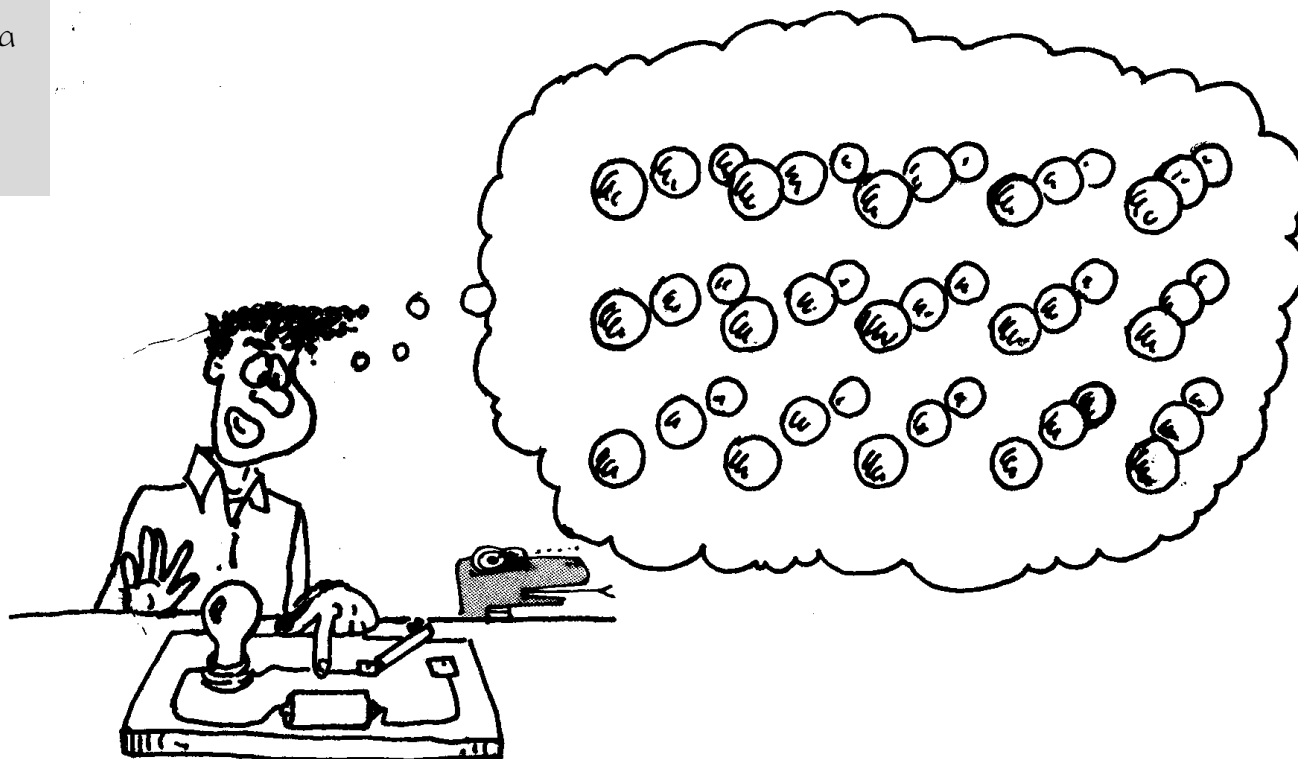


# —23—

## A corrente elétrica vista por dentro

Como é imaginado um metal com e sem corrente elétrica, você vai saber agora com a ajuda de um modelo físico.

**Se não for só para apertar botão, está na hora de responder algumas questões:  
O que significa ligar um aparelho elétrico? Por que existe corrente em um aparelho ligado? No que consiste a corrente elétrica?**



modelo,  
eu?



As questões indicadas na página anterior somente podem ser respondidas considerando-se o que acontece no interior do fio quando se estabelece nele uma corrente elétrica. Assim, será necessário conhecer um **modelo teórico** que explica o que ocorre microscopicamente em um fio sem corrente elétrica, e depois, com corrente elétrica.

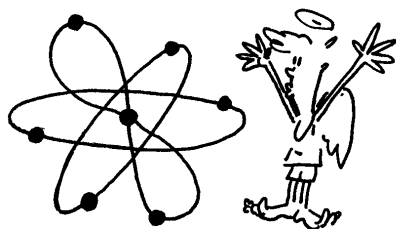
Antes, poderíamos perguntar: o que é um modelo ?

Um modelo é um conjunto de hipóteses que buscam explicar um fenômeno. É também imaginação e estética. Nesse caso, o modelo para a corrente elétrica utiliza a teoria atômica da matéria. Hoje em dia, acreditamos que toda matéria seja constituída de corpúsculos extremamente minúsculos denominados **ÁTOMOS**.

Os átomos são muito pequenos. Se um átomo fosse deste tamanho de um ponto, a bolinha da ponta de uma caneta teria **10km** de diâmetro. Para se ter uma ideia do tamanho desses tijolinhos que forma os materiais, uma bolinha de ponta de caneta deve conter ...

**1 000 000 000 000 000 000 000 000**  
de átomos.

A figura a seguir é uma representação esquemática do átomo. Note que eles são formados de partículas ainda menores: os prótons e os nêutrons que formam o núcleo e os elétrons que giram em torno dele.



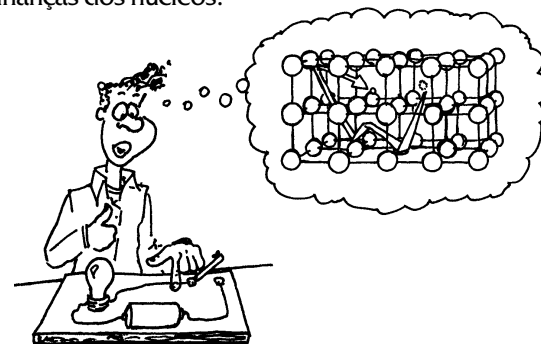
Em um átomo neutro, os números de prótons e elétrons são iguais.

## Como é imaginado o metal internamente?

Um fio de metal é um conjunto muito grande de átomos ligados uns aos outros mas que guardam uma certa distância entre si. Esta organização forma uma estrutura tridimensional bastante regular que pode mudar de um metal para outro e chamada de rede cristalina.



Além disso, no interior do metal, cada átomo perde um ou dois elétrons que ficam vagando pelos espaços vazios no interior do metal (sendo por isso chamados de **elétrons livres**, enquanto a maioria dos elétrons está presa nas vizinhanças dos núcleos.



À temperatura ambiente tanto os elétrons quanto os núcleos atômicos estão em movimento cuja origem é térmica. Enquanto os núcleos vibram juntamente com os elétrons presos a ele, os elétrons que se desprenderam realizam um tipo de movimento que é aleatório pelo interior da rede cristalina.



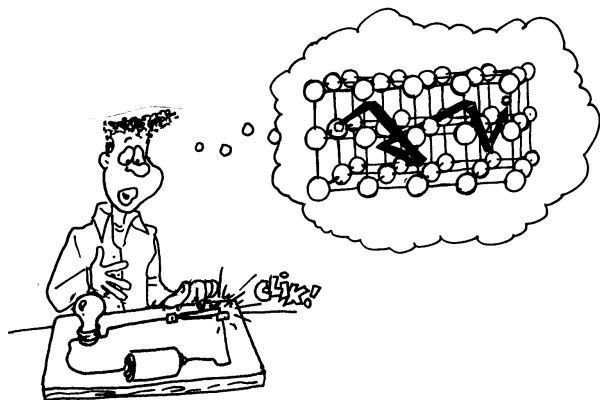
## O que muda no metal quando há corrente elétrica?

Aparentemente nada, que possa ser visto a olho nú! Mas.. e internamente?



Um aparelho elétrico só entra em funcionamento se for ligado a uma fonte de energia elétrica que pode ser uma usina, uma pilha ou bateria. Nessa situação há transformação de energia elétrica em outras formas de energia e o que possibilita tal transformação é a existência de corrente elétrica.

Internamente, a energia da fonte é utilizada para acelerar os elétrons livres no interior da rede cristalina, através de uma força de natureza elétrica. Essa força provoca um movimento adicional ao já existente em cada elétron livre do metal.



O resultado desse processo é uma superposição de dois movimentos: o de origem térmica que já existia e continua e o movimento adicional provocado pela fonte de energia elétrica.

**É esse movimento adicional que consiste o que se entende por corrente elétrica.**

A velocidade de cada elétron livre associada a cada um desses dois movimentos tem valor completamente diferente: enquanto a velocidade devido ao movimento térmico é da ordem de 100.000 m/s, a velocidade devido ao movimento adicional é aproximadamente 1,0 mm/s.

### Qual o significado da intensidade da corrente elétrica nesse modelo?

Vamos imaginar que quiséssemos medir uma "corrente" de carros em uma estrada. Uma corrente de 100 carros por minuto indicaria que a cada minuto 100 carros passam pela faixa. Se contarmos durante o tempo de 5 minutos a passagem de 600 carros e quisermos saber quantos passa, em média, em um minuto faríamos:

$$\text{corrente} = 600 \text{ carros} / 5 \text{ minutos} = 120 \text{ carros/minuto}$$

Assim poderíamos escrever a fórmula da intensidade de corrente da seguinte maneira: corrente = nº de carros/tempo

Para uma corrente de elétrons num fio metálico, poderíamos escrever algo semelhante:

$$\text{corrente elétrica} = \text{nº de elétrons/tempo}$$

No entanto, o que nos interessa é a quantidade de carga que passa e não o número de elétrons. Desse modo, a intensidade de corrente pode ser calculada pela expressão:

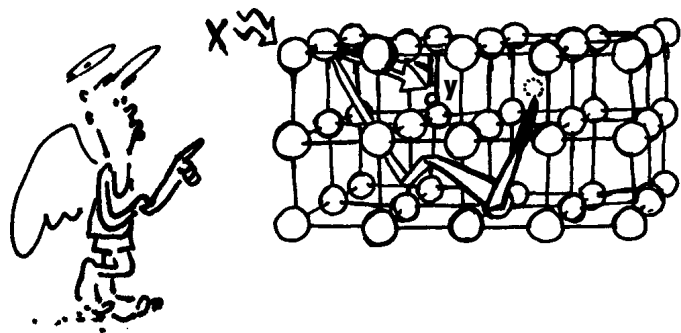
$$i = \frac{N \cdot e}{t}$$

onde : **N** é o número de elétrons  
**e** a carga elétrica do elétron  
**t** é o tempo transcorrido

Quando a carga é medida em Coulombs e o tempo medido em segundos a corrente é medida em ampère (A)

## exercícios...

1. Do que são formados os átomos?
2. Do que é constituído e como está organizado o metal?
3. Por que alguns elétrons recebem a denominação de elétrons livres?
4. Que alterações ocorrem internamente num fio metálico com corrente elétrica?
5. O que se entende por movimento térmico aplicado aos componentes de um fio metálico?
6. A figura a seguir representa os componentes microscópicos de um fio metálico.



