

ABC da Física II:

---

**ELETRÓSTÁTICA,  
ELETRÓDINÂMICA E  
ELETRÓMAGNETISMO**



**LEONARDO DIEGO LINS**  
(AUTOR)

E-BOOK



## Diagramação e Capa:

Rubervânio Lima

(editoraoxetine@gmail.com)

## Revisão:

Rubervânio Lima

## Fotos da capa cedidas por:

Lenilson de Oliveira Silva (Pataxó)

## Impressão:

Editora Oxente

## Realização:

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECOLOGIA HUMANA



E-mail: editora.sabeh@gmail.com

### CONTRIBUIÇÕES:

Carlos Alberto Batista dos Santos

Lenilson de Oliveira Silva (Pataxó)

Maíra Cavalcanti Coelho

Maísa Cavalcanti Coelho

Nahíma Costa Castro Silva (Pataxó)

Sandra Valéria Silva Lins

Stefane Amorim Melo

Uilian Conceição de Souza Rodrigues (Pataxó)

---

Catálogo na publicação (CIP)

Ficha Catalográfica

---

L759a Lins, Leonardo Diego, autor,  
**ABC da Física 3 - Eletrostática, Eletrodinâmica e Eletromagnetismo** /Leonardo Diego Lins (autor)  
Carlos Alberto Batista dos Santos, Lenilson de Oliveira Silva, Maíra Cavalcanti Coelho, Maísa Cavalcanti Coelho, Nahíma Costa Castro Silva, Sandra Valéria Silva Lins, Stefane Amorim Melo, Uilian Conceição de Souza Rodrigues, organizadores.  
Paulo Afonso/BA: SABEH, 2020.

228 p.; il.

**ISBN: 978-65-5732-000-6**

1. Física - Eletrostática
2. Material didático
3. Física – Estudo e ensino - I. Título

---

CDD: 530.07

**E-BOOK**

## CONSELHO EDITORIAL DA SABEH

### Brasil:

- Dr. Juracy Marques (UNEB/PPGECOH)  
Dr. Alfredo Wagner Berno de Almeida (UFAM/PPGAS);  
Dr. João Pacheco de Oliveira (UFRJ/Museu Nacional);  
Dra. Maria Cleonice de Souza Vergne (CAAPA/PPGEcoH/UNEB);  
Dra. Eliane Maria de Souza Nogueira (NECTAS/PPGEcoH/UNEB);  
Dr. Fábio Pedro Souza de F. Bandeira (UEFS/PPGEcoH);  
Dr. José Geraldo Wanderley Marques (UNICAMP/UEFS/PPGEcoH);  
Dr. Júlio Cesar de Sá Rocha (PPGEcoH/UNEB);  
Dra. Flavia de Barros Prado Moura (UFAL);  
Dr. Sérgio Malta de Azevedo (PPGEcoH/UFC);  
Dr. Ricardo Amorim (PPGEcoH/UNEB);  
Dr. Ronaldo Gomes Alvim (Centro Universitário Tiradentes–AL);  
Dr. Artur Dias Lima (UNEB/PPGECOH);  
Dra. Adriana Cunha – (UNEB/PPGECOH);  
Dra. Alpina Begossi (UNICAMP);  
Dr. Anderson da Costa Armstrong (UNIVASF);  
Dr. Luciano Sérgio Ventin Bomfim (PPGEcoH/UNEB);  
Dr. Ernani M. F. Lins Neto (UNIVASF);  
Dr. Gustavo Hees de Negreiros (UNIVASF/SABEH);  
Dr. Carlos Alberto Batista Santos (PPGEcoH/UNEB);  
Draª Maria do Socorro Pereira de Almeida (UFRPE)

### Internacional:

- Dr. Ajibula Isau Badiru – NIGÉRIA (UNIT);  
Dr. Martín Boada Jucá – ESPANHA (UAB);  
Dra. Iva Miranda Pires – PORTUGAL (FCSH);  
Dr. Paulo Magalhães – PORTUGAL (QUERCUS);  
Dr. Amado Insfrán Ortiz – PARAGUAI (UNA);  
Dra. María José Aparicio Meza – PARAGUAI (UNA);  
Dr. Luca Valera - CHILE (PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE).

## COMITÊ CIENTÍFICO

- Lutiane Queiroz de Almeida (DG/UFRN)  
Oswaldo Girão da Silva (DCG/UFPE)  
Valéria Raquel Porto de Lima (DG/UEPB)  
Saulo Roberto de Oliveira Vital (CERES/UFRN)

## APRESENTAÇÃO

Este livro didático complementar é a tentativa de buscar uma nova percepção para o aluno do Ensino Médio e Pré-vestibular no que diz respeito ao ensino e aprendizagem de Física na Escola indígena. O texto, embora se apresente com uma linguagem um pouco rebuscada, não chega a ser excessivamente formal, pois foi construído com a ajuda permanente dos professores indígenas, buscando alternativas de inclusão da interculturalidade no conteúdo apresentado em sala de aula.

No capítulo I são apresentadas noções básicas da eletricidade estática, conhecida como eletrostática, analisando o comportamento das cargas elétricas em repouso, através dos seus princípios e processos de eletrização que ocorrem no cotidiano do aluno. Já no capítulo II, apresentamos a Lei de Coulomb, que permite obter a intensidade da força entre cargas elétricas consideradas puntiformes. Em seguida no capítulo III, conceituamos o Campo Elétrico e suas características.

No capítulo IV são desenvolvidas as noções básicas de Potencial Elétrico. É importante destacar para o aluno para que os conceitos estudados são uma forma de representar de forma escalar o Campo Elétrico. Em seguida, a partir do capítulo V até o capítulo VII, tratamos do estudo das cargas elétricas em movimento ordenado, o que corresponde a corrente elétrica. Dentre os efeitos da corrente elétrica, analisamos os efeitos da Potência Elétrica, Energia Elétrica e principalmente o efeito térmico e o elemento do circuito em que ocorre, que denominamos de resistor, trazendo para sala de aula vários exemplos associados ao cotidiano do aluno.

Na sequência, no capítulo VIII traz as formas e condições como os resistores podem ser associados no nosso dia a dia. Prontamente, nos capítulos IX, X e XI, discutimos os conceitos de Capacitores, Geradores e Receptores. É importante que após a apresentação desses capítulos o aluno seja capaz de diferenciar, caracterizar e aplicar esses conceitos no seu cotidiano.

O capítulo XII traz uma revisão sobre os aparelhos de medidas elétricas, são largamente utilizados em laboratórios de ensino. Esses equipamentos são utilizados para obtenção de valores de várias grandezas que estão envolvidas num circuito elétrico.

A partir do capítulo XIII e XIV iniciamos os conceitos norteadores do Eletromagnetismo. Introduzindo o conceito de Campo Magnético, sendo analisados os campos originados por ímãs, pela corrente elétrica e pela Terra. Já no capítulo XV é abordado o conceito de Força Magnética sobre cargas elétricas, mostrando para o aluno que quando uma carga elétrica se move em uma região do espaço onde existe um campo magnético, uma força magnética passa a atuar sobre ela.

E por fim, no capítulo XVI, ressaltamos os conceitos fundamentais da indução eletromagnética, expondo ao aluno as aplicações a indução eletromagnética no dia a dia do aluno e as possibilidades que essa teoria trouxe para o avanço física.

Vale ressaltar que ao final de cada capítulo propomos desenvolver atividades dos principais vestibulares do país com o intuito de complementar e fortalecer a compreensão dos assuntos abordados em sala de aula.

## PREFÁCIO

### Quais possíveis diálogos entre as Ciências Humanas e as Ciências da Natureza?

O que enquanto um pesquisador da área de Ciências Humanas teria a dizer sobre a Física? Ou ainda indagando, quais relações existem entre as abordagens das Ciências da Natureza e as pesquisas em Ciências Humanas, sobre a temática indígena. Em anos passados as dificuldades seriam maiores ao tentar entender os fenômenos naturais que a Física procura explicar. Todavia, a realização de leituras e pesquisas a exemplo do campo da História Ambiental, possibilitam aproximações com as experiências discutidas pelas Ciências da Natureza.

A História Ambiental ao discutir os processos históricos das relações entre os seres humanos e a Natureza é necessariamente interdisciplinar. Ao refletir sobre as relações dos diferentes grupos humanos como os povos indígenas e o Ambiente, a Natureza, dialoga também com áreas do conhecimento como a Geologia, Geomorfologia, Meteorologia, Climatologia, Hidrologia dentre outras, exigindo a compreensão de conceitos, teorias, axiomas que fundamentam a Física.

