

# 1. Algumas aplicações do magnetismo

## Campainha de corrente alternada

No capítulo anterior descrevemos uma campainha de corrente contínua. A campainha de corrente alternada tem um funcionamento mais simples, como está esquematizado na figura 1. Uma corrente alternada tem momentos em que sua intensidade é nula e, assim, deixa de atrair a armadura *A*. Quando a intensidade da corrente é diferente de zero, ela atrai a armadura e o martelo *M* bate na campânula *C*.

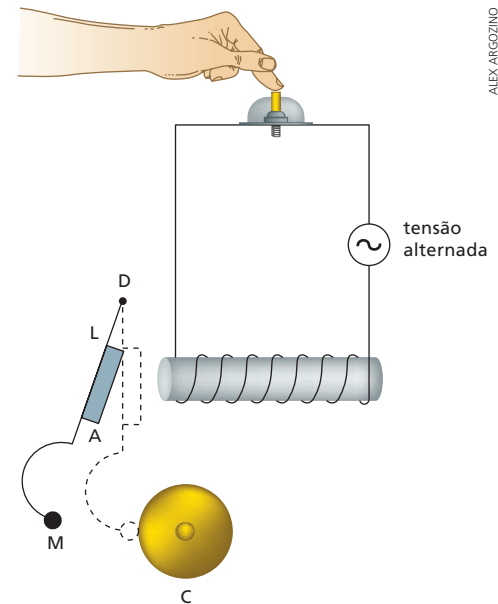


Figura 1.

## Microfone

Existem vários tipos de microfone. Um desses tipos funciona baseado na indução eletromagnética (fig. 2).

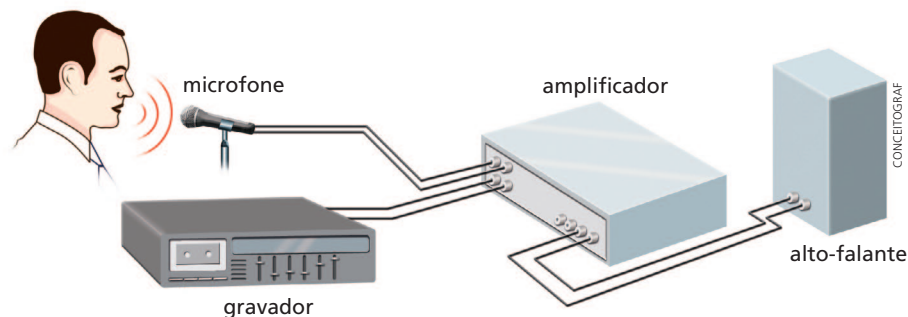


Figura 2.

Dentro do microfone há uma membrana acoplada a um conjunto de espiras (bobina) que está próximo de um ímã (fig. 3). O som provoca vibração da membrana, que vibra com a mesma frequência do som. Desse modo é induzida na bobina uma corrente elétrica alternada que tem a mesma frequência do som.

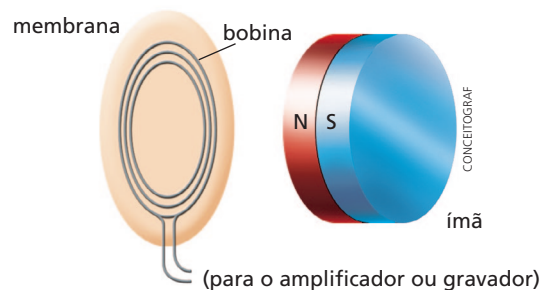


Figura 3.

## Alto-falante

A corrente elétrica alternada, que foi produzida a partir do som, percorre uma bobina (fig. 4) enrolada em torno de um cilindro oco preso a um cone de papelão.

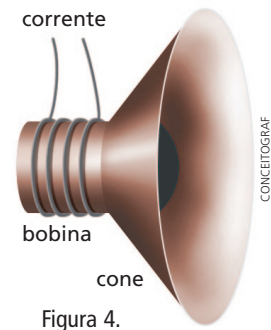


Figura 4.