Indique o nome dos componentes indicados com as letras X e Y.

7. Sabendo que 1 200 elétrons atravessam por segundo a seção reta de um condutor e que a carga elementar tem intensidade  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ , calcule a intensidade da corrente elétrica nesse condutor.
8. No circuito elétrico, existe uma corrente de 1A. Quantos elétrons atravessam uma seção transversal deste fio metálico por segundo?

## Um pouco mais sobre a corrente

Quando um aparelho é ligado a uma pilha ou bateria a corrente elétrica se mantém constantemente em um mesmo sentido. Isso quer dizer que a força que impulsiona os elétrons é sempre no mesmo sentido.

Já na tomada, a corrente é alternada. Isso significa que ora a corrente tem um sentido ora tem outro, oposto ao primeiro. Isso ocorre porque a força que impulsiona os elétrons livres inverte constantemente de sentido.

9. A instalação elétrica de um chuveiro, cuja inscrição na chapinha é 220V - 2800/4400W, feita com fio de cobre de bitola 12, estabelece uma corrente elétrica de aproximadamente 12A, quando a chave está ligada na posição "verão". Na posição "inverno" a corrente é de aproximadamente 20A. Calcule o número de elétrons que atravessa, em média, uma seção transversal do fio em um segundo, para a chave nas posições "verão" e "inverno", sabendo-se que a carga de um elétron é, em módulo igual a  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ .

10. Explique a diferença no filamento das lâmpadas com tensões nominais 110V e 220V, porém com mesmas potências, usando o modelo de corrente.

11. Determine a intensidade da corrente elétrica num fio condutor, sabendo que em 5 segundos uma carga de 60 C atravessa uma seção reta desse fio.

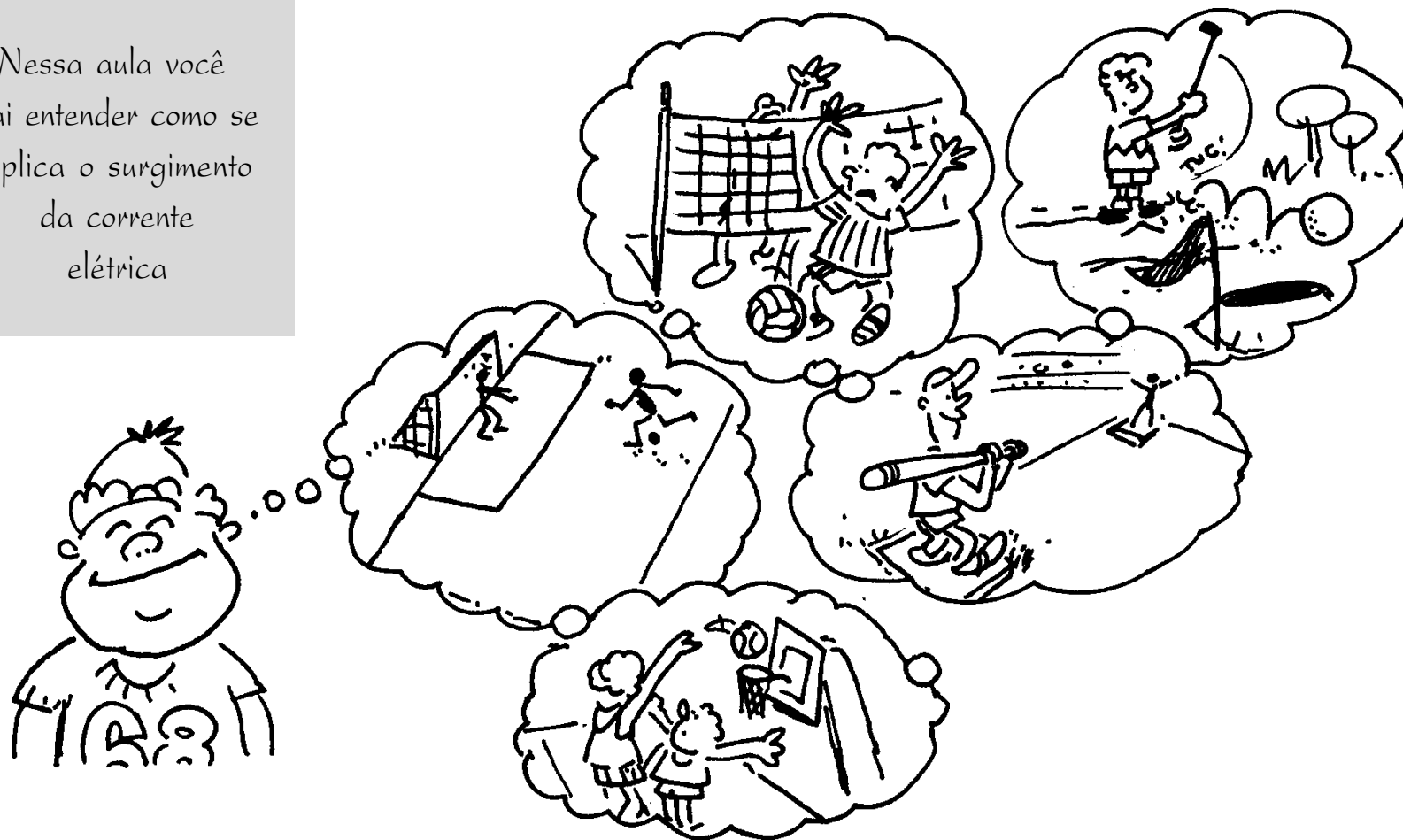
12. Explique a diferença entre corrente contínua e corrente alternada levando em conta a força elétrica sobre os elétrons livres.

# 24

Fumaça, cheiros  
e campos

Nessa aula você  
vai entender como se  
explica o surgimento  
da corrente  
elétrica

**No campo de futebol, se joga..., bem você sabe.  
Já numa quadra poliesportiva se pode jogar: basquete,  
volei, futebol de salão, ... , desde que se conheça as  
regras. E nos campos da Física, que jogos podem ser  
jogados? E com que regras?**



Há uma frase bastante conhecida que diz:

## "onde há fumaça, há fogo"

que serve para dizer muitas coisas. Uma delas, é que a gente pode identificar a existência de algo queimando mesmo que não vejamos. Por que podemos dizer isso?

Algo queimando sempre provoca a produção de gases que se misturam com o ar e estes podem ser detectados pelo olfato ainda que não esteja visível a chama.

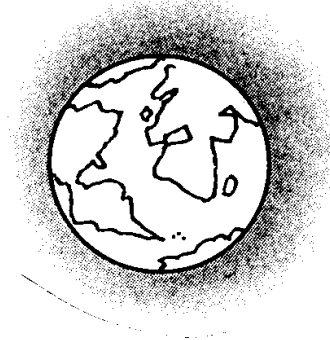
De forma semelhante podemos perceber o odor de um perfume, ainda que não possamos vê-lo. De um frasco de perfume aberto, emanam moléculas que, por estarem em movimento, misturam-se com o ar próximo, criando uma espécie de "campo de cheiro" em todos os pontos desse ambiente. Até que ocorresse toda a evaporação do perfume, esse ambiente ficaria com essa característica: além das moléculas do ar, estariam presentes as moléculas da substância desse perfume e qualquer nariz poderia detectar a sua existência, mesmo que não fosse possível ver o frasco.



Mas a essa altura, poderia-se perguntar: onde vai nos levar isso tudo?

Essa conversa introdutória é para chamar a atenção de algumas características comuns a um conceito muito importante na física: o de campo. **O conceito físico de campo caracteriza a propriedade que a matéria tem de influenciar o espaço que fica ao redor dela, dando-lhe uma característica que ele não tinha antes.** Nesse sentido é que o "campo de cheiro" do perfume é análogo ao conceito físico de campo.

É desse modo que se entende hoje a atração gravitacional: a Terra, como qualquer corpo com massa, é concebida como se tivesse em torno de si uma 'aura', isto é, como uma extensão não material, que preenche todo o espaço ao redor.

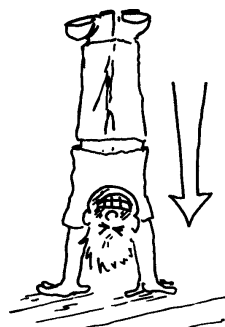


Assim, qualquer outra massa "imersa" no campo gravitacional da Terra é atraída por ela, através da força peso. Assim, podemos entender que o peso é a evidência mais comum da ação do campo gravitacional.



Um aspecto muito importante do conceito físico de campo é que ele não é separável da matéria que o origina. Assim, o campo gravitacional da Terra é tão inseparável dela como o campo magnético de um ímã é inseparável dele. Desse modo, se a matéria se move, o seu campo também se move, acompanhando a matéria.

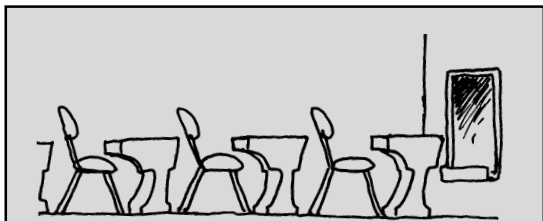
Uma outra propriedade interessante do conceito de campo é de que ele age também no interior dos objetos. Quando plantamos "bananeira" por exemplo, é o campo gravitacional que faz o sangue descer para nossa cabeça.



Uma outra característica importante do conceito físico de campo é que ele tem um valor que varia com a distância em relação à matéria que o produz. O campo gravitacional da Terra, por exemplo, é capaz de "prender" a Lua ao nosso planeta, o que significa que ele se estende por grandes distâncias. Aqui na superfície da Terra, onde nos encontramos ele vale  $9,8 \text{ N/kg}$ , mas lá na superfície da Lua seu valor é aproximadamente  $0,0027 \text{ N/kg}$ .



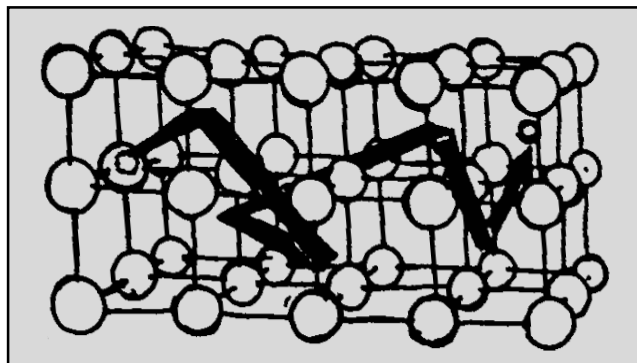
Próxima à superfície da Terra ou sobre ela, onde nos encontramos, o campo gravitacional da Terra é praticamente constante. Assim podemos afirmar que no interior da sala de aula, o campo gravitacional é uniforme e pode ser representado conforme ilustra o tom cinza da figura.