Na trajetória escolar é muito comum desde os primeiros anos do Ensino Fundamental, os traumas com números da Matemática e o pavor no Ensino Médio com as equações da Química e também da Física. Situações bastante conhecidas pelos docentes que atuam na Educação Básica. Como também a partir da perspectiva dos discentes as dificuldades com os aprendizados na área das Ciências da Natureza ocorrem em razão das muitas discussões abstratas, distante das experiências de vida dos estudantes.

Pensar os povos indígenas enquanto sociodiversidades expressas nas diversas formas de organizações socioculturais como um grande caleidoscópio, é desafiador diante da mentalidade colonial etnocêntrica, evolucionista e monocultural. Que no suposto nome de uma Ciência dita moderna, ocidental, baseada em verdades normatizadas, nega, omite, despreza os conhecimentos dos indígenas. Ou em muitas e muitas vezes classificando-os na categoria menor dos “saberes” diante dos “conhecimentos” científicos, acadêmicos.

A Educação Escolar Indígena como uma conquista das mobilizações do povos indígenas, foi definida como específica, diferenciada e intercultural. A interculturalidade garante aos indígenas os diálogos, apropriações e aprendizados dos conhecimentos universais, como patrimônio da humanidade. E também, até porque, os povos indígenas não são ilhas, muitos relacionam-se há muito tempo com a nossa sociedade, estão inseridos nas redes de trocas, trânsitos e fluxos socioculturais.

Os processos de aprendizagens de Física na perspectiva da interculturalidade, são postos, portanto, diante dos desafios em considerar os fenômenos físicos que ocorrem nas cozinhas, nas salas, nos quartos, nas casas dos indígenas! Na vida, no cotidiano. Nos terreiros, nos rituais, no Ambiente, na Natureza. Nos territórios dos povos indígenas em suas dimensões simbólicas, cosmológicas e transcendentais. Ou seja, do abstrato para o concreto, o conhecido, palpável. Refletindo criticamente que os conhecimentos universais, pela leitura ocidental são expressões de poder, dominação, negação das diferenças socioculturais.

Refletindo criticamente que a Física e as explicações dos fenômenos, são leituras e discursos humanos de ocorrências na Natureza. Se narrativas humanas, não são separáveis dos humanos! E somente a partir dessa compreensão é possível ocorrer aprendizados para docentes e discentes enquanto descobertas, diálogos, criatividade sobre as relações existentes entre os humanos, o Ambiente, a Natureza e as tentativas humanas em cada tempo e contextos sociohistóricos para explicá-las.

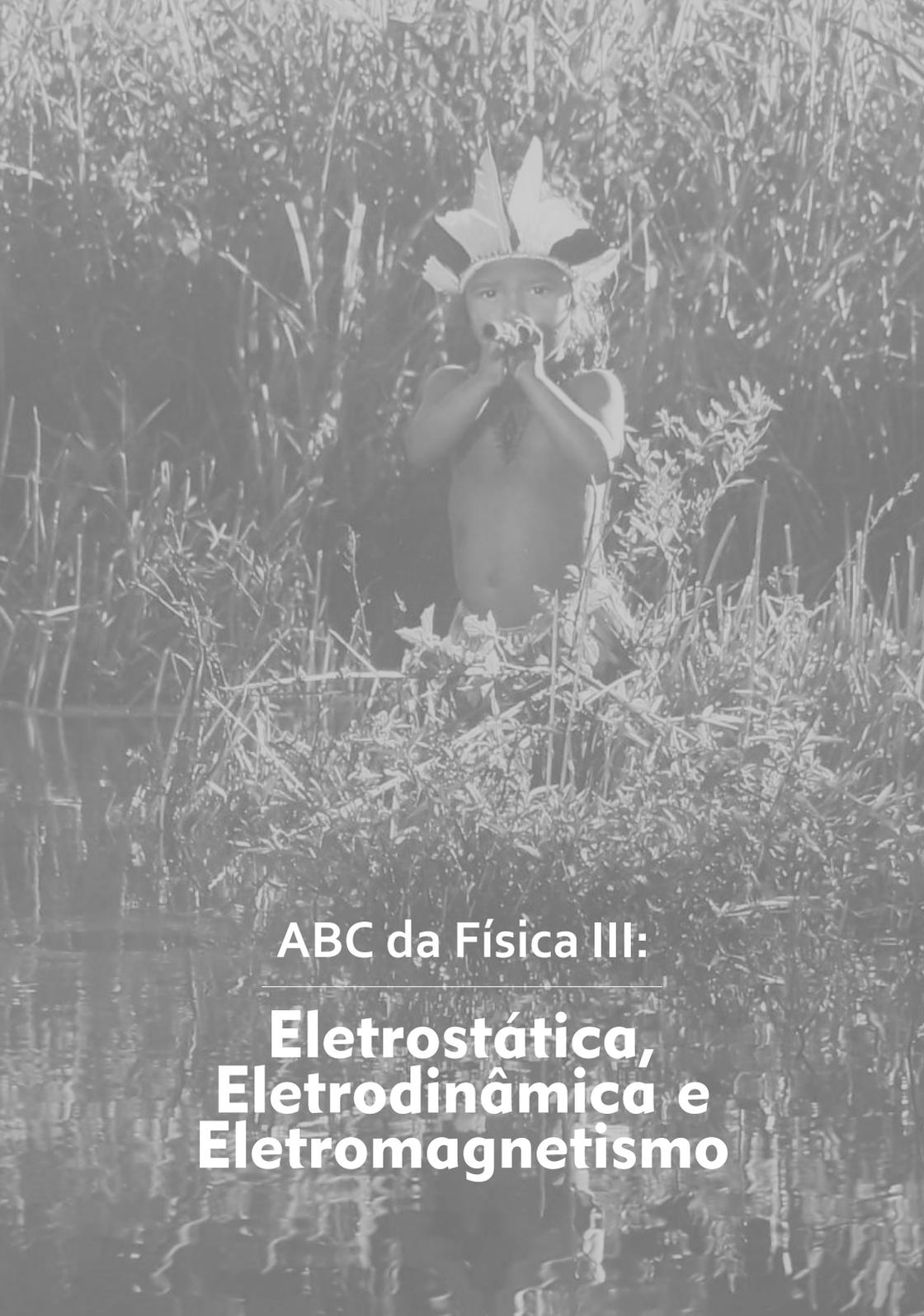
Como relacionar a Física, a Eletrostática, a Eletrodinâmica e o Eletromagnetismo com a pandemia do corona vírus, esse momento crucial vivenciado para os povos indígenas e para a humanidade? Juntas as Ciências Humanas e as Ciências da Natureza são desafiadas e capazes de encontrar repostas para situações que explicitam nossa grande fragilidade, finitude e a provisoriedade das ditas certezas acadêmicas e conhecimentos científicos. Os povos indígenas com experiências milenares precisam ser escutados, pois tem muito a dizer e contribuir.

Olho d'Água dos Bredos  
(Arcoverde/PE), abril de 2020

**Edson Silva**  
Professor Titular de História - UFPE

# SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	04
PREFÁCIO	06
CAPÍTULO 1 - ELETROSTÁTICA	11
CAPÍTULO 2 - LEI DE COULOMB	30
CAPÍTULO 3 - CAMPO ELÉTRICO	38
CAPÍTULO 4 - POTENCIAL ELÉTRICO	58
CAPÍTULO 5- CORRENTE ELÉTRICA	75
CAPÍTULO 6 - RESISTORES	90
CAPÍTULO 7 - ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES	102
CAPÍTULO 8 - CAPACITORES	112
CAPÍTULO 9 - GERADOR	121
CAPÍTULO 10 - RECEPTORES	135
CAPÍTULO 11 - APARELHOS DE MEDIDA ELÉTRICA	143
CAPÍTULO 12 - ELETROMAGNETISMO I	157
CAPÍTULO 13 - CAMPO MAGNÉTICO	173
CAPÍTULO 14 - FORÇA MAGNÉTICA SOBRE CARGAS ELÉTRICAS	189
CAPÍTULO 15 - INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA	208
POSFÁCIO	228



ABC da Física III:

---

**Eletrostática,  
Eletrodinâmica e  
Eletromagnetismo**

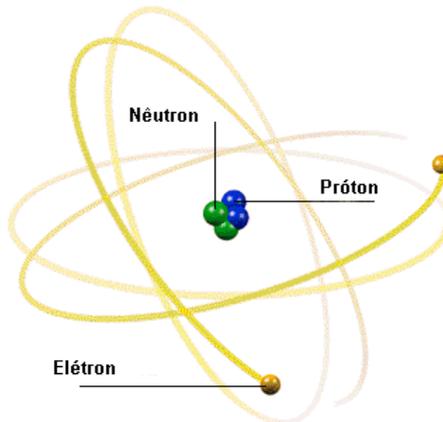


## CAPÍTULO 1 - ELETROSTÁTICA



### CARGAS ELÉTRICAS

No século XVIII, Benjamin Franklin verificou experimentalmente que existem dois tipos de cargas diferentes, a as batizou como cargas negativas (-) e positivas (+). Nesta época os cientistas pensavam que a carga era um fluido que podia ser armazenado nos corpos, ou passar de um para outro. Atualmente, dizer-se que carga elétrica é uma propriedade intrínseca de algumas partículas.