O cilindro é colocado de modo que envolva um dos polos (fig. 5) de um ímã de formato especial. Quando passa corrente pela bobina, esta “sente” uma força cuja intensidade e sentido dependem da intensidade e do sentido da corrente elétrica. Desse modo, o cone é empurrado para frente e para trás com a mesma frequência da corrente (e do som) produzindo assim a oscilação do ar (som).

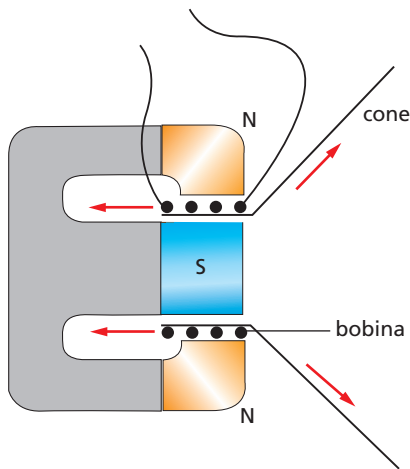


Figura 5.

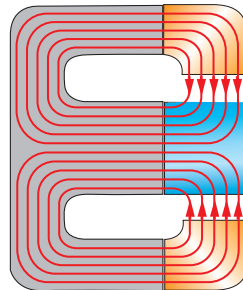


Figura 6.

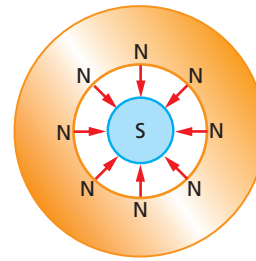


Figura 7.

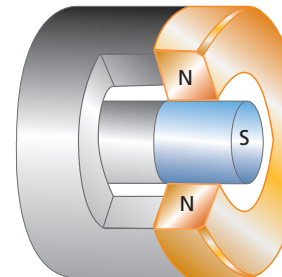


Figura 8.

ILUSTRAÇÕES: MARCO A. SISMOTTO

## Gravação magnética

A gravação de som (ou imagem) pode ser feita em fitas magnéticas, colocando-se uma fina camada de material ferromagnético (óxido de ferro ou óxido de cromo) sobre uma fita de plástico. Durante a gravação, o som (ou a imagem) é transformado em uma corrente elétrica variável que é enviada para a **cabeça de gravação**. Esta funciona como um pequeno eletroímã (fig. 9) que magnetiza a estreita região da fita que passa diante da pequena abertura da cabeça.

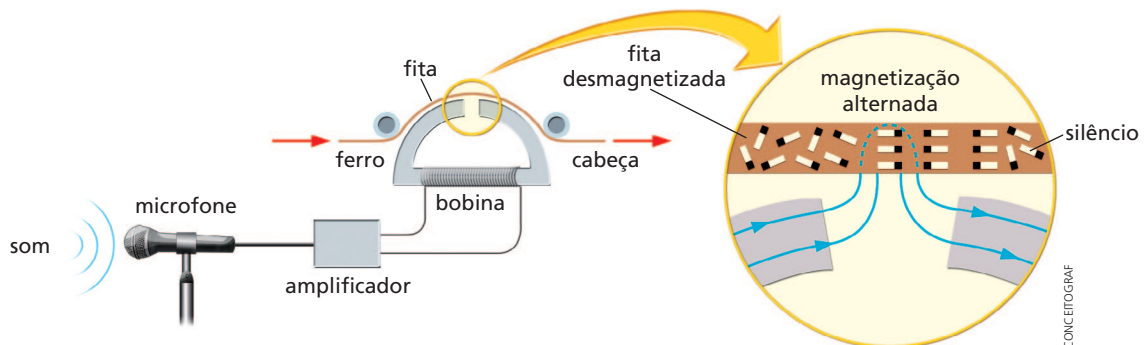


Figura 9.

CONCEITOGRAF

Na reprodução do som (ou imagem), o campo magnético variável da fita móvel na abertura da cabeça induz uma corrente variável na bobina. Essa corrente é amplificada e enviada a um alto-falante ou tubo de imagem de um televisor.

As gravações de informações em cartões magnéticos de bancos (fig. 10) ocorrem de modo semelhante.



Figura 10.