Nessa situação podemos perceber que o campo gerado pela Terra existe independente de haver alunos na classe e, além disso, seu valor é o mesmo para todos os pontos.



Essa discussão acerca das propriedades do campo gravitacional vai ser útil para entendermos mais sobre o que ocorre no interior do fio quando há corrente elétrica. Já sabemos que os elétrons livres ficam sujeitos a um movimento adicional, provocado pela ação de uma força elétrica sobre eles. Essa força também é devida a existência de um campo criado pela fonte de energia elétrica: **é o campo elétrico!** Assim, quando um circuito elétrico está fechado e é conectado a uma fonte como pilha, bateria, ou usina, dentro do fio é estabelecido um campo elétrico.

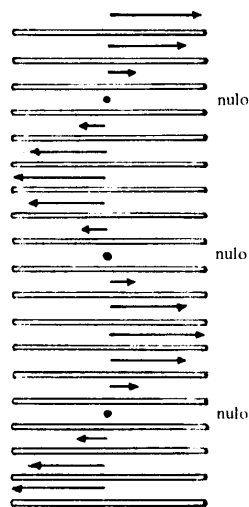


Do mesmo modo que o campo gravitacional age sobre uma massa, o campo elétrico produzido pela fonte agirá sobre todas as partículas eletricamente carregadas, presentes no fio, causando uma força elétrica sobre elas. Em particular ele agirá sobre os elétrons livres e, por isso, eles adquirirão um movimento adicional ao já existente que é o de agitação térmica.

## Contínua e alternada

As pilhas e as baterias geram campo elétricos que não variam com o tempo, o que produz uma corrente elétrica contínua.

Já o gerador das usinas gera campo elétrico que se altera e, por isso, a corrente é variável. Podemos representar essa variação através da figura ao lado.



Como essa variação se repete ao longo do tempo, tanto o campo elétrico gerado pela usina como a corrente elétrica no circuito recebem a denominação de alternado(a).

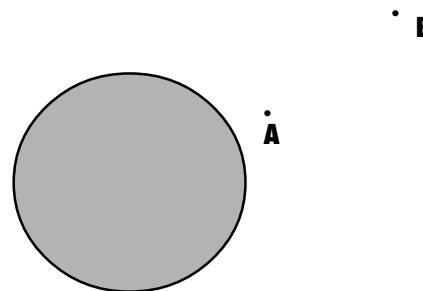
Em nossa residência, a repetição dessa variação ocorre 60 vezes por segundo. Por isso é que aparece nas 'chapinhas' dos aparelhos o valor 60Hz.

A corrente elétrica nos aparelhos ligados à tomada ou diretamente à rede elétrica é do tipo alternada, ou seja, variam com tempo. Assim, os valores indicados nesses aparelhos pelo fabricante, não indicam o valor real mas aquele que os aparelhos necessitariam caso funcionassem com uma fonte que produz corrente contínua.

Para se ter uma idéia, se num chuveiro a corrente elétrica é 20A, esse valor se refere à corrente se a fonte produzisse corrente contínua. Na rede elétrica, entretanto, seu valor varia de +28A até -28A, sendo que os sinais + e - indicam sua alteração no sentido.

## exercitando...

1. Como a física entende o conceito de campo?
2. Na representação do campo gravitacional da Terra pela cor cinza, explique por que no ponto A o valor do campo é maior que em B?



3. Explique como surge a corrente elétrica em um fio metálico usando os conceitos: elétron livre, força elétrica e campo elétrico.
4. O que diferencia a corrente produzida pela pilha de uma usina?
5. Por que a corrente elétrica em um aparelho ligado à tomada é denominado de corrente alternada?
6. Alguns aparelhos trazem a seguinte informação do fabricante: 50-60Hz. O que significa tal informação?
7. Um ferro elétrico tem uma potência de 1000W e funciona ligado à tensão de 110V.
  - a. calcule o valor da corrente elétrica no circuito quando em funcionamento.
  - b. qual o significado do valor encontrado?

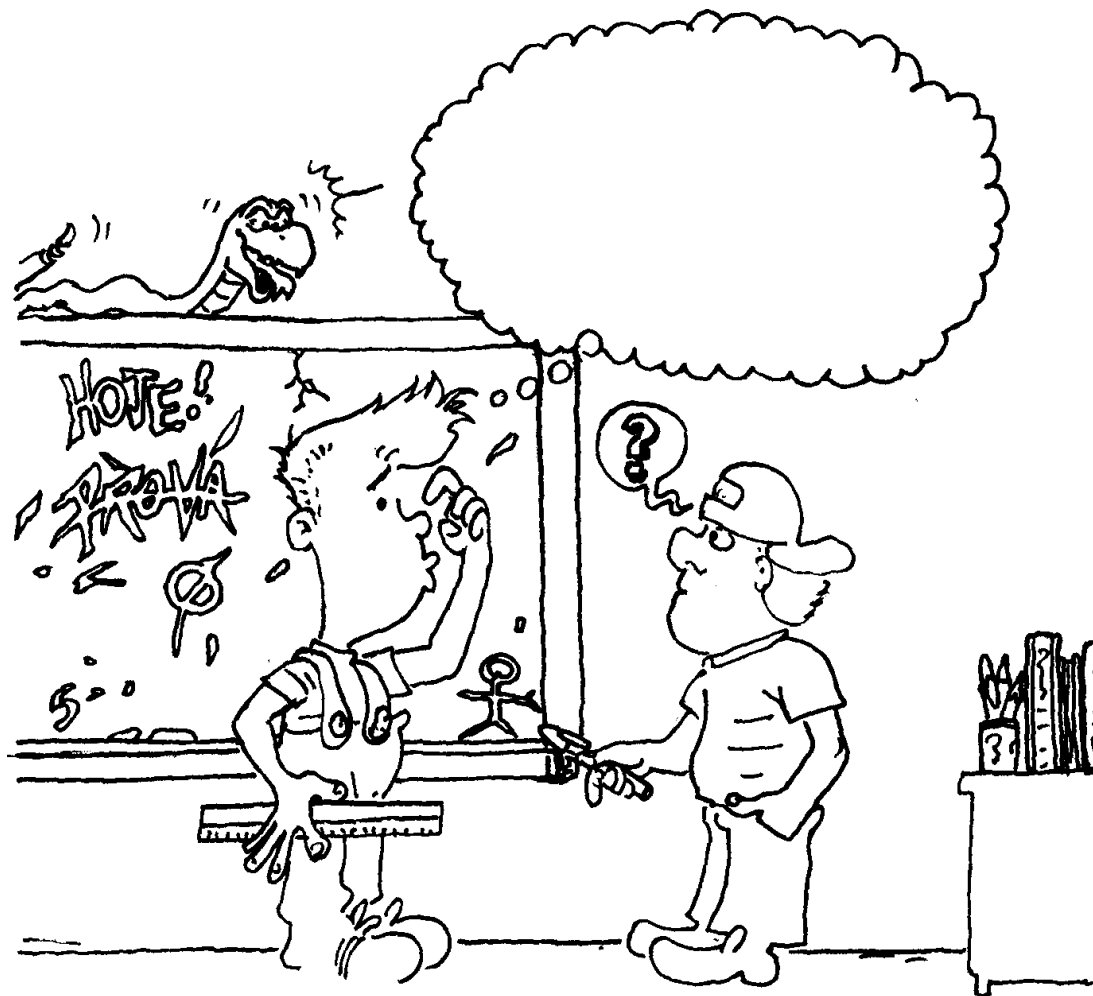
—25—

Exercícios: geradores e  
outros dispositivos (1ª parte)

Chegou a hora de  
fazer uma revisão de  
tudo o que estudamos  
até agora sobre  
geradores de energia  
elétrica.

# EXERCÍCIOS

( Lei de Faraday e de Lenz, modelo de corrente elétrica)



1. Quando empurrarmos um ímã na direção de uma espira (figura a), o agente que causa o movimento do ímã sofrerá sempre a ação de uma força resistente, o que o obrigará à realização de um trabalho a fim de conseguir efetuar o movimento desejado.

a) Explique o aparecimento dessa força resistente.

b) Se cortarmos a espira como mostra a figura (b), será necessário realizar trabalho para movimentar o ímã?

fig. a

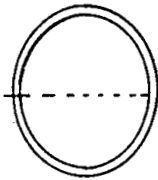
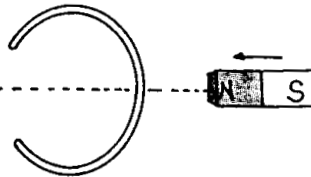
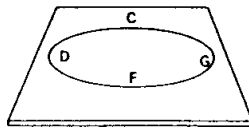


fig. b



2. A figura deste exercício mostra uma espira condutora CDFG, colocada sobre uma mesa horizontal. Um ímã é afastado verticalmente da espira da maneira indicada na figura.



a) O campo magnético estabelecido pelo ímã em pontos do interior da espira está dirigido para baixo ou para cima?

b) As linhas de campo criadas pelo ímã, que atravessam a espira estão aumentando ou diminuindo?

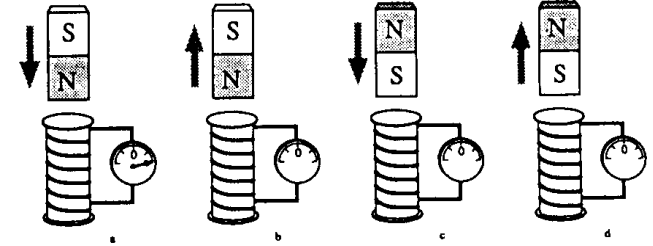
c) Então, o campo magnético que a corrente induzida cria no interior da espira deve estar dirigido para baixo ou para cima?

d) Usando a lei de Lenz determine o sentido da corrente induzida na espira.

3. Se deslocarmos um ímã permanente na direção de um solenóide, como indica a figura (a), o ponteiro de um galvanômetro ligado ao circuito se moverá no sentido indicado.

a) Como se explica o movimento do ponteiro do galvanômetro associado ao solenóide?

b) Indique, nas situações das figuras (b), (c) e (d), o que acontece com o ponteiro do galvanômetro e o sentido da corrente no fio do solenóide.