Assim como massa, a carga é uma propriedade elementar das partículas. A experiência realizada por Harvey Fletcher e Robert Millikan demonstrou que a quantidade de carga elétrica é uma grandeza quantizada, ou seja, não pode assumir qualquer valor.

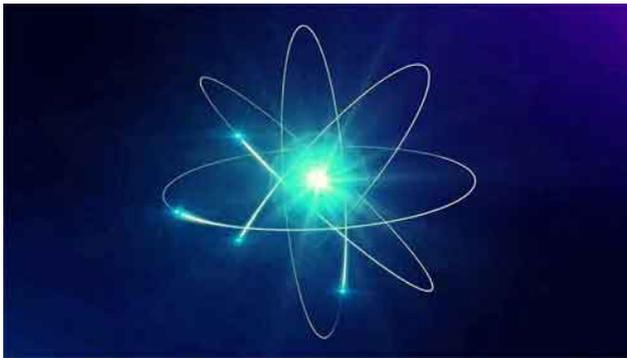
Essa descoberta levou à conclusão de que a quantidade de carga elétrica  $Q$  é sempre um número inteiro  $n$  vezes a quantidade de carga elementar  $e$ :

$$Q = \pm n \cdot e$$

Onde  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C. A unidade SI da carga elétrica é o Coulomb ou C.

- Sinal (+) falta de elétrons e Sinal (-) excesso de elétrons.

### CORPO NEUTRO E ELETRIZADO



- **CORPO NEUTRO:** É o estado natural em que se encontra qualquer corpo. Sendo  $n_p$  o número de prótons do corpo e  $n_e$  o número de elétrons, teremos que  $n_p = n_e$ . O corpo não tem propriedade elétrica.
- **CORPO ELETRIZADO:**
  - o **POSITIVAMENTE:**  $n_p > n_e$ . O corpo está com FALTA de elétrons.
  - o **NEGATIVAMENTE:**  $n_p < n_e$ . O corpo está com EXCESSO de elétrons.

**Atenção:** Como os prótons estão presos no núcleo atômico, a eletrização consiste SEMPRE num GANHO ou PERDA de elétrons.

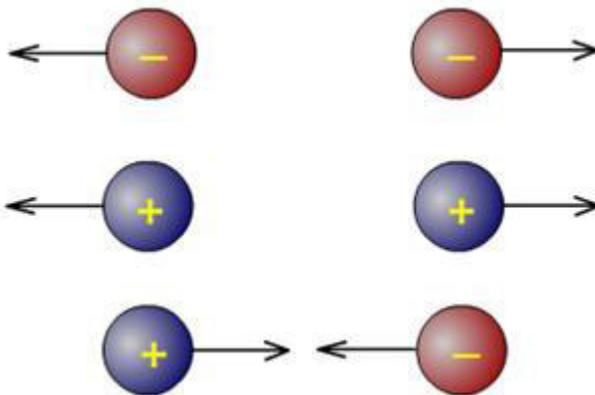
**Observação:** A quantidade de eletricidade (ou carga elétrica) de um próton é igual à de um elétron, exceto pelo sinal. A unidade de carga elétrica no Sistema Internacional é o **coulomb (C)**, uma homenagem ao francês Charles Augustin Coulomb (1736-1806). Essa unidade representa uma grande quantidade de eletricidade. Por isso usam-se seus submúltiplos:

- milicoulomb.....  $1\text{mC} = 10^{-3}\text{ C}$
- microcoulomb .....  $1\mu\text{C} = 10^{-6}\text{ C}$
- nanocoulomb .....  $1\text{nC} = 10^{-9}\text{ C}$
- picocoulomb .....  $1\text{pC} = 10^{-12}\text{ C}$

## PRINCÍPIOS DA ELETROSTÁTICA

### (1) Princípio da atração e repulsão:

- Cargas do mesmo tipo se repelem e de tipos diferentes se atraem.



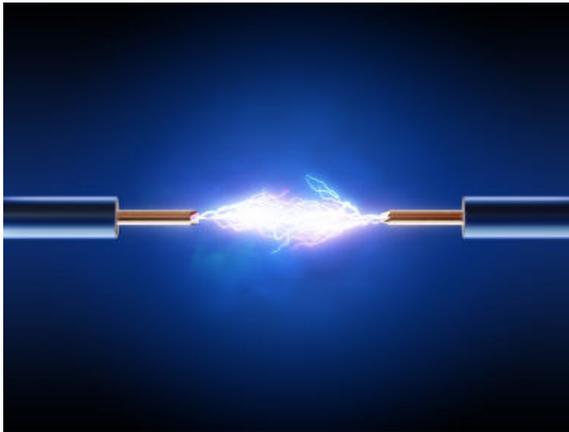
- Sistema eletricamente isolado, não troca cargas elétricas com o meio exterior.

## (2) Princípio da conservação da carga

Num sistema eletricamente isolado, a soma algébrica das cargas do sistema permanece constante.

$$\sum q_{\text{antes}} = \sum q_{\text{depois}}$$

## CONDUTORES E ISOLANTES



Em relação à eletricidade, os materiais são classificados como condutores ou isolantes.

**CONDUTORES** – Materiais nos quais se encontram portadores de carga com grande liberdade de movimento. Ex:

- Metais e Grafite – elétrons livres.
- Soluções eletrolíticas – íons livres.
- Gases ionizados – íons e elétrons livres.

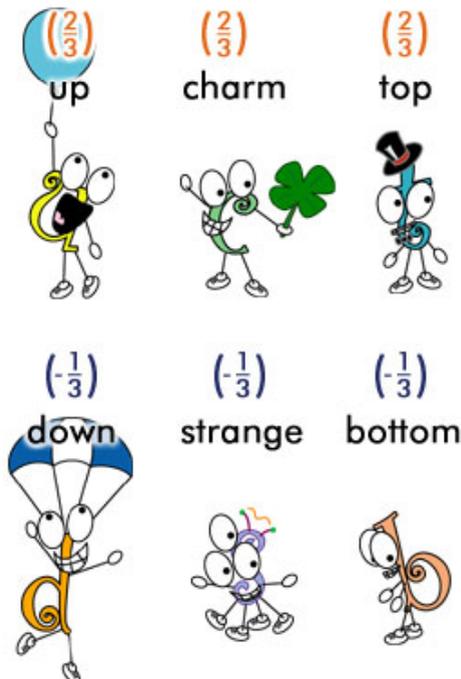
**ISOLANTES** – Materiais nos quais não se encontram portadores de carga com liberdade de movimento. Ex:

- Vidro, borracha, madeira, etc.

**Observação:** Tanto um condutor como um isolante pode ser eletrizado. No isolante eletrizado, a carga permanece onde houve a eletrização, enquanto que no condutor eletrizado a carga se espalha na superfície externa. Além dos condutores e dos isolantes, existem os materiais semicondutores, como o silício e o germânio.

## QUARKS

Acreditava-se que os prótons e os nêutrons eram partículas elementares indivisíveis. Mas como sabemos os elétrons continuam sendo partículas elementares, ou seja, indivisíveis. Entretanto, com o avanço da ciência descobriu-se que os prótons e nêutrons eram constituídos de partículas ainda menores, denominadas de quark. Segundo o Modelo Padrão, os quarks ocorrem em seis tipos na natureza: "top", "bottom", "charm", "strange", "up" e "down". Os dois últimos formam os prótons +  $2/3e$  e nêutrons  $-1/3e$ , enquanto os quatro primeiros são formados em hádrons instáveis em aceleradores de partículas.



## PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO



O início dos estudos sobre eletrização se deu com os gregos antigos, mas apenas no século VI a.C. que os fenômenos começaram a ser estudados pelo filósofo Thales, que morava na cidade de Mileto. Ao encontrar um fóssil, chamado âmbar (elektron em grego), Thales o friccionou (esfregou) com lã e pele de animais e observou que depois disso ele era capaz de atrair pequenos corpos, como folhas secas.

As observações não pararam e os estudos sobre esses fenômenos foram cada vez mais analisados, até chegarmos aos tipos de eletrização que conhecemos:

- **ELETRIZAÇÃO POR ATRITO**
- **ELETRIZAÇÃO POR CONTATO**
- **ELETRIZAÇÃO POR INDUÇÃO**

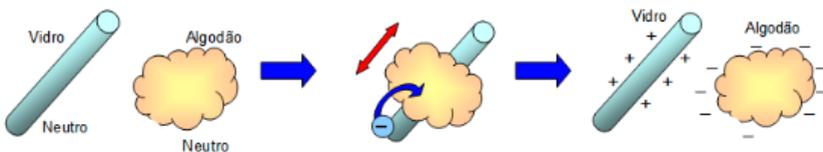
## ELETRIZAÇÃO POR ATRITO



Ao atritar vigorosamente dois corpos, A e B, estamos fornecendo energia e pode haver transferência de elétrons de um para o outro. Se os corpos atritados estão isolados, ou seja, não sofrem a influência de quaisquer outros corpos, as cargas elétricas cedidas por um são exatamente as adquiridas pelo outro:

$$Q_A = -Q_B$$

Isto é, A e B adquirem quantidades de carga elétrica iguais em módulo, mas de sinais contrários. A figura representa o que acontece quando um bastão de vidro é atritado com um pedaço de lã:



Quando esfregamos as mãos, não eletrizamos nenhuma delas. Para que haja eletrização por atrito, uma condição necessária é que os corpos sejam de materiais diferentes, isto é, eles não podem ter a mesma tendência de ganhar ou perder elétrons. Em Química, essa tendência é traduzida por uma grandeza denominada de eletroafinidade. Os materiais podem ser classificados de acordo

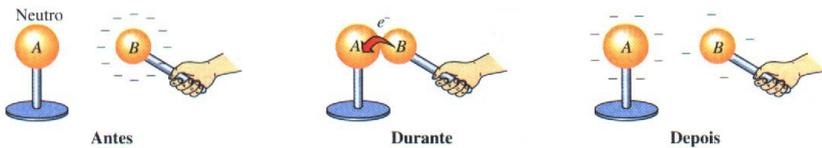
com essa tendência, elaborando-se a chamada série triboelétricas: Ao atritarmos dois materiais quaisquer de uma série triboelétrica, o que estiver posicionado a esquerda ficará eletrizado positivamente; o que estiver à direita ficará eletrizado negativamente. Na eletrização por atrito, pelo menos um dos corpos deve ser isolante. Se atritarmos dois condutores, eles não vão manter a eletrização.

## ELETRIZAÇÃO POR CONTATO



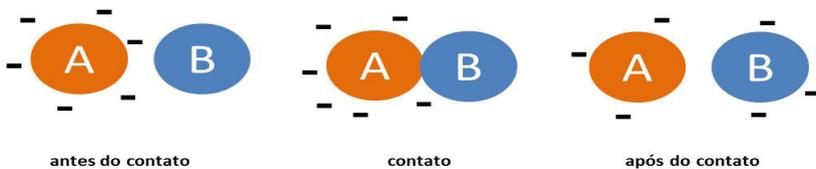
<b>Pele humana</b>	
<b>Couro</b>	
<b>Pele de coelho</b>	
<b>Vidro liso</b>	
<b>Cabelo humano</b>	
<b>Fibra sintética</b>	
<b>Lã</b>	
<b>Pele de gato</b>	
<b>Seda</b>	
<b>Alumínio</b>	
<b>Papel ou papelão fino</b>	
<b>Algodão</b>	
<b>Madeira</b>	
<b>Âmbar</b>	
<b>Borracha dura</b>	
<b>Poliéster</b>	
<b>Isopor</b>	
<b>Filme PVC</b>	
<b>Poliuretano</b>	
<b>Polipropileno</b>	
<b>Silicone</b>	
<b>Teflon</b>	

Na eletrização por atrito a eficiência dessa forma de eletrização depende dos corpos serem condutores ou isolantes. Se um dos corpos for isolante, a eletrização será local, isto é, restrita aos pontos de contato. Se os dois corpos forem condutores - um eletrizado e o outro neutro - e colocados em contato, poderemos imaginá-los como um único corpo eletrizado. A separação entre eles resultará em dois corpos eletrizados com cargas de mesmo sinal. Na figura, um dos condutores está inicialmente neutro (a eletrização por contato pode ocorrer também com dois condutores inicialmente eletrizados).



Generalizando, podemos afirmar que, na eletrização por contato:

- (1) Os corpos ficam ou eletricamente neutros ou com cargas de mesmo sinal;
- (2) Quando o sistema é formado por corpos isolados das influências externas, a quantidade de carga elétrica total final é igual à quantidade de carga elétrica total inicial (princípio da conservação de carga elétrica):

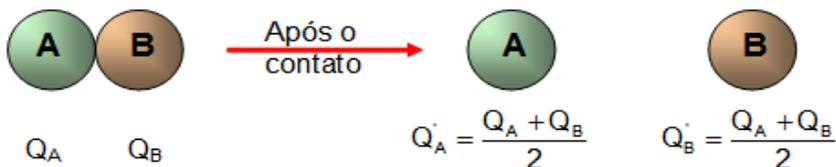


$$Q_A + Q_B = Q'_A + Q'_B$$

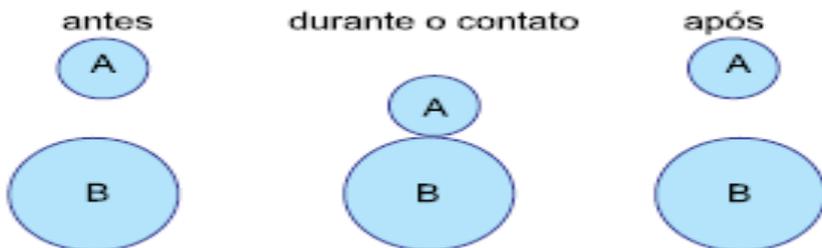
Na expressão acima,  $Q$  representa a quantidade de carga elétrica inicial e  $Q'$ , a quantidade de carga elétrica final. Em particular, se os corpos A e B forem iguais, ou seja, com os mesmos raios ( $R_A = R_B$ ), após o contato, terão cargas iguais:

$$Q'_A = Q'_B = (Q_A + Q_B) / 2$$

(3) Se houver contato simultâneo de  $n$  esferas de mesmo raio, e admitindo que  $Q$  representa a **CARGA TOTAL** do sistema, teremos no final, cada uma delas com uma carga  $Q / n$ .



(4) Se os corpos colocados em contato são de tamanhos diferentes ( $R_A \neq R_B$ ), a divisão de cargas é proporcional às dimensões de cada um.