## 2. Complemento de corrente alternada

Consideremos uma espira plana, de área  $A$ , que pode girar em torno de um eixo e numa região em que há um campo magnético uniforme  $\vec{B}$ , como ilustra a figura 11. Sendo  $\theta$  o ângulo entre  $\vec{B}$  e a normal  $\vec{n}$  ao plano da espira, o fluxo do campo magnético através da espira é dado por:

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos \theta \quad (1)$$

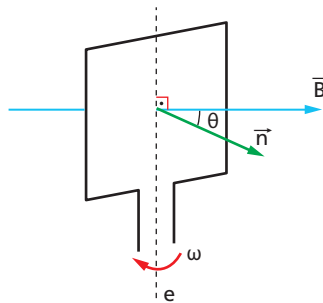


Figura 11.

Suponhamos que a espira esteja girando em torno do eixo e com velocidade angular constante  $\omega$ , período  $T$  e frequência  $f$ . O valor de  $\theta$  em função do tempo  $t$  será dado por:

$$\theta = \omega t + \theta_0 \quad (2)$$

Sendo  $\theta_0$  o valor de  $\theta$  no instante inicial ( $\theta_0$  é denominado fase inicial).

Substituindo (2) em (1), temos:

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos(\omega t + \theta_0) \quad (3)$$

De acordo com a Lei de Faraday, a força eletromotriz  $\varepsilon$  induzida na espira é dada por:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} \quad (4)$$

sendo  $\frac{d\phi}{dt}$  a derivada de  $\phi$  em relação a  $t$ .

Como vimos no estudo do movimento harmônico simples, no volume 2 desta coleção, temos:

$$\frac{d\phi}{dt} = -\omega \cdot B \cdot A \cdot \text{sen}(\omega t + \theta_0)$$

Substituindo em (4), obtemos:

$$\varepsilon = \omega \cdot B \cdot A \cdot \text{sen}(\omega t + \theta_0) \quad (5)$$

Analisando a equação (5), vemos que a força eletromotriz induzida é **alternada senoidal**, de valor máximo  $\varepsilon_{\text{máx}} = \omega BA$ . Lembrando que:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

obtemos:

$$\varepsilon = 2\pi f \cdot B \cdot A \text{sen}(2\pi f t + \theta_0) \quad (6)$$

sendo  $\varepsilon_{\text{máx}} = 2\pi f \cdot B \cdot A = \omega BA$ .

## Exercícios

1. Uma fonte de corrente alternada é ligada numa associação de resistores como mostra a figura a. A tensão alternada senoidal mantida nos terminais da associação varia em função do tempo como indica a figura b.

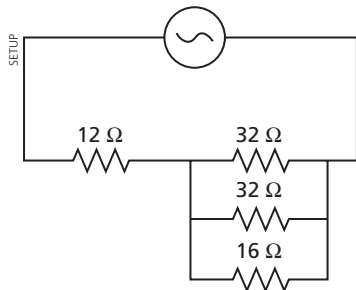


Figura a.

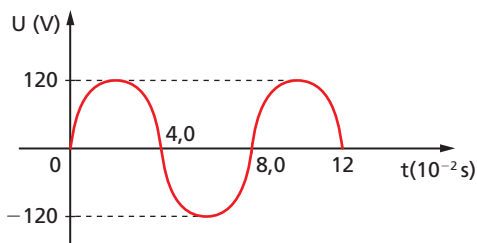


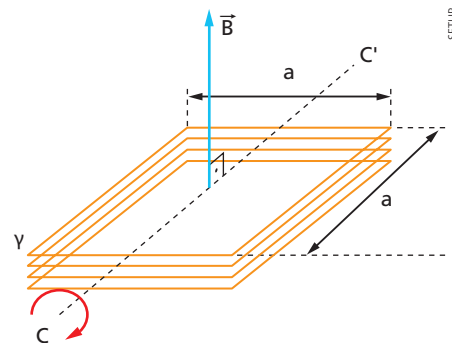
Figura b.

- Determine o valor máximo da corrente elétrica que passa pela associação de resistores.
- Determine os valores eficazes da tensão e da intensidade de corrente.
- Determine a frequência dessa tensão alternada.
- Determine a potência média dissipada na associação de resistores.

2. Em uma região onde há um campo magnético uniforme, de intensidade 0,20 T, uma espira plana, de área  $9,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$  gira com velocidade angular  $\omega$  constante, em torno de um eixo perpendicular ao campo. Determine o valor da velocidade angular, sabendo que a força eletromotriz máxima gerada é igual a 72 V.