4. Como é um transformador? Qual é sua função?

5. Um transformador foi construído com um primário constituído por uma bobina de 400 espiras e um secundário com 2 000 espiras. Aplica-se ao primário uma voltagem alternada de 120 volts.

a) Qual a voltagem que será obtida no secundário?

b) Suponha que este transformador esteja sendo usado para alimentar uma lâmpada fluorescente ligada ao seu secundário. Sabendo-se que a corrente no primário vale  $i_1 = 1,5 \text{ A}$ , qual é o valor da corrente  $i_2$  que passa pela lâmpada (suponha que não haja dissipação de energia no transformador)?



### teste seu vestibular...

6. "Os metais de forma geral, tais como o ouro, o cobre, a prata, o ferro, e outros são fundamentais para a existência da sociedade moderna, não só pelo valor que possuem, mas principalmente pela utilidade que têm."

De acordo com a frase acima, e baseado em seus estudos de eletricidade, qual a utilidade dos metais e em que sua estrutura cristalina os auxilia a terem esta utilidade.

7. Ao ligar dois fios de cobre de mesma bitola, porém de comprimentos diferentes, numa mesma pilha, notei que o fio curto esquenta muito mais que o fio longo. Qual a explicação para isto?

8. Ao ligar dois fios de cobre de mesmo comprimento, porém de bitolas diferentes, numa mesma pilha, notei que o fio mais grosso esquenta mais que o fio mais fino. Qual a explicação para este fato?

9. A intensidade da corrente que foi estabelecida em um fio metálico é  $i = 400 \text{ mA}$  ( $1 \text{ mA} = 1 \text{ miliampère} = 10^{-3} \text{ A}$ ). Supondo que esta corrente foi mantida, no fio, durante 10 minutos, calcule:

- a) A quantidade total de carga que passou através de uma seção do fio.
- b) O número de elétrons que passou através desta seção.

10. Qual a intensidade de corrente elétrica que passa por um fio de cobre durante 1 segundo, sendo que, por ele, passam  $1,6 \cdot 10^{19}$  elétrons?

1. Uma corrente elétrica que flui num condutor tem um valor igual a 5A. Pode-se, então, afirmar que a carga que passa numa seção reta do condutor é de:

- a) 1C em cada 5s
- b) 5C em cada 5s
- c)  $1/5\text{C}$  em cada 1s
- d) 1C em cada 1s
- e) 1C em cada  $1/5\text{s}$ .

2. Em uma seção transversal de um fio condutor passa uma carga de 10C a cada 2s. Qual a intensidade de corrente neste fio?

- a) 5A
- b) 20A
- c) 200A
- d) 20mA
- e) 0,2A

3. Uma corrente elétrica de 10A é mantida em um condutor metálico durante dois minutos. Pede-se a carga elétrica que atravessa uma seção do condutor.

- a) 120C
- b) 1200C
- c) 200C
- d) 20C
- e) 600C

4. Uma corrente elétrica de intensidade  $11,2 \cdot 10^{-6} \text{ A}$  percorre um condutor metálico. A carga elementar  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . O tipo e o número de partículas carregadas que atravessam uma seção transversal desse condutor por segundo são:

- a) prótons:  $7,0 \cdot 10^{23}$  partículas.
- b) íons de metal:  $14,0 \cdot 10^{16}$  partículas.
- c) prótons:  $7,0 \cdot 10^{19}$  partículas.
- d) elétrons:  $14,0 \cdot 10^{16}$  partículas.
- e) elétrons:  $7,0 \cdot 10^{13}$  partículas.

5. No esquema, a fig. (1) representa o movimento aleatório de um elétron em um condutor. Após muitos choques, a maior probabilidade do elétron é permanecer nas proximidades do ponto (A). Na fig. (2), o condutor está submetido a um campo elétrico. Assim o elétron se arrasta sistematicamente para a direita, durante cada segmento da trajetória. Se o movimento dá conforme a descrição, é porque o campo elétrico é:

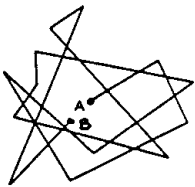


Figura (1)

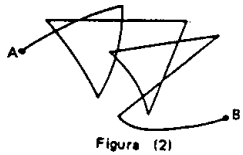


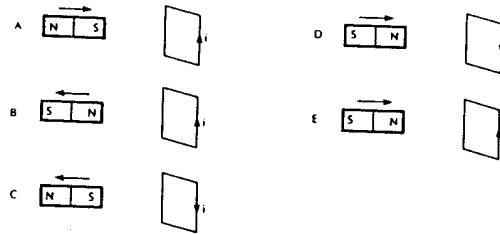
Figura (2)

- a) ( ) horizontal, para a direita
- b) ( ) vertical, para cima
- c) ( ) vertical, para baixo
- d) ( ) horizontal para a esquerda
- e) ( ) diferente dos casos citados acima

6. A lei de Lenz determina o sentido da corrente induzida. Tal lei diz que a corrente induzida:

- a) ( ) surge em sentido tal, que tende a reforçar a causa que lhe deu origem.
- b) ( ) surge sempre num sentido que tende a anular a causa que lhe dá origem.
- c) ( ) aparece num sentido difícil de ser determinado.
- d) ( ) há duas alternativas certas.
- e) ( ) aparece sempre que alteramos a forma de uma espira

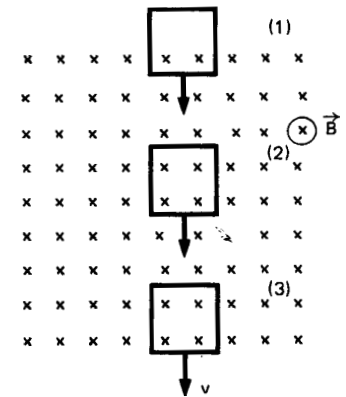
7. Aproximando ou afastando um ímã de uma espira condutora retangular, a variação do fluxo de indução magnética determina o aparecimento de uma corrente elétrica induzida  $i$ .



Qual a figura que melhor representa a corrente elétrica induzida?

- a) ( ) A
- b) ( ) B
- c) ( ) C
- d) ( ) D
- e) ( ) E

8. A figura mostra três posições sucessivas de uma espira condutora que se desloca com velocidade constante numa região em que há um campo magnético uniforme, perpendicular à página e para dentro da página. Selecione a alternativa que supre as omissões nas frases seguintes:



I - Na posição (1), a espira está penetrando na região onde existe o campo magnético e, conseqüentemente, está..... o fluxo magnético através da espira.

II - Na posição (2), não há .....na espira.

III - Na posição (3), a corrente elétrica induzida na espira, em relação à corrente induzida na posição (1), tem sentido .....

- a) ( ) aumentando, fluxo, igual
- b) ( ) diminuindo, corrente, contrário
- c) ( ) diminuindo, fluxo, contrário
- d) ( ) aumentando, corrente, contrário
- e) ( ) diminuindo, fluxo, igual

# —26—

Alô, ..., pronto.  
Desculpe, engano!

Nessa aula você vai aprender como o som é transformado em eletricidade e depois recuperado como som

**Alô ... pronto; desculpe .... engano.**

**Quem não disse uma destas frases ao telefone! Mas quem sabe o que ocorre com a voz que vai e a voz que vem?**



## Atividade: Operação desmonte

**Arrume um alto-falante usado, que possa ser desmontado mas antes, observe-o e responda as questões a seguir:**

**a. que materiais fazem parte de sua fabricação?**

**b. o que torna o alto falante tão pesado?**

**c. qual o elo de ligação entre o cone de papelão e a base?**

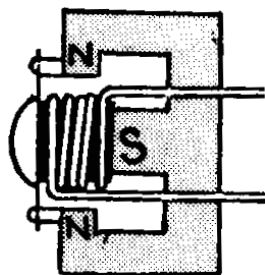


**d. agora sim! abra o interior do alto-falante e verifique os demais componentes**

O microfone é um dispositivo utilizado para converter o som - energia mecânica - em energia elétrica. Os modelos mais comuns possuem um diafragma que vibra de acordo com as pressões exercidas pelas ondas sonoras.

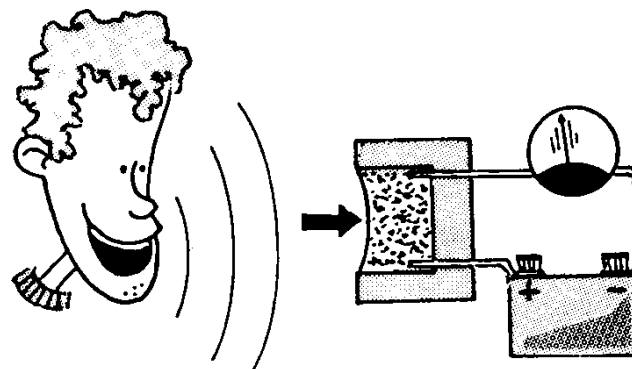


No microfone de indução, as variações de pressão do ar movimentam uma

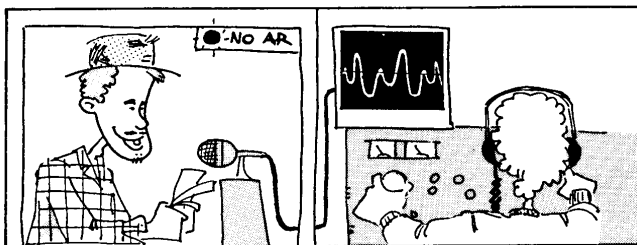


bobina que está sob ação de um campo magnético produzido por um ímã permanente. Nesse caso, com o movimento, surge na bobina uma corrente elétrica induzida devida à força magnética, que atua sobre os elétrons livres do condutor.

Nos microfones mais antigos - os que utilizam carvão - as variações de pressão do ar atingem o pó de carvão, comprimindo-o e descomprimindo-o. Este pó de carvão faz parte de um circuito elétrico que inclui uma fonte de energia elétrica. A compressão aproxima os grãos de carvão, diminuindo a resistência elétrica do circuito. Desta forma, a corrente elétrica varia de intensidade com o mesmo ritmo das alterações da pressão do ar.



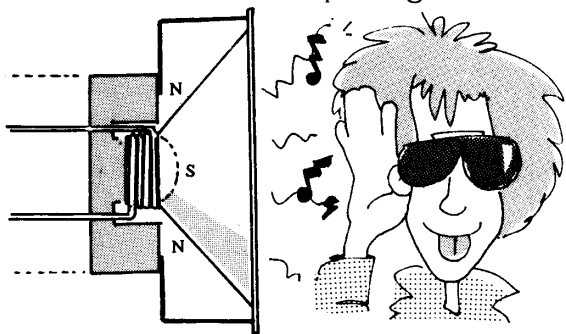
A corrente elétrica obtida no microfone, que representa o som transformado, é do tipo alternada e de baixa frequência. Assim, o som transformado em corrente elétrica pode ser representado conforme a figura a seguir.