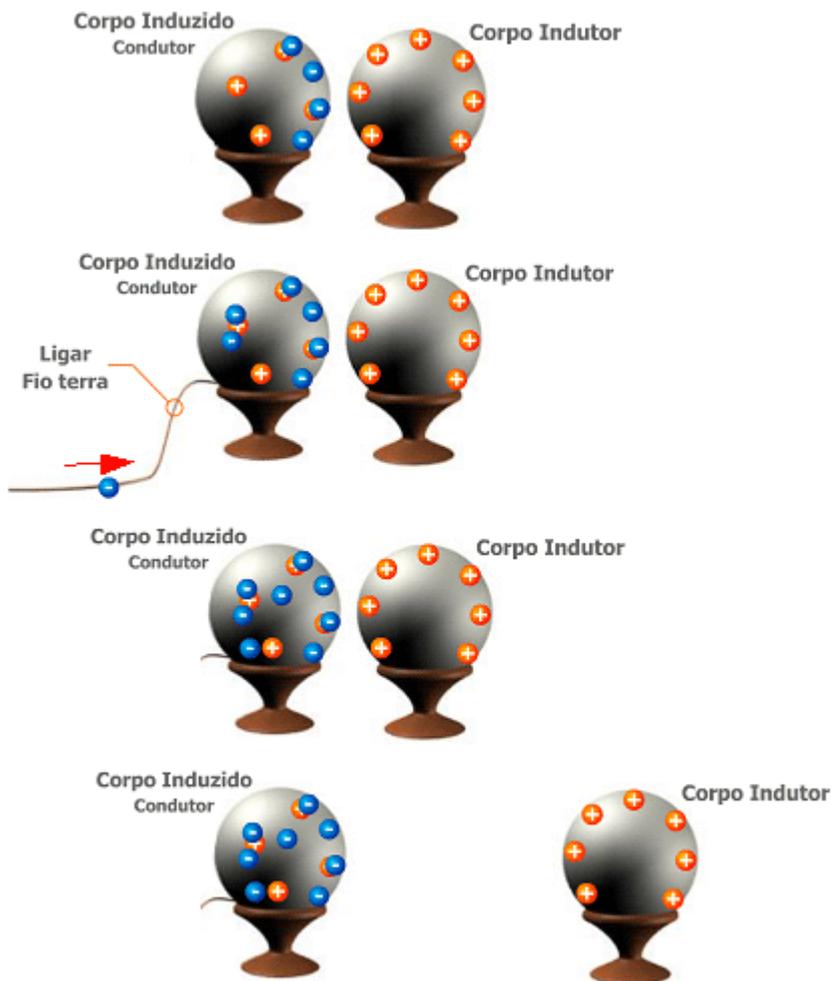
$$Q'_A / R_A = Q'_B / R_B$$

**Observação:** A terra pode ser considerada como uma enorme esfera neutra. Desse modo, sua situação elétrica não se modifica ao ser ligada a um corpo condutor eletrizado. Como as dimensões do corpo são desprezíveis em relação às da terra, a carga elétrica que permanece no mesmo, após a ligação a terra, é desprezível e o mesmo fica praticamente NEUTRO.

## ELETRIZAÇÃO POR INDUÇÃO



Segundo o estudo dos processos de eletrização, a indução ocorre quando se tem um corpo que está inicialmente eletrizado e é colocado próximo a um corpo neutro. Com isso, a configuração das cargas do corpo neutro se modifica de forma que as cargas de sinal contrário a do bastão tendem a se aproximar do mesmo.

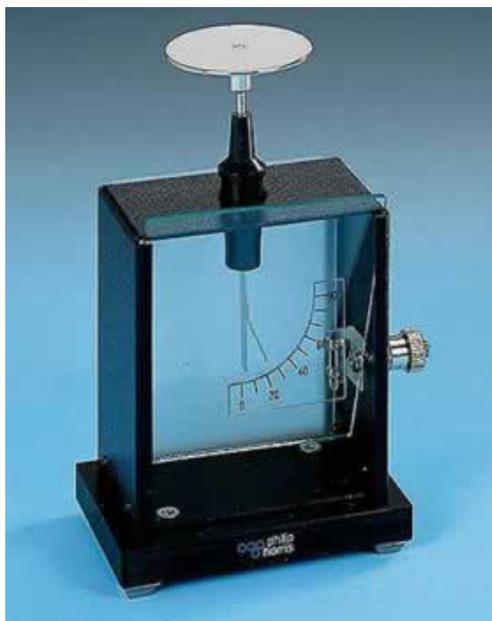


### Observação:

**(1)** Na eletrização por indução, o corpo induzido sempre se eletriza com carga de sinal contrário à do corpo indutor.

**(2)** Graças à indução, um corpo eletrizado atrai um corpo neutro. Se os corpos têm cargas de sinais iguais ou um deles estiver neutro, haverá atração. Se dois se repelem, eles obrigatoriamente estão eletrizados com cargas de sinais iguais.

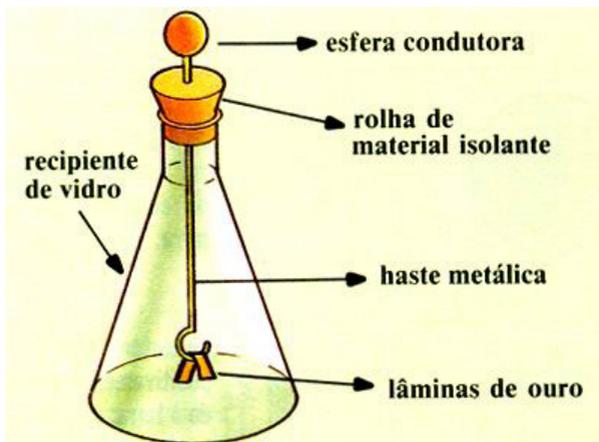
## ELETROSCÓPIO



O eletroscópio é um aparelho que se destina a indicar a existência de cargas elétricas, ou seja, identificar se um corpo está eletrizado. Os eletroscópios mais comuns são o pêndulo eletrostático e o eletroscópio de folhas.

### Eletroscópio de folhas

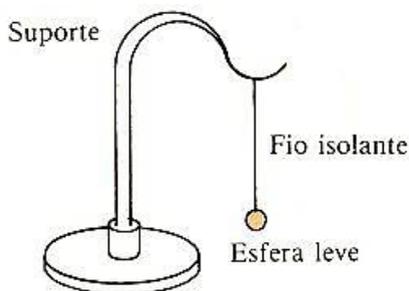
Esse tipo de eletroscópio é formado por duas finas lâminas de ouro presas numa das extremidades de uma haste metálica, sendo que na outra extremidade dessa mesma haste é presa uma esfera de material condutor. Tal sistema é acondicionado dentro de uma ampola de vidro, suspenso e totalmente isolado.



Quando se aproxima um corpo eletrizado da esfera condutora, as lâminas de ouro do eletroscópio se abrem, pois o corpo eletrizado induz na esfera condutora, cargas de sinal contrário às dele, produzindo assim a repulsão entre as folhas. Os eletroscópios detectam apenas se um corpo está ou não eletrizado, não detectando o tipo de sinal de sua carga.

### **Eletroscópios de pêndulo eletrostático:**

A princípio tem funcionamento idêntico ao eletroscópio de folhas, exceto pela sua construção. Para descobrir se um corpo está ou não eletrizado, basta aproximá-lo da esfera (inicialmente neutra). Se a esfera não se mover, o corpo está descarregado. O exemplo do eletroscópio de folhas, não é possível saber o tipo de carga do corpo eletrizado.





## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

1. (Unifor) Sabemos que eletrostática é a parte da Física responsável pelo estudo das cargas elétricas em repouso. A história nos conta que grandes cientistas como Tales de Mileto conseguiram verificar a existência das cargas elétricas.

Analise as afirmações abaixo acerca do assunto.

- I. Um corpo é chamado neutro quando é desprovido de cargas elétricas.
- II. A eletrostática é descrita pela conservação de cargas elétricas, a qual assegura que em um sistema isolado, a soma de todas as cargas existentes será sempre constante.
- III. A carga elétrica elementar é a menor quantidade de carga encontrada na natureza
- IV. No processo de eletrização por atrito, a eletrização não depende da natureza do material.

É CORRETO apenas o que se afirma em:

- a) I e II
- b) III e IV
- c) I e IV
- d) II e III
- e) II e IV

2. (UESC) Duas esferas isolantes, A e B, possuem raios iguais a  $R_A$  e  $R_B$  e cargas, uniformemente distribuídas, iguais a  $Q_A$  e  $Q_B$ , respectivamente. Sabendo-se que  $5Q_A = 2Q_B$  e ainda que  $10R_A = 3R_B$ , qual a relação entre suas densidades volumétricas de cargas  $P_A / P_B$ ?

- a)  $100/9$
- b)  $15/8$
- c)  $200/6$
- d)  $400/27$
- e)  $280/9$

3. (Unicamp) Um estudante dispõe de um kit com quatro placas metálicas carregadas eletricamente. Ele observa que, quando aproximadas sem entrar em contato, as placas A e C se atraem, as placas A e B se repelem, e as placas C e D se repelem. Se a placa D possui carga elétrica negativa, ele conclui que as placas A e B são, respectivamente,

- a) positiva e positiva.
- b) positiva e negativa.
- c) negativa e positiva.
- d) negativa e negativa.
- e) neutra e neutra.