O enunciado a seguir refere-se às questões de números 3 e 4.

Uma bobina chata formada por 500 espiras quadradas, de lado  $a = 20 \text{ cm}$ , gira em torno do eixo  $CC'$ , com velocidade angular  $\omega$ , obtendo-se na bobina uma corrente de valor eficaz igual a 3,5 A, quando suas extremidades estão em curto. Na região atua um campo de indução magnética  $\vec{B}$  uniforme e estacionário, perpendicular a  $CC'$ , conforme a figura. Sabe-se ainda que cada espira tem uma resistência de  $0,04 \Omega$ .



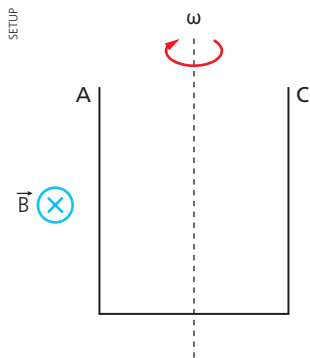
3. (Mackenzie-SP) Sabendo que a intensidade do campo de indução magnética é  $B = 0,2 \text{ T}$ , pode-se afirmar que  $\omega$  é igual a:

- a) 50 rad/s                      d) 2,5 rad/s  
 b) 5 rad/s                        e) 10 rad/s  
 c) 25 rad/s

4. (Mackenzie-SP) Se o número de espiras for dobrado para 1000 e a corrente eficaz continuar igual a 3,5 A, conservadas as demais condições, pode-se afirmar que a intensidade do campo  $B$  será:

- a) 0,2 T                            d) 0,8 T  
 b) 0,4 T                        e) n.d.a.  
 c) 0,1 T

5. (U. F. Viçosa-MG) Um arame, dobrado em forma de letra  $U$  e com extremidades  $A$  e  $C$ , gira com velocidade angular  $\omega$  em uma região onde existe um campo magnético uniforme  $\vec{B}$ , perpendicular ao plano da página, como ilustrado abaixo.



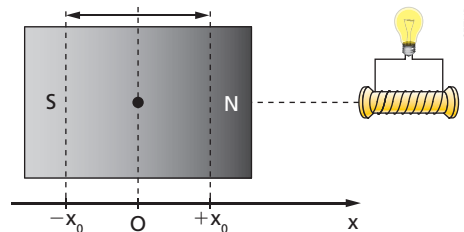
Analise as seguintes afirmativas relativas a essa situação:

- I. Se a velocidade angular  $\omega$  aumentar, mantendo-se  $B$  constante, o módulo máximo da diferença de potencial entre as extremidades do arame também aumentará.
- II. Se a direção de  $\vec{B}$  mudar para uma direção paralela à página e perpendicular ao eixo de rotação, mantendo-se todas as outras grandezas constantes, a diferença de potencial entre as extremidades do arame passará a ser nula.
- III. Se a velocidade angular  $\omega$  for mantida constante e o módulo de  $\vec{B}$  diminuir, o módulo máximo da diferença de potencial entre as extremidades do arame diminuirá.

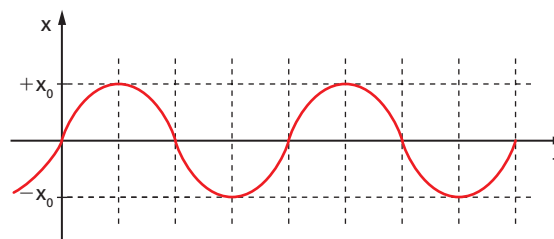
Pode-se, então, afirmar que:

- a) apenas I e II são verdadeiras.  
 b) apenas I é verdadeira.  
 c) apenas III é verdadeira.  
 d) apenas I e III são verdadeiras.  
 e) apenas II e III são verdadeiras.

6. (Fuvest-SP) Um ímã é colocado próximo a um arranjo, composto por um fio longo enrolado em um carretel e ligado a uma pequena lâmpada, conforme a figura.