No alto-falante ocorre a transformação inversa àquela do microfone: a corrente elétrica é transformada em vibrações mecânicas do ar, reconstituindo o som inicial.

Para tanto, é necessário o uso de uma bobina, um cone (em geral de papelão) e um ímã permanente ou um eletroímã.

Quando a corrente elétrica, que representa o som transformado, se estabelece na bobina do alto-falante, pelo fato de ela estar sob a ação de um campo magnético criado por um ímã (ou por um eletroímã), a bobina com corrente elétrica fica sob a ação de forças e entra em movimento. A intensidade das forças magnéticas depende da intensidade da corrente elétrica que atinge a bobina.

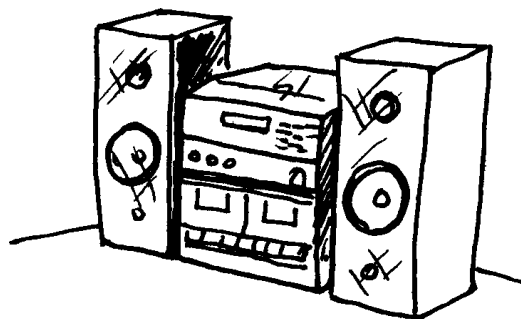


Como a bobina e o cone estão unidos quando ela entra em movimento, as vibrações mecânicas do cone se transferem para o ar, reconstituindo o som que atingiu o microfone.

Os primeiros alto-falantes surgiram entre 1924 e 1925, como equipamento capaz de amplificar o som produzido pelos fonógrafos elétricos primitivos.



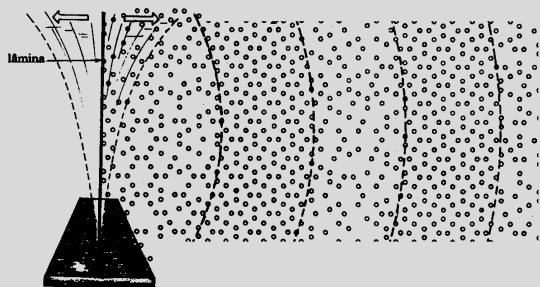
Para melhorar a reprodução e reduzir os efeitos de interferência, o alto-falante passou a ser montado em caixa acústica.



As caixas acústicas de alta qualidade possuem sempre mais de um alto-falante, para cobrir melhor toda faixa de frequência audíveis. As unidades pequenas (tweeters), com diafragma de apenas 3 a 5 cm, são responsáveis pela faixa de frequência dos sons agudos. Além do tweeter (uma ou mais unidades), a caixa deve possuir um alto-falante de baixa frequência (woofer) de 25 cm (10 polegadas) de diâmetro, cobrindo a faixa de frequência que vai de aproximadamente 300 a 500 hertz, e uma unidade de frequência intermediária, de mais ou menos 15 cm (6 polegadas) de diâmetro, apresenta entre 500 hz e 4 k Hz.

# Que tal um pouco de som?

As ondas sonoras são variações da pressão do ar, e sua propagação depende assim de um meio material. À medida que a onda se propaga, o ar é primeiro comprimido e depois rarefeito, pois é a mudança de pressão no ar que produz o som.



As ondas sonoras capazes de ser apreciados pelo ouvido humano têm frequências variáveis entre cerca de 20 hertz e 20 000 hertz.

A voz feminina produz um som cuja frequência varia de entre 200 Hz a 250Hz, enquanto a masculina apresenta uma variação de 100 a 125 Hz.

Para transmitir a voz humana ou uma música é preciso converter as ondas sonoras em sinais elétricos, e depois reconvertê-los em sonoras a fim de que possam ser ouvidas. O primeiro papel é desempenhado pelo microfone e segundo pelo alto-falante.

No ar à temperatura ambiente, o som se propaga com uma velocidade aproximada de 340m/s. Já a luz viaja a quase 300.000 km/s. É por esta razão que o trovão é ouvido depois da visão do relâmpago.

| matéria | temperatura (C) | velocidade (m/s) |
|---------|-----------------|------------------|
| água    | 15              | 1450             |
| ferro   | 20              | 5130             |
| granito | 20              | 6000             |

Além da frequência, as ondas sonoras também são caracterizadas pelo seu tamanho ou comprimento de onda.

Esse comprimento pode ser calculado por uma expressão que o relaciona com sua frequência e velocidade de propagação:

$$\text{velocidade} = \text{frequência} \times \text{comprimento de onda}$$

Para se ter uma idéia do tamanho das ondas sonoras audíveis pelos seres humanos, basta dividirmos o valor da velocidade de sua propagação pela sua frequência. Assim, para 20Hz, o comprimento da onda sonora será de 17 metros. Já para ondas sonoras de 20.000 Hz, o comprimento da onda será de 1,7 cm.

As ondas sonoras são ondas mecânicas que precisam de um meio material para se propagarem, provocando vibração deste meio no mesmo sentido de sua propagação. Por esta razão, elas são denominadas de **ondas longitudinais**. O vácuo não transmite o som, pois ele precisa de um meio material para se propagar.

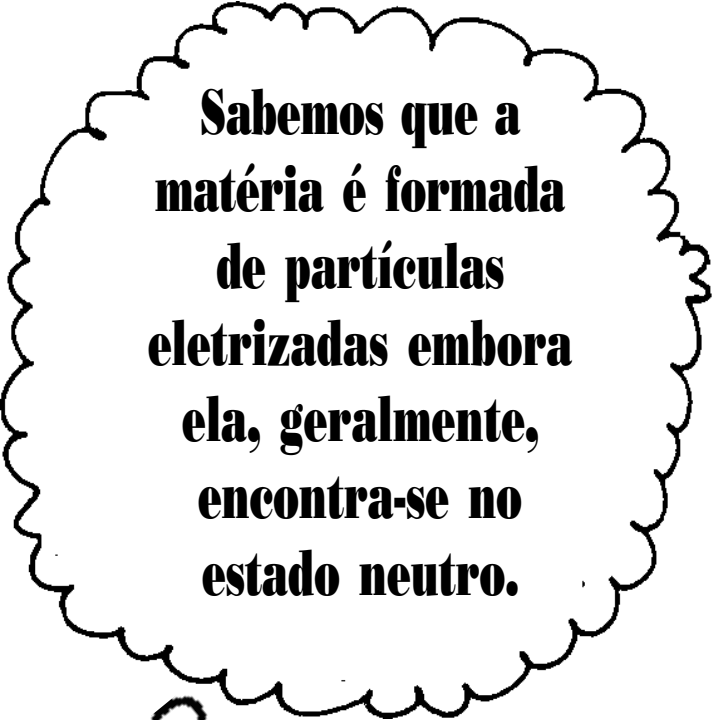
## exercitando...

1. De que modo o microfone de indução faz a transformação do som em corrente elétrica?
2. Qual o princípio de funcionamento do microfone que usa carvão?
3. Qual o tipo de transformação de energia que ocorre no alto-falante?
4. O som se propaga no vácuo? justifique.
5. Calcule o comprimento de onda de uma onda sonora cuja frequência é 250Hz e se propaga no ar com uma velocidade de 340 m/s.
6. Calcule o comprimento de onda do som do exercício anterior, admitindo que sua propagação agora se dá na água com uma velocidade de 1400 m/s.
7. As ondas sonoras tem frequência de 20 a 20.000 Hz. Que valores de comprimento de onda delimitam estas frequências?

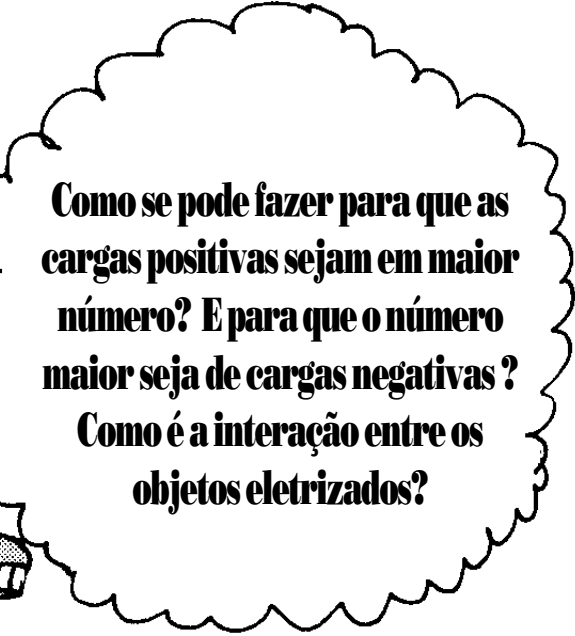
# 27

## Força e Campo Elétrico

Nesta aula você  
vai estudar a  
interação entre as  
partículas  
eletrizadas.



**Sabemos que a  
matéria é formada  
de partículas  
eletrizadas embora  
ela, geralmente,  
encontra-se no  
estado neutro.**

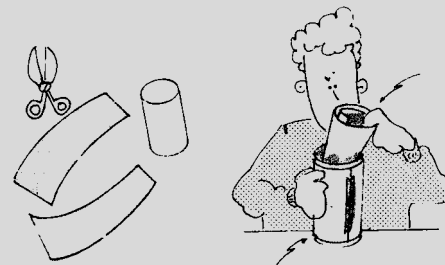


**Como se pode fazer para que as  
cargas positivas sejam em maior  
número? E para que o número  
maior seja de cargas negativas?  
Como é a interação entre os  
objetos eletrizados?**

### Acumulador de cargas

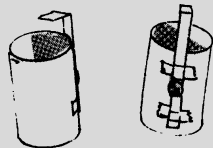
As pilhas e baterias, através de processos químicos, separam cargas elétricas, acumulando-as em seus terminais. Porém, não só os processos químicos realizam essa separação.

Utilizando um pequeno recipiente de material isolante (por exemplo, um tubo de plástico acondicionador de filmes fotográficos), dois colchetes de prender papel, um pedaço de bombril, e um pedaço de papel alumínio, propomos nesta atividade a construção de um armazenador de cargas, cujo funcionamento baseia-se nos processos de eletrização por atrito, por contato e por indução.



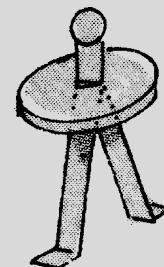
#### Procedimentos:

1. Recorte dois pedaços de papel alumínio. Fixe um deles na parede interna do tubo plástico e cole o outro na sua lateral externa.