### EXERCÍCIOS PROPOSTOS

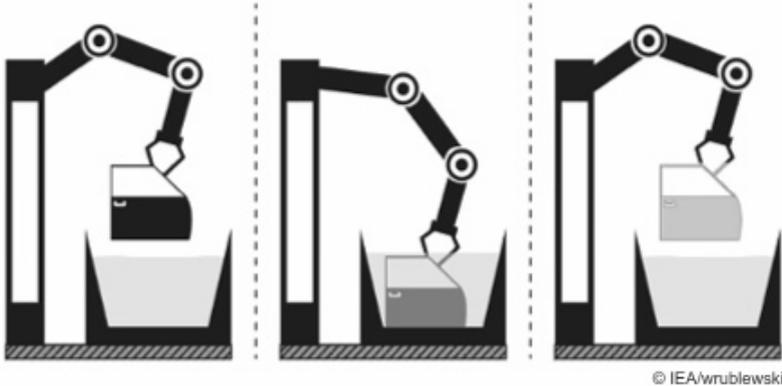
1. (Fuvest) Um objeto metálico, X, eletricamente isolado, tem carga negativa  $5,0 \times 10^{-12}$  C. Um segundo objeto metálico, Y, neutro, mantido em contato com a Terra, é aproximado do primeiro e ocorre uma faísca entre ambos, sem que eles se toquem. A duração da faísca é  $0,5$  s e sua intensidade é  $10^{-11}$  A.

No final desse processo, as cargas elétricas totais dos objetos X e Y são, respectivamente,

- a) zero e zero.
- b) zero e  $-5,0 \times 10^{-12}$  C.
- c)  $2,5 \times 10^{-12}$  C e  $-2,5 \times 10^{-12}$  C.
- d)  $-2,5 \times 10^{-12}$  C e  $+2,5 \times 10^{-12}$  C.
- e)  $+5,0 \times 10^{-12}$  C e zero.

2. (Unesp) Uma indústria automotiva faz a pintura de peças de um veículo usando a pintura eletrostática, processo também conhecido como pintura a pó. Nele, a pinça de um braço robótico condutor que segura a peça é ligada a um potencial de  $1$  kV. A pinça junto com a peça é imersa em um tanque de tinta em pó à  $0$  V. A diferença de potencial promove a adesão da tinta à peça,

que depois é conduzida pelo mesmo braço robótico a um forno para secagem. Após essa etapa, o robô libera a peça pintada e o processo é reiniciado. A ilustração a seguir mostra parte desse processo.



A indústria tem enfrentado um problema com a produção em série: após duas ou três peças pintadas, a tinta deixa de ter adesão nas peças. Uma possível causa para tal problema é:

- o movimento do braço robótico carregando a peça no interior da tinta gera atrito e aquece o sistema, anulando a diferença de potencial e impedindo a adesão eletrostática.
  - a ausência de materiais condutores faz com que não exista diferença de potencial entre a peça e a tinta.
  - cada peça pintada diminui a diferença de potencial até que, após duas ou três peças pintadas, ela torne-se nula.
  - quando a pinça e a peça são imersas na tinta, ambos entram em equilíbrio eletrostático, o que impede que a tinta tenha aderência sobre a superfície da peça.
  - com o tempo, a pinça acaba ficando recoberta por uma camada de tinta que atua como isolante elétrico anulando a diferença de potencial entre a peça e a tinta.
3. (Mackenzie) Uma esfera metálica A, eletrizada com carga elétrica igual a  $-20,0 \mu\text{C}$ , é colocada em contato com outra esfera idêntica B, eletricamente neutra. Em seguida, encosta-se a esfera B em outra C, também idêntica eletrizada com carga elétrica igual a  $50,0 \mu\text{C}$ . Após esse procedimento, as esferas B e C são separadas.

A carga elétrica armazenada na esfera B, no final desse processo, é igual a

- a)  $20,0 \mu\text{C}$
- b)  $30,0 \mu\text{C}$
- c)  $40,0 \mu\text{C}$
- d)  $50,0 \mu\text{C}$
- e)  $60,0 \mu\text{C}$

4. (Unesp) Um dispositivo simples capaz de detectar se um corpo está ou não eletrizado, é o pêndulo eletrostático, que pode ser feito com uma pequena esfera condutora suspensa por um fio fino e isolante.

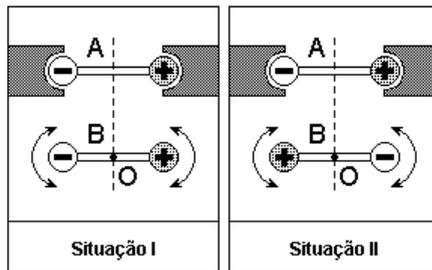
Um aluno, ao aproximar um bastão eletrizado do pêndulo, observou que ele foi repelido (etapa I). O aluno segurou a esfera do pêndulo com suas mãos, descarregando-a e, então, ao aproximar novamente o bastão, eletrizado com a mesma carga inicial, percebeu que o pêndulo foi atraído (etapa II). Após tocar o bastão, o pêndulo voltou a sofrer repulsão (etapa III). A partir dessas informações, considere as seguintes possibilidades para a carga elétrica presente na esfera do pêndulo:

Possibilidade	Etapa I	Etapa II	Etapa III
1	Neutra	Negativa	Neutra
2	Positiva	Neutra	Positiva
3	Negativa	Positiva	Negativa
4	Positiva	Negativa	Negativa
5	Negativa	Neutra	Negativa

Somente pode ser considerado verdadeiro o descrito nas possibilidades

- a) 1 e 3.
- b) 1 e 2.
- c) 2 e 4.
- d) 4 e 5.
- e) 2 e 5.

5. (Fuvest) Duas barras isolantes, A e B, iguais, colocadas sobre uma mesa, têm em suas extremidades, esferas com cargas elétricas de módulos iguais e sinais opostos. A barra A é fixa, mas a barra B pode girar livremente em torno de seu centro O, que permanece fixo. Nas situações I e II, a barra B foi colocada em equilíbrio, em posições opostas. Para cada uma dessas duas situações, o equilíbrio da barra B pode ser considerado como sendo, respectivamente,



(SITUAÇÕES DE EQUILÍBRIO - após o sistema ser levemente deslocado de sua posição inicial

Estável = tende a retornar ao equilíbrio inicial

Instável = tende a afastar-se do equilíbrio inicial

Indiferente = permanece em equilíbrio na nova posição)

- a) indiferente e instável.
- b) instável e instável.
- c) estável e indiferente.
- d) estável e estável.
- e) estável e instável.

## CAPÍTULO 2 - LEI DE COULOMB

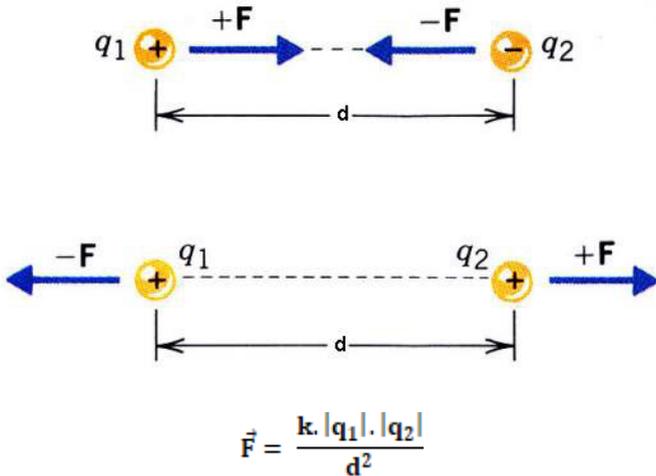


O físico francês Charles de Coulomb iniciou suas pesquisas no campo da eletricidade e do magnetismo para participar de um concurso aberto pela Académie des Sciences de Paris sobre a fabricação de agulhas imantadas. Seus estudos conduziram à chamada lei de Coulomb. Charles-Augustin de Coulomb nasceu em Angoulême, em 14 de junho de 1736. Passou nove anos nas Índias Ocidentais como engenheiro militar e, nos intervalos de suas atividades profissionais, dedicava-se a investigações sobre mecânica aplicada. De volta à França, interessou-se pelos estudos de eletricidade. A publicação de numerosos artigos de grande repercussão nos meios científicos lhe valeu o ingresso na Académie des Sciences em 1781.