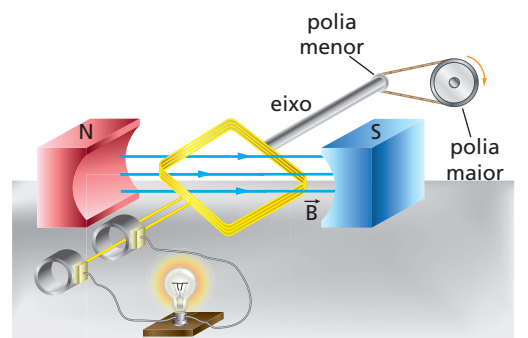
O ímã é movimentado para a direita e para a esquerda, de tal forma que a posição  $x$  de seu ponto médio descreve o movimento indicado pelo gráfico, entre  $-x_0$  e  $+x_0$ .



Durante o movimento do ímã, a lâmpada apresenta luminosidade variável, acendendo e apagando. Observa-se que a luminosidade da lâmpada:

- a) é máxima quando o ímã está mais próximo do carretel ( $x = +x_0$ ).
- b) é máxima quando o ímã está mais distante do carretel ( $x = -x_0$ ).
- c) independe da velocidade do ímã e aumenta à medida que ele se aproxima do carretel.
- d) independe da velocidade do ímã e aumenta à medida que ele se afasta do carretel.
- e) depende da velocidade do ímã e é máxima quando seu ponto médio passa próximo a  $x = 0$ .

7. (UF-BA) O dispositivo representado na figura abaixo é constituído por uma espira retangular rígida, de área  $A$ , que fica imersa no campo magnético  $\vec{B}$ , produzido pelo ímã. Considere a polia maior girando no sentido indicado, com velocidade angular constante  $\omega$ .



Analise as afirmações a seguir e dê como resposta a soma dos números que antecedem as afirmações verdadeiras.

- (01) O eixo acoplado à polia menor se movimenta com frequência  $f = \frac{\omega}{2\pi}$ .
- (02) A espira realiza, num intervalo de tempo  $\Delta t$ , um número de voltas  $n = \frac{\omega \cdot \Delta t}{2\pi}$ .
- (04) A espira é atravessada por um fluxo magnético

$\phi = |\vec{B}| \cdot A \cdot \cos \theta$ , em que  $\theta$  é o ângulo entre a direção  $\vec{B}$  e a normal ao plano da espira.

- (08) A espira é percorrida por uma corrente induzida no sentido horário, ao passar pela posição indicada.
- (16) Os fios de ligação são percorridos por uma corrente alternada, que mantém a lâmpada acesa.
- (32) O dispositivo funciona como um motor elétrico, convertendo energia elétrica em energia cinética.

### 3. Tipos de ondas eletromagnéticas

#### Ondas de rádio, FM e TV

As ondas de rádio, FM e televisão são produzidas por instrumentos eletrônicos, providos de circuitos oscilantes, que fazem com que cargas elétricas oscilem em uma antena retilínea, sendo utilizadas em transmissões de rádio e televisão. Foram produzidas pela primeira vez em 1887 pelo físico Heinrich Hertz (1857-1894), que com isso comprovou a teoria de Maxwell sobre as ondas eletromagnéticas. Por isso, essas ondas foram, por muito tempo, chamadas de **ondas hertzianas**.

Devido à curvatura da Terra, as ondas médias de rádio, as ondas de FM e as ondas de TV têm alcance pequeno, sendo, em geral, usadas em transmissões dentro de uma mesma cidade. Para que essas ondas atinjam pontos mais distantes podemos usar estações retransmissoras ou satélites artificiais que servem de “refletores” das ondas (fig. 12).