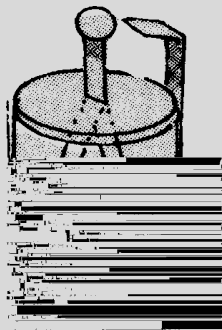


2. Preencha cerca de 1/3 do tubo com bombril.

3. Abra um dos colchetes, dobre uma de suas extremidades formando um L e prenda-o com fita adesiva à lateral externa do tubo sobre o papel alumínio.



4. Perfure a tampa do tubo, passe o outro colchete pelo orifício e abra suas hastes de forma que possam ter contato com a área preenchida pelo bombril.



5. Coloque a tampa no tubo e ajuste o colchete de forma que sua altura coincida com a do que foi fixado à lateral do tubo.

6. Para acumular carga elétrica na garrafa, fricção um canudinho de refrigerante (ou pedaço de acetato) com um pedaço de papel higiênico ou pano seco, a fim de eletrizá-lo. Segure o tubo pela parede lateral e passe o plástico eletrizado na "cabeça" do colchete para transferir carga elétrica do plástico para o colchete. Com esse procedimento este capacitor está "carregado".

7. Aproxime lentamente o colchete fixo à parede externa da "cabeça" do outro preso à tampa do tubo. O que ocorre? você tem alguma explicação para isto?

8. Tanto as baterias como as pilhas acumulam cargas elétricas, baseados no processo de separação de cargas. O que os diferencia?

\*Adaptação da construção proposta na Revista de Ensino de Ciências, FUNBEC, n. 16, set/1986



Quando o canudo é atritado com o papel higiênico ou pano seco, provocamos sua eletrização. Nesta situação, o plástico eletrizado transfere cargas elétricas para o colchete da tampa, quando estabelecemos o contato entre eles. Tais cargas são transferidas para a parte interna através dos materiais condutores de eletricidade. Repetindo-se várias vezes esse procedimento, pode-se acumular uma certa quantidade de cargas. Essa eletrização provoca uma outra separação de cargas elétricas na haste lateral, só que de sinal contrário àquela que lhe deu origem.

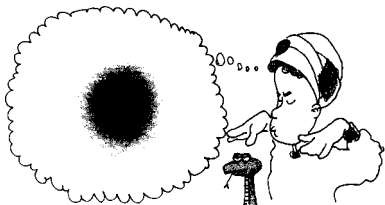
Ao fazermos a aproximação entre a extremidade lateral e o colchete, estabelecemos uma forte atração elétrica entre cargas de sinais opostos, que permite o movimento das cargas negativas através do ar. Tais cargas ionizam as moléculas presentes no ar, que emitem luz ( a faísca).

## Um pouco mais além

(nada a ver com Matusalém)

Uma carga elétrica possui sempre em torno de si um campo elétrico. Esse campo é uma propriedade da carga. Ela sempre traz consigo seu campo, sendo impossível separá-los. Pode-se pensar no campo elétrico como sendo uma parte real, mas não material de uma partícula carregada que a envolve, preenchendo todo o espaço que a circunda.

O conceito de campo elétrico podemos entender como sendo uma "aura" que envolve a carga elétrica.



Não existe carga elétrica sem campo. Por exemplo, quando damos "um puxão" em uma carga fazemos com que ela se mova, o campo elétrico também é arrastado junto com a carga. O campo elétrico de uma carga é eterno, sendo, por isso, incorreto pensar que uma carga emite campo elétrico. Essa idéia pode ser melhor compreendida com uma comparação entre um frasco de perfume e a carga elétrica.

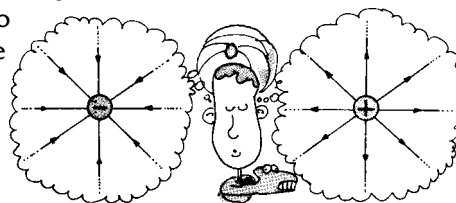
Cada carga possui seu campo elétrico e a relação entre os dois não pode ser modificada de nenhum modo. Com isso queremos dizer que a relação entre uma carga e o seu campo não se modifica quando colocamos ou retiramos outras cargas elétricas na mesma região do espaço.

O campo elétrico é uma grandeza vetorial e, portanto, deve ser caracterizado por intensidade, direção e sentido.

A intensidade do campo elétrico de uma carga puntiforme\* em repouso diminui com a distância.

A direção do campo de uma carga puntiforme é radial, ou seja, num determinado ponto o campo tem a direção da reta que une esse ponto à carga.

Essas duas características, intensidade e direção do campo elétrico são as mesmas para cargas positivas e negativas. Entretanto, o sentido do campo elétrico depende do tipo de carga considerado: para uma carga positiva o campo é radial e diverge da carga, e para uma negativa ele é radial e converge para ela.\*\*



Quando uma outra carga elétrica  $q$  é colocada no campo elétrico criado por uma carga  $Q$ , o campo elétrico criado pela carga  $Q$  atua sobre a carga  $q$  exercendo nela uma força  $F$ .

O sentido da força elétrica sobre a carga  $q$  será o mesmo do campo elétrico se esta carga for do tipo positiva. Se a carga  $q$  for do tipo negativa, o sentido da força elétrica sobre ela será oposto ao campo elétrico.

Qualquer carga tem o seu próprio campo elétrico e desse modo a carga  $Q$  imersa no campo da carga  $q$  também sofre a ação desse campo. Isso explica a atração ou a repulsão entre dois corpos eletrizados.

\*Uma carga é denominada puntiforme quando o objeto em que está localizada possui dimensões muito pequenas em relação à distância que o separa de outros objetos.

\*\*O sentido "convergente" ou "divergente" para o campo elétrico das cargas positivas e negativas é mera convenção.



## A lei de Coulomb

O campo elétrico de uma carga está associado a sua "capacidade" de poder criar forças elétricas sobre outras cargas elétricas. Essa capacidade está presente em torno de uma carga, independente de existirem ou não outras cargas em torno dela capazes de "sentir" esse campo.

O campo elétrico **E** em um ponto **P**, criado por uma carga **Q** puntiforme em repouso, tem as seguintes características:

- a direção é dada pela reta que une o ponto **P** e a carga **Q**.

- o sentido de **E** aponta para **P** se **Q** é positiva; e no sentido oposto se **Q** é negativa.

- o módulo de **E** é dado

pela expressão: 
$$E = K \cdot \frac{Q}{d^2}$$

onde **K** é uma constante que no SI e vale:  $9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ .

A intensidade da força elétrica entre duas cargas **Q** e **q** é dada pela expressão que representa a **lei de Coulomb**;

$$F = K \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2}$$

onde **d** é a distância entre as cargas.



Quando uma carga elétrica **Q** está imersa num campo elétrico **E**, o valor da força elétrica que age sobre ela é dada por:

$$F = Q \cdot E$$

No sistema internacional de unidades, a força é medida em newton (N), a carga elétrica em coulomb (C) e o campo elétrico em newton/coulomb (N/C).

## exercitando ...

1. Representar as forças elétricas em cada situação:

a.)



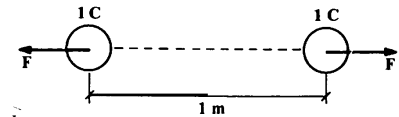
b.)



c.)



2. Determine a intensidade da força de repulsão entre duas cargas iguais a 1C, que se encontram no vácuo, distanciadas em 1m.

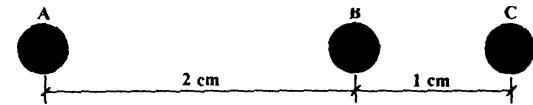


3. Três corpos com cargas elétricas iguais são colocadas como indica a figura abaixo. A intensidade da força elétrica que A exerce em B é de  $F = 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ N}$ :

Determinar a intensidade da força elétrica:

a) que C exerce em B

b) resultante no corpo B



4. Podemos eletrizar um objeto neutro através do atrito com outro objeto neutro, ou através de um objeto carregado. É possível eletrizarmos um objeto sem atrito ou contato? Como?

5. Analise o texto a seguir e diga se é verdadeiro ou falso:

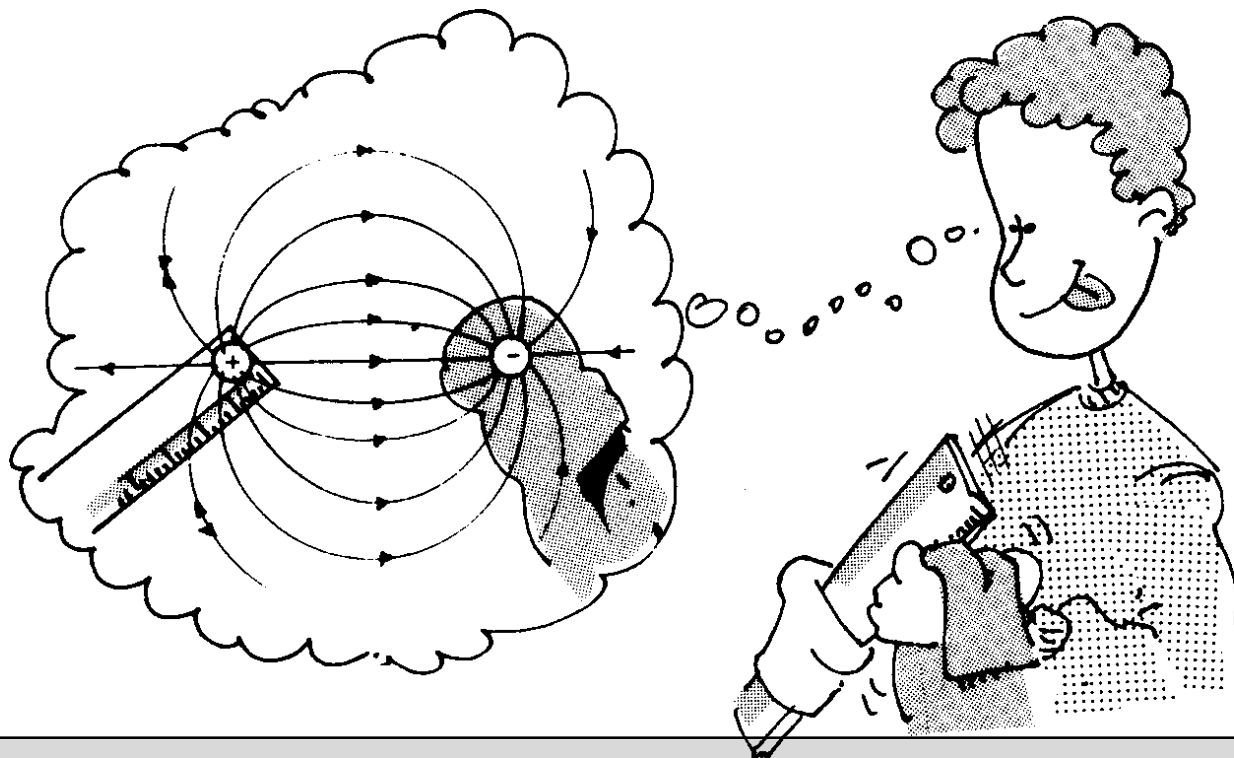
"O fato de uma carga poder exercer força sobre a outra através do campo está de acordo com o princípio de ação e reação (3ª lei de Newton). Segundo este princípio, podemos considerar as forças **F** e **F'** como par de ação e reação que tem, portanto, o mesmo módulo, porém sentidos opostos, além de estarem aplicados a corpos diferentes.."