Começou a estudar um meio de avaliar a força magnética de uma barra imantada. Para esse fim, idealizou a balança de torção, semelhante à usada pelo físico e químico inglês Henry Cavendish para medir a atração gravitacional. Os resultados de suas pesquisas foram publicados de 1785 a 1789 nas Mémoires de l'Académie Royale des Sciences (Memórias da Academia Real de Ciências). As experiências realizadas por Coulomb sobre os efeitos de atração e repulsão de duas cargas elétricas permitiram-lhe verificar que a lei da atração universal de Newton também se aplicava à eletricidade. Estabeleceu então a lei das atrações elétricas, segundo a qual as forças de atração ou de repulsão entre as cargas elétricas são diretamente proporcionais às cargas (massas) e inversamente

proporcionais ao quadrado da distância que as separa. Coulomb morreu em Paris a 23 de agosto de 1806

Esta lei, formulada por Charles Augustin Coulomb, refere-se às forças de interação (atração e repulsão) entre duas cargas elétricas puntiformes, ou seja, com dimensão e massa desprezível. Lembrando que, pelo princípio de atração e repulsão, cargas com sinais opostos são atraídas e com sinais iguais são repelidas, mas estas forças de interação têm intensidade igual, independente do sentido para onde o vetor que as descreve aponta. O que a Lei de Coulomb enuncia é que a intensidade da força elétrica de interação entre cargas puntiformes é diretamente proporcional ao produto dos módulos de cada carga e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa. Ou seja:

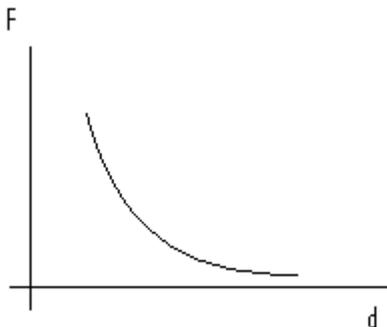


Onde  $q_1$  e  $q_2$  são os módulos das cargas elétricas envolvidas, e  $k$  uma constante eletrostática que, no SI, para as cargas situadas no vácuo é:

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$$

## Representação gráfica da lei de Coulomb

Representando a força de interação elétrica em função da distância entre duas cargas puntiformes, obteremos como gráfico uma hipérbole, conforme indica a figura.

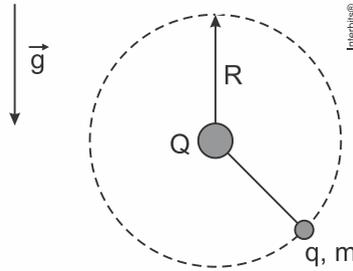


## EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

1. (Uece) Considere duas massas puntiformes de mesmo valor  $m$ , com cargas elétricas de mesmo valor  $Q$  e sinais opostos, e mantidas separadas de uma certa distância. Seja  $G$  a constante de gravitação universal e  $k$  a constante eletrostática. A razão entre as forças de atração eletrostática e gravitacional é

- a)  $\frac{Gm^2}{Q^2k}$ .
- b)  $\frac{Q^2G}{km^2}$ .
- c)  $\frac{Q^2G}{km^2}$ .
- d)  $\frac{QG}{km}$ .

2. (Upe) Duas cargas elétricas pontuais,  $Q = 2,0 \mu\text{C}$  e  $q = 0,5 \mu\text{C}$ , estão amarradas à extremidade de um fio isolante. A carga  $q$  possui massa  $m = 10 \text{ g}$  e gira em uma trajetória de raio  $R = 10 \text{ cm}$ , vertical, em torno da carga  $Q$  que está fixa.



Sabendo que o maior valor possível para a tração no fio durante esse movimento é igual a  $T = 11\text{N}$ , determine o módulo da velocidade tangencial quando isso ocorre. A constante eletrostática do meio é igual a  $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 \text{ C}^{-2}$ .

- a)  $10 \text{ m/s}$
- b)  $11 \text{ m/s}$
- c)  $12 \text{ m/s}$
- d)  $14 \text{ m/s}$
- e)  $20 \text{ m/s}$

3. (Uesc) Considere um modelo clássico de um átomo de hidrogênio, onde um elétron, de massa  $m$  e carga  $-q$ , descreve um movimento circular uniforme, de raio  $R$ , com velocidade de módulo  $v$ , em torno do núcleo. A análise das informações, com base nos conhecimentos da Física, permite concluir:

- a) A intensidade da corrente elétrica estabelecida na órbita é igual a  $qv/R$ .
- b) O raio da órbita é igual a  $kq^2 / mv^2$ , sendo  $k$  a constante eletrostática do meio.
- c) O trabalho realizado pela força de atração que o núcleo exerce

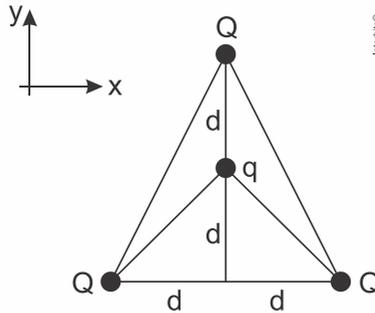
sobre o elétron é motor.

d) A resultante centrípeta é a força de atração eletrostática que o elétron exerce sobre o núcleo.

e) O núcleo de hidrogênio apresenta, em seu entorno, um campo elétrico e um campo magnético.

### EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. (Fuvest) Três pequenas esferas carregadas com carga positiva  $Q$  ocupam os vértices de um triângulo, como mostra a figura. Na parte interna do triângulo, está afixada outra pequena esfera, com carga negativa  $q$ . As distâncias dessa carga às outras três podem ser obtidas a partir da figura.



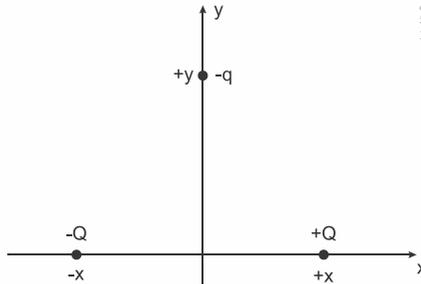
Sendo  $Q = 2 \times 10^{-4} \text{ C}$ ,  $q = -2 \times 10^{-5} \text{ C}$  e  $d = 6 \text{ m}$ , a força elétrica resultante sobre a carga  $q$ .

Note e adote:

A constante  $k_0$  da lei de Coulomb vale  $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$

- é nula.
- tem direção do eixo  $y$ , sentido para baixo e módulo  $1,8 \text{ N}$ .
- tem direção do eixo  $y$ , sentido para cima e módulo  $1,0 \text{ N}$ .
- tem direção do eixo  $y$ , sentido para baixo e módulo  $1,0 \text{ N}$ .
- tem direção do eixo  $y$ , sentido para cima e módulo  $0,3 \text{ N}$ .

2. (Mackenzie)



Dois corpos eletrizados com cargas elétricas puntiformes  $+Q$  e  $-Q$  são colocados sobre o eixo  $x$  nas posições  $+x$  e  $-x$  respectivamente. Uma carga elétrica de prova  $-q$  é colocada sobre o eixo  $y$  na posição  $-y$ , como mostra a figura acima.

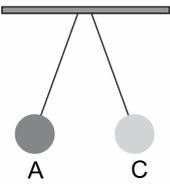
- A força eletrostática resultante sobre a carga elétrica de prova
- tem direção horizontal e sentido da esquerda para a direita.
  - tem direção horizontal e sentido da direita para a esquerda.
  - tem direção vertical e sentido ascendente.
  - tem direção vertical e sentido descendente.
  - é um vetor nulo.

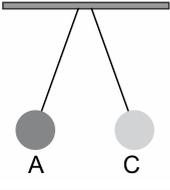
3. (Unesp) Em um experimento de eletrostática, um estudante dispunha de três esferas metálicas idênticas, A, B, e C, eletrizadas, no ar, com cargas elétricas  $5Q$ ,  $3Q$  e  $-2Q$ , respectivamente.

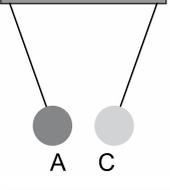


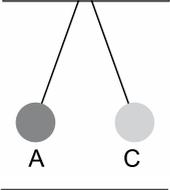
Utilizando luvas de borracha, o estudante coloca as três esferas simultaneamente em contato e, depois de separá-las, suspende A e C por fios de seda, mantendo-as próximas. Verifica, então, que elas interagem eletricamente, permanecendo em equilíbrio estático a uma distância  $d$  uma da outra. Sendo  $k$  a constante eletrostática do ar, assinale a alternativa que contém a correta

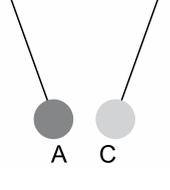
representação da configuração de equilíbrio envolvendo as esferas A e C, e a intensidade da força de interação elétrica entre elas.

a)  e  $F = \frac{10kQ^2}{d^2}$

b)  e  $F = \frac{4kQ^2}{d^2}$

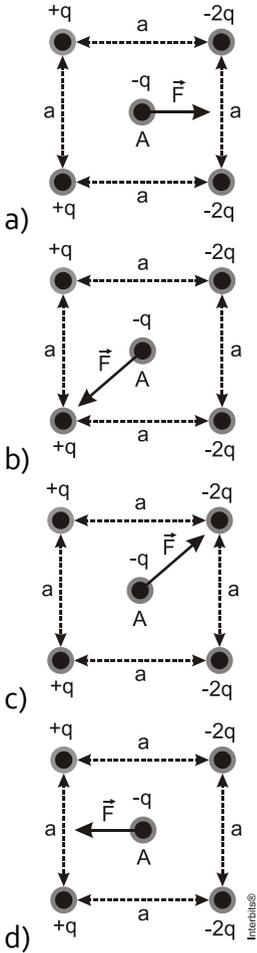
c)  e  $F = \frac{10kQ^2}{d^2}$

d)  e  $F = \frac{2kQ^2}{d^2}$

e)  e  $F = \frac{4kQ^2}{d^2}$

Interlisa®

4. (Unicamp) A atração e a repulsão entre partículas carregadas têm inúmeras aplicações industriais, tal como a pintura eletrostática. As figuras abaixo mostram um mesmo conjunto de partículas carregadas, nos vértices de um quadrado de lado  $a$ , que exercem forças eletrostáticas sobre a carga A no centro desse quadrado. Na situação apresentada, o vetor que melhor representa a força resultante agindo sobre a carga A se encontra na figura

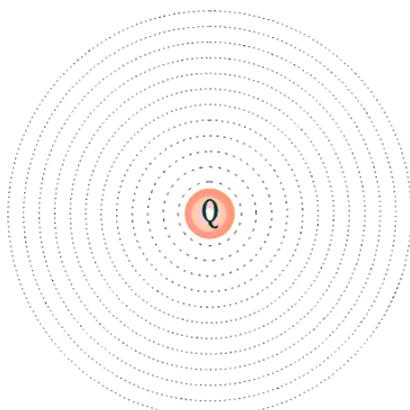


5. (Mackenzie) Duas pequenas esferas eletrizadas, com cargas  $Q_1$  e  $Q_2$ , separadas pela distância  $d$ , se repelem com uma força de intensidade  $4 \cdot 10^{-3} \text{ N}$ . Substituindo-se a carga  $Q_1$  por outra carga igual a  $3 \cdot Q_1$  e aumentando-se a distância entre elas para  $2 \cdot d$ , o valor da força de repulsão será

- a)  $3 \cdot 10^{-3} \text{ N}$
- b)  $2 \cdot 10^{-3} \text{ N}$
- c)  $1 \cdot 10^{-3} \text{ N}$
- d)  $5 \cdot 10^{-4} \text{ N}$
- e)  $8 \cdot 10^{-4} \text{ N}$

**CAPÍTULO 3 - CAMPO ELÉTRICO**

Neste capítulo, estudaremos uma grandeza vetorial que representa a influência de uma carga elétrica no espaço. Dissemos, no capítulo anterior, que a força elétrica é uma força de campo. Para que ela seja aplicada é necessário que exista um campo elétrico.



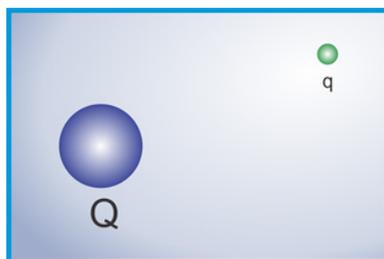
representação de um campo elétrico por linhas imaginárias

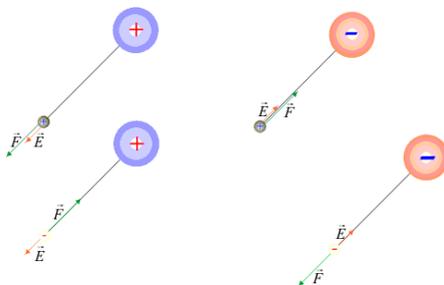
Podemos dizer que uma certa carga elétrica modifica o espaço em torno dela no sentido de ser capaz de exercer força nas diversas outras cargas presentes neste espaço. O campo elétrico será estudado, inicialmente, como sendo gerado por uma carga elétrica puntiforme (pequena) e, em seguida, por uma esfera condutora. Logo depois faremos um estudo sobre alguns fenômenos relacionados com o campo elétrico, tais como a blindagem eletrostática e a produção de raios.

### CAMPO ELÉTRICO

Vamos imaginar uma certa carga elétrica  $Q$  fixa em um ponto do espaço. Dizemos que esta carga gera no espaço em volta dela um campo de força chamado Campo Elétrico. Toda carga elétrica  $q$  inserida nesta região ficará sujeita a uma força elétrica ( $F$ ), aplicada por  $Q$ . Portanto, o Campo Elétrico está relacionado com o “raio de ação” de uma carga elétrica. A carga  $Q$  recebe o nome de Carga Geradora e a carga  $q$ , Carga de Prova (Teste).

O esquema ilustra o que foi dito. Esta denominação não está relacionada com o módulo das cargas elétricas em questão, como parece para muitas pessoas. Se estivermos estudando duas cargas,  $A$  e  $B$ , por exemplo, quando tentarmos identificar o campo elétrico de  $A$ , ela será a carga geradora e  $B$  será a de Prova. Ao trabalharmos com o campo elétrico de  $B$ , inverteremos os papéis descritos acima.

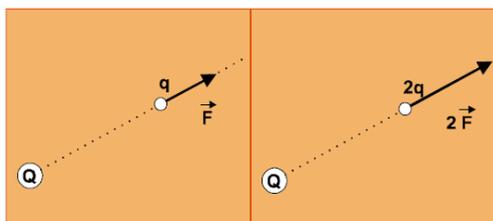




Podemos notar, portanto, que qualquer carga elétrica gera um campo elétrico ao seu redor, independentemente de ser positiva ou negativa ou de possuir módulo pequeno ou grande.

### DEFINIÇÃO MATEMÁTICA

Já sabemos que se uma carga de prova  $q$  for colocada no campo elétrico de  $Q$ , haverá uma força elétrica entre elas. Como vimos anteriormente, o valor dessa força elétrica é proporcional ao módulo das cargas (Lei de Coulomb). Se modificarmos somente o módulo de  $q$ , teremos, por consequência, uma modificação proporcional na intensidade da força. Acompanhe o esquema:



Observando estes esquemas, podemos concluir que a razão entre a força elétrica e a carga de prova é constante em cada ponto do espaço.

$$\frac{\vec{F}}{q} = \frac{2\vec{F}}{2q} = \dots = \text{constante}$$

A esta constante damos o nome de Vetor Campo Elétrico (**E**). Assim:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

A sua intensidade será dada por:

$$E = \frac{F}{q}$$

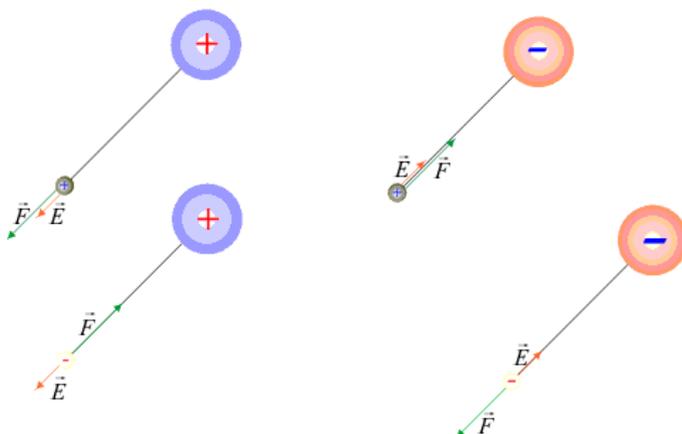
A sua unidade no S.I. será:

$$[\vec{E}] = \frac{[\vec{F}]}{[q]} = \frac{N}{C}$$

A direção do vetor campo elétrico será radial. Para entendermos o sentido do vetor campo elétrico, devemos lançar mão da sua definição matemática:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Nesta igualdade podemos notar que se a carga de prova for positiva, os vetores **E** e **F** terão o mesmo sentido e se ela for negativa, sentidos opostos. Sobre este fato, temos quatro possibilidades:



Podemos tirar, então, uma regra geral dessas observações:

- Cargas elétricas positivas geram campo elétrico cujo sentido é de afastamento (divergente).
- Cargas elétricas negativas geram campo elétrico cujo sentido é de aproximação (convergente).

### ATENÇÃO:

(1) Quando a carga de prova tem sinal negativo ( $q < 0$ ), os vetores força e campo elétrico têm mesma direção, mas