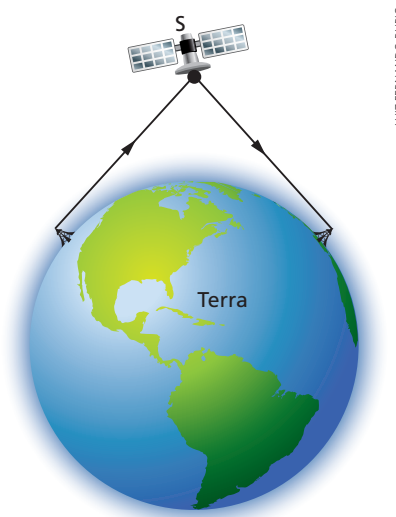
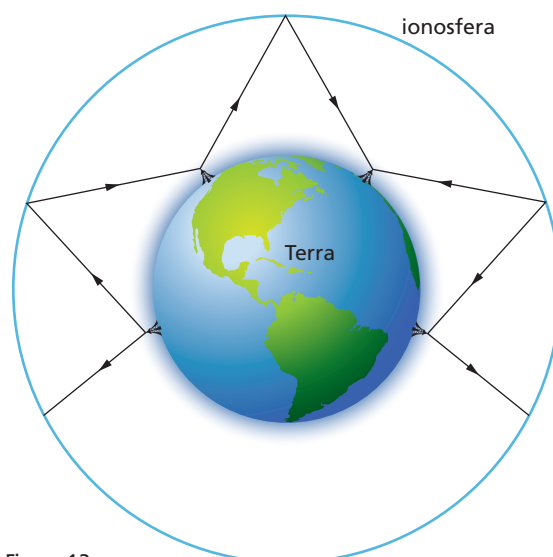


Figura 12. Satélite geoestacionário (S).

Hoje em dia são comuns as transmissões de TV “via satélite” e, para que isso possa ocorrer, existe um grande número de satélites geoestacionários da Terra, cuja finalidade é a de “refletirem” as ondas eletromagnéticas. No entanto, muitos anos antes de serem construídos os primeiros satélites artificiais, já se conseguiam transmissões de rádio de um continente a outro (se bem que a qualidade da transmissão nem sempre era boa). Como isso é possível? A razão é que há uma camada da atmosfera (chamada ionosfera) situada a uma altura de aproximadamente 100 km, a qual é altamente ionizada e tem a propriedade de refletir as ondas eletromagnéticas, cujas frequências estão na faixa das **ondas curtas** de rádio (fig. 13).

Com isso, por reflexões sucessivas na ionosfera e na Terra, a onda pode atingir pontos da Terra muito distantes da antena emissora. As ondas longas, médias, de FM e TV não são refletidas pela ionosfera.



LUIZ FERNANDO RUBIO

Figura 13.

## Micro-ondas

Essas ondas são produzidas por instrumentos eletrônicos, como no caso das ondas de rádio, e são principalmente utilizadas em comunicações e nos sistemas de **radar**. A palavra radar é formada pelas iniciais de *radio detection and ranging* (detecção e localização por rádio). O radar é formado basicamente por um emissor de micro-ondas e um receptor das micro-ondas refletidas por um objeto qualquer. Conhecida a velocidade da onda eletromagnética e o intervalo de tempo decorrido entre a emissão da onda e a recepção da onda refletida, é determinada a posição do objeto.

Uma utilização atual dessas ondas é o cozimento rápido de alimentos, através dos denominados fornos de micro-ondas. Nesses, as ondas produzidas provocam agitação e atrito entre as moléculas de água dos alimentos, aquecendo-os.

## Raios infravermelhos

Essas ondas são devidas à agitação térmica. Por causa dessa agitação, as cargas elétricas dos átomos e moléculas oscilam, emitindo assim ondas eletromagnéticas. Qualquer objeto emite ondas infravermelhas em maior ou menor intensidade, dependendo da temperatura. Se a temperatura do objeto é muito baixa, ele emite ondas de frequência baixa. Se a temperatura é alta, ele emite tanto ondas de frequência baixa quanto ondas de frequência mais alta.

As ondas infravermelhas são mais facilmente transformadas em energia térmica do que outras quando absorvidas por um corpo, isto é, elas são mais eficientes do que outras ondas para provocar aquecimento de objetos.

## Luz

Luz é a onda eletromagnética capaz de impressionar nossa retina, causando o efeito da visão. Ela abrange uma faixa de frequências que, para o "olho médio", vai de  $4,2 \cdot 10^{14}$  Hz a  $7,5 \cdot 10^{14}$  Hz e é produzida por elétrons pertencentes a átomos e moléculas. Esses elétrons recebem primeiramente energia por colisões, descargas elétricas ou outro processo qualquer, ficando "excitados". Essa energia é então devolvida na forma de luz, voltando o elétron para o seu nível de energia anterior. A explicação completa desse processo é dada pela Mecânica Quântica.