# —28—

## A interação elétrica e seu papel no mundo

Você vai ver a  
importância da  
interação de natureza  
elétrica no mundo  
que nos cerca



**(des)Acredite se puder!!!!**

**Sem exagero, todas as propriedades do mundo material que nos cerca  
devem-se às interações elétricas! Difícil de aceitar?  
Você mesmo poderá verificar lendo as páginas a seguir.**

A eletricidade está muito mais presente em nossa vida que podemos pensar.

Você consegue enxergar as letras deste livro por que elas são capazes de "desviar" a luz emitida por alguma fonte: o Sol, as lâmpadas... . Isso ocorre porque as cargas elétricas têm a capacidade de 'desviar' a luz.

Durante o processo de impressão desse livro, cada letra é fixada no papel devido a forças elétricas. O papel é constituído de fibras e ele não se desfaz porque elas estão presas entre si por forças de origem elétrica.

Da mesma forma, a solidez de cadeira que você sente como a de todos os objetos da sala em que você se encontra é devida a forças de natureza elétrica.

Mesmo o oxigênio que respiramos é incorporado ao sangue por meio de forças elétricas. Essas forças também estão presentes na transformação dos alimentos, na transmissão dos sinais nervosos, no funcionamento de cada célula ...

Todos os sentidos funcionam à base de forças elétricas!

Em resumo, todas as forças percebidas e sentidas por nós têm origem elétrica, com exceção da força gravitacional ou peso.

Ainda não está convencido? Então vejamos...

### Desafio n° 01

IMAGINE UMA SITUAÇÃO HIPOTÉTICA EM QUE NÓS PUDÉSSEMOS

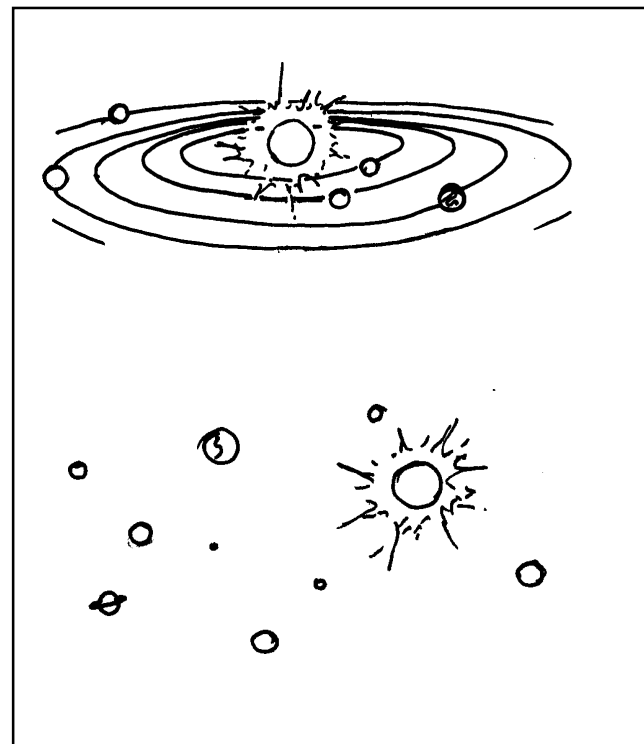
"DESLIGAR" A FORÇA GRAVITACIONAL NO SISTEMA SOLAR,

DEIXANDO INALTERADAS AS FORÇAS ELÉTRICAS.

QUE MUDANÇAS OCORRERIAM AO NOSSO MUNDO?

Para orientar o pensamento procure imaginar como ficaria o seu planeta e depois o sistema solar.

Procure representar as imagens que lhe vieram à cabeça por meio de desenhos.

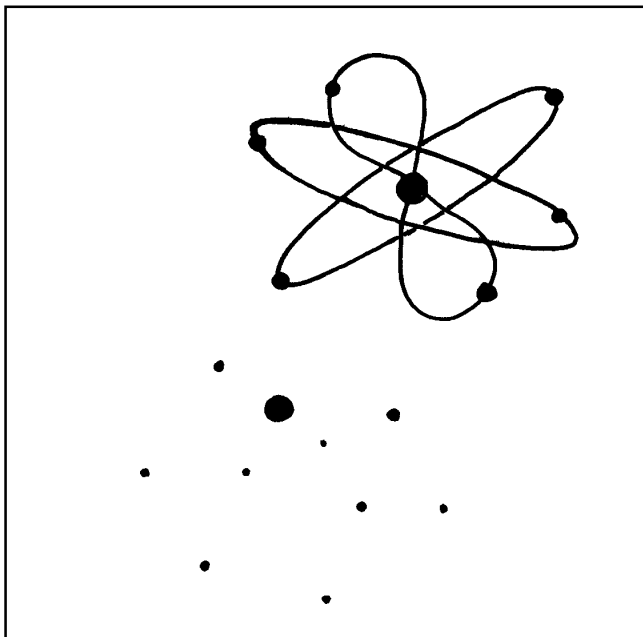


A Terra se desligaria do Sistema Solar e sairia numa trajetória reta com movimento uniforme ( Lei da Inércia). Devido à rotação em seu próprio eixo, todos os objetos da sua superfície, incluindo a atmosfera e nós próprios, seriam lançados tangencialmente e dispersariam-se pelo espaço. A Terra perderia sua forma esférica. Os objetos lançados no espaço, entretanto, não se desagregariam.

## Desafio n° 02

A PARTIR DE AGORA VAMOS INVERTER A SITUAÇÃO:  
IMAGINE O QUE ACONTECERIA COM A TERRA SE  
MANTIVERMOS A FORÇA GRAVITACIONAL E  
"DESLIGÁSSEMOS" AS FORÇAS ELÉTRICAS.

Para orientar o seu pensamento não esqueça que os átomos são constituídos de partículas eletrizadas e que isso possibilita não somente a estabilidade deles bem como a união entre eles.



Uma vez que são as forças elétricas que predem o núcleo atômico aos elétrons, se desligarmos tais forças os elétrons se desprenderiam. Desse modo, os átomos, as moléculas e os corpos sólidos deixariam de existir. Os núcleos atômicos continuariam a existir, porque o que mantém os prótons ligados uns aos outros e aos nêutrons é uma outra força, de natureza também atrativa denominada de **força forte**. Como resultado desse processo, a Terra se tornaria um grande aglomerado de núcleos atômicos, cujo volume ocupado seria muito menor.

Isso é explicado pelo fato de que um núcleo atômico é cerca de **100.000** vezes **menor** que o tamanho do **átomo**.

## Desafio n° 03

SE AS FORÇAS ELÉTRICAS FOSSEM DESLIGADAS,  
A MASSA DA TERRA SOFRERIA ALTERAÇÃO???

Para responder a esse desafio procure levar em conta as massas das partículas que constituem o átomo. Lembre-se que os prótons e os nêutrons têm massa praticamente iguais e que a massa do elétron é cerca de **1840** vezes **menor** que a massa de um próton.

Sendo assim, a massa do núcleo atômico representa **99,99%** da massa do átomo!



## A interação elétrica e os

### aglomerados de matéria

Os elétrons estão "presos" ao núcleo devido às forças elétricas. Tais forças são atrativas já que as cargas elétricas dos prótons e dos elétrons são de tipos diferentes.

É devido também à interação elétrica que os átomos se juntam formando moléculas, que representam a menor parte de uma substância. Estas, por sua vez, ligam-se umas às outras, também por forças atrativas de natureza elétrica.

Assim sendo, tais forças é que são responsáveis pela coesão e propriedades elásticas dos sólidos, pelas propriedades dos líquidos como a viscosidade e também pelas propriedades dos gases.

## RAPIDINHAS E BOAS

a. os gases não têm forma nem volume, conforme já estudamos. Explique, utilizando a idéia de interações elétricas entre as moléculas e entre as partículas que formam os átomos.

b. a olho nú temos a sensação que uma folha de papel é um contínuo de matéria. E do ponto de vista atômico?

## Desafio n° 04

PORQUE NÃO OBSERVAMOS OS EFEITOS ASSOCIADOS  
AOS CAMPOS ELÉTRICO NOS MATERIAIS?

O papel desta folha, por exemplo, é formado por cargas elétricas que interagem entre si: os prótons se repelem enquanto os prótons atraem os elétrons. O mesmo se pode falar para os outros tipos de materiais.

No estado neutro, a quantidade de prótons é igual a de elétrons e não sentimos a presença dos campo elétricos criados por tais cargas elétricas. Por que isso acontece?

Podemos pensar que os campos elétricos criados por estas cargas estão "escondidos" uma vez que as quantidades destas cargas são iguais. Os átomos são muito pequenos e à uma certa distância, os elétrons parecem estar muito próximos dos prótons. Isso faz com que o campo elétrico de um seja praticamente encoberto pelo campo do outro.

Sendo assim, embora o campo elétrico das partículas que formam o átomo influencie as dos átomos vizinhos, formando moléculas, ele não é percebido a grandes distâncias, quando comparadas ao tamanho do átomo.

## AGORA, A penÚLTIMA...

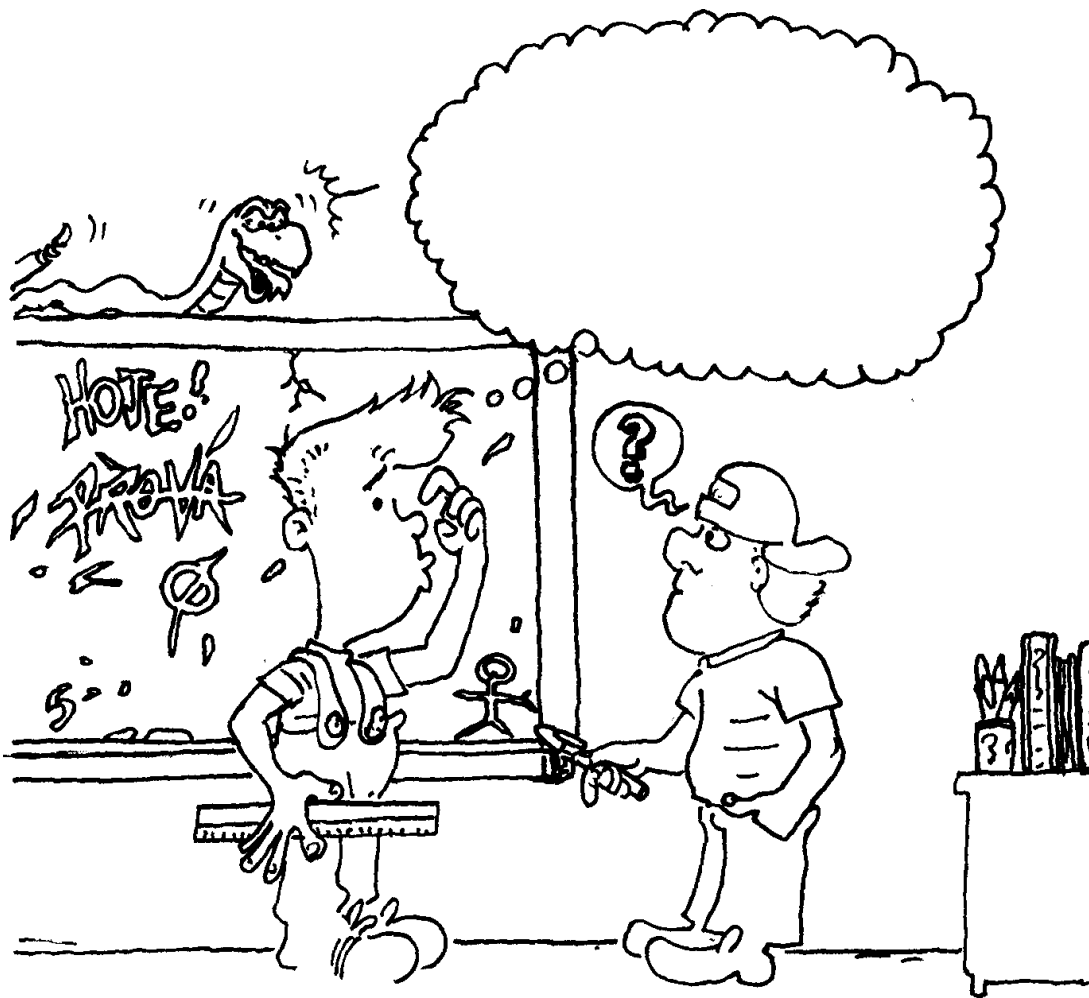
**Quando ocorre eletrização por atrito, pode-se perceber a presença dos campos elétricos produzidos pelos prótons e elétrons. Como se explica?**

## Exercícios: geradores e outros dispositivos (2ª parte)

Vamos fazer uma revisão do que você aprendeu sobre as pilhas, baterias e as propriedades elétricas da matéria

# EXERCÍCIOS

( Processos de separação de cargas elétricas, lei de Coulomb)

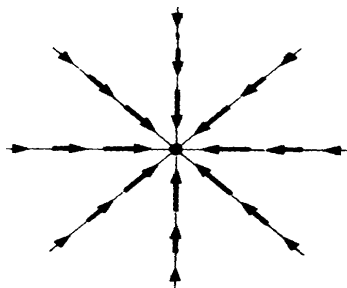


1. Um estudante possui um rádio que funciona com uma voltagem constante de 6 V.
  - a) Quantas pilhas secas deve o estudante associar em série para fazer funcionar o seu rádio?
  - b) Faça um desenho mostrando como deve ser a disposição das pilhas na associação feita pelo estudante.
2. Qual é o tipo de corrente fornecida pelas companhias elétricas às nossas residências?
- 3) Descreva como é montada uma bateria de automóvel.
4. Quando ligamos os pólos de uma bateria por meio de um fio condutor, qual é o sentido:
  - a) da corrente que passa neste fio?
  - b) do movimento dos elétrons livres?
5. Os dínamos, os alternadores e os acendedores de fogão sem fio, podem ser classificados como fontes de energia elétrica.
  - a. explique por que isso é correto.
  - b. quais as transformações de energia envolvidas.
6. Quais as maneiras pelas quais podemos eletrizar objetos inicialmente neutros. Explique cada um deles.
7. Tomar choque elétrico ao passar pelo tapete ou ao deslizar sobre o assento do automóvel é uma experiência bastante comum.
  - a. explique porque isso ocorre.
  - b. por que esse efeito não ocorre quando se está parado sobre o tapete?
8. A respeito do acumulador de cargas construído na aula 27, responda?
  - a. qual ou quais os processos de eletrização envolvidos?
  - b. como se explica o surgimento da faísca elétrica?
9. Segundo a Lei de Coulomb, o valor da força elétrica entre duas cargas é:
  - I. proporcional ao produto das cargas;
  - II. proporcional à distância entre as cargas;
  - III. inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as cargas;
  - IV. inversamente proporcional ao produto das cargas
 Das quatro afirmações acima, estão **ERRADAS**:
  - a. I e III
  - b. II e IV
  - c. II e III
  - d. I, II e IV
  - e. I e II
10. Apesar de a olho nú parecer "cheio" um pedaço de matéria é na verdade um aglomerado de átomos na escala microscópica, onde prevalece o vazio.
  - a. a afirmação acima é verdadeira ou falsa? justifique.
  - b. explique então por que podemos colocar um objeto sobre outro e ele assim permanece.

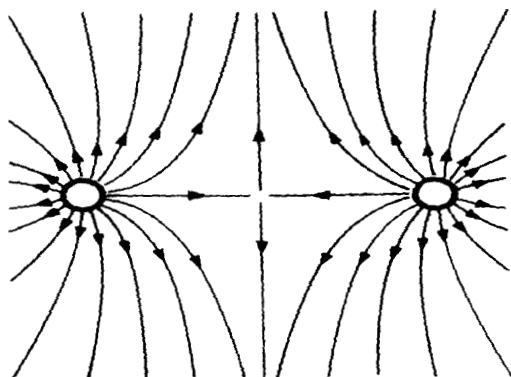


11. As figuras abaixo ilustram o campo elétrico criado por uma ou duas cargas próximas. Identifique o sinal de cada carga.

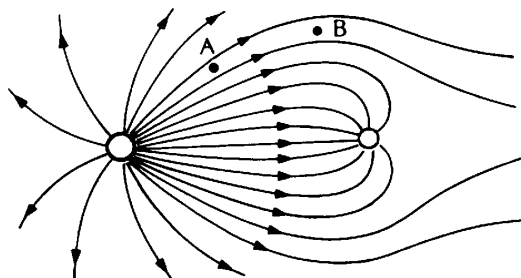
a.



b.



c.



### teste seu vestibular...

1. Um íon imerso num campo elétrico ficará:

- a) ( ) sempre sujeito à ação de uma força magnética.
- b) ( ) sob a ação de força elétrica, sempre que estiver em movimento.
- c) ( ) sob a ação de força elétrica, qualquer que seja sua posição em relação à linhas de campo.
- d) ( ) sob a ação de força elétrica, se estiver em movimento não paralelo às linhas de campo.

2. A corrente elétrica que passa por um fio metálico:

- a) ( ) só produz campo elétrico.
- b) ( ) só produz campo magnético no interior do fio.
- c) ( ) apresenta no condutor o efeito joule e produz um campo magnético ao seu redor.
- d) ( ) produz campo magnético somente se a corrente for variável.
- e) ( ) n.d.a.

3. Uma partícula eletrizada tem 3 gramas de massa e carga elétrica  $3 \cdot 10^{-9}$  C. Ela está em repouso sob a ação do campo elétrico e do campo gravitacional terrestre. Considerando que  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , responda:

- a. qual deve ser a direção e sentido do campo elétrico? justifique.
- b. qual o valor da força elétrica que age sobre a carga?
- c. qual o valor do campo elétrico na região onde se encontra a carga?

4. Três esferas de isopor, M, N e P, estão suspensas por fios isolantes. Quando se aproxima N de P, nota-se uma repulsão entre estas esferas; quando se aproxima N de M, nota-se uma atração. Das possibilidades apontadas na tabela abaixo, quais são compatíveis com as observações?

| POSSIBILIDADE | M    | N | P    |
|---------------|------|---|------|
| 1             | +    | + | -    |
| 2             | -    | - | +    |
| 3             | zero | - | zero |
| 4             | -    | + | +    |
| 5             | +    | - | -    |

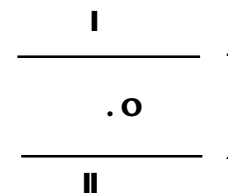
5. Se um condutor eletrizado positivamente for aproximado de um condutor neutro, sem tocá-lo, pode-se afirmar que o condutor neutro:

- conserva sua carga total nula, mas é atraído pelo eletrizado.
- eletriza-se negativamente e é atraído pelo eletrizado.
- eletriza-se positivamente e é repellido pelo eletrizado.
- conserva a sua carga total nula e não é atraído pelo eletrizado.
- fica com a metade da carga do condutor eletrizado

6. Duas cargas elétricas Q e q se atraem com uma força elétrica F. Para quadruplicar a força entre as cargas, é necessário:

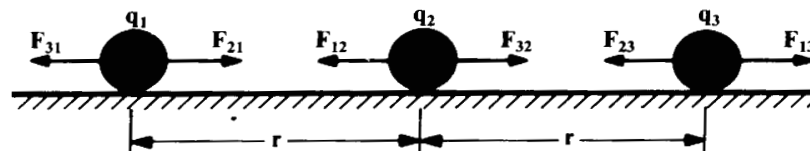
- duplicar a distância entre elas;
- quadruplicar a distância entre elas;
- dividir por dois a distância entre elas;
- dividir por quatro a distância entre elas;
- duplicar o valor de Q ou de q.

7. O ponto O está imerso numa região onde há um campo elétrico produzido por duas placas I e II. Qual dos vetores melhor representa o campo elétrico nesse ponto?



- ↑
- ↓
- 
- ←
- n.d.a

8. Três pequenas esferas estão carregadas eletricamente com cargas  $q_1, q_2$  e  $q_3$  e alinhadas sobre um plano horizontal sem atrito, conforme a figura.



Nesta situação elas encontram-se em equilíbrio. A carga da esfera  $q_2$  é positiva e vale  $2,7 \cdot 10^{-4} \text{ C}$ .

- determine os sinais das outras cargas .
- calcule os valores de  $q_1$  e  $q_3$  .
- se  $q_1$  e  $q_3$  forem fixas o que ocorrerá com  $q_2$  ?