A cor da luz está relacionada com sua frequência. A cor de frequência mais baixa é o vermelho e a cor de frequência mais alta é o violeta (daí vêm os nomes **infravermelho** e **ultravioleta**). Considerando as cores do arco-íris e ordenando-as por ordem **crescente** de frequências, temos:

vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil, violeta

A sensação de branco é causada pela mistura de todas as cores.

## Raios ultravioleta

A radiação ultravioleta é produzida por átomos e moléculas em descargas elétricas.

O Sol é um grande emissor de radiação ultravioleta, a qual é a principal responsável pelo bronzeamento da pele. Entretanto, em quantidades exageradas, os raios ultravioletas são prejudiciais, podendo chegar a acarretar graves queimaduras e câncer cutâneo. Normalmente, a superfície da Terra é protegida da incidência excessiva desses raios pela camada de ozônio ( $O_3$ ) da atmosfera. Acontece que a utilização pelo homem de certos produtos, como os gases empregados em *spray* (CFC), tem destruído boa parte desse ozônio, acarretando verdadeiros buracos na camada protetora.

A radiação ultravioleta é responsável também pela ionização da camada superior da atmosfera (ionosfera).

## Raios X

Uma das fontes de raios X é a oscilação dos elétrons mais internos dos átomos. Outro modo de produzir os raios X é através do freamento de elétrons muito rápidos. Esses elétrons são inicialmente acelerados por uma diferença de potencial da ordem de milhares de volts; a seguir, eles são freados por um alvo metálico. Durante esse freamento, os elétrons têm uma aceleração de grande intensidade, produzindo assim ondas de grande frequência.

Os raios X são bastante utilizados na pesquisa de estrutura dos cristais. São também muito usados na Medicina, para a obtenção de radiografias.

Um meio pode ser opaco à luz, mas transparente a outro tipo de onda eletromagnética. A musculatura de nosso corpo, por exemplo, é opaca à luz; não conseguimos enxergar através de uma pessoa. Entretanto, nossa musculatura é transparente aos raios X, e é graças a isso que podemos obter as radiografias médicas. Na figura 14, exemplificamos isso com uma radiografia de mão. Os raios X conseguem atravessar os músculos e outros tecidos, mas não os ossos. Desse modo, conseguimos obter a imagem dos ossos na chapa fotográfica.

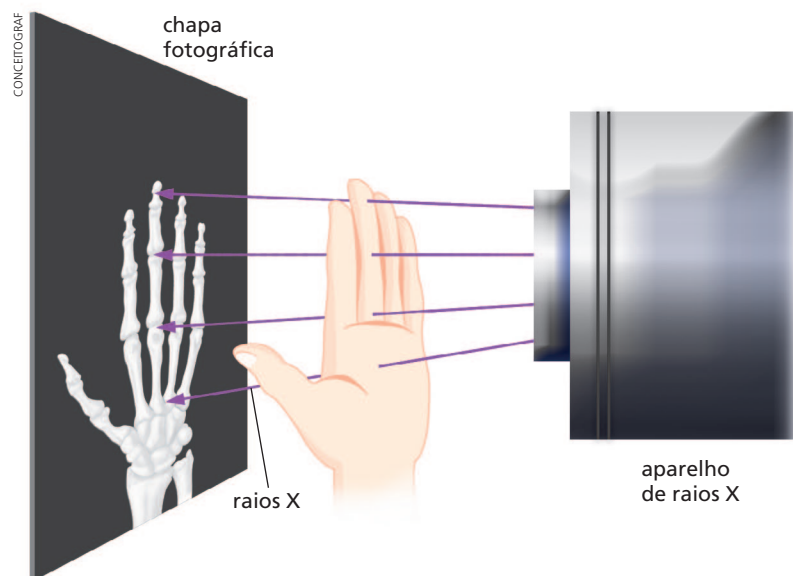


Figura 14.

## Raios gama

Os raios gama são produzidos em processos nucleares, sendo muito prejudiciais aos organismos vivos. O grande perigo da radiatividade está exatamente relacionado à emissão de raios gama pelas substâncias ditas radiativas. No capítulo 22 analisaremos a radioatividade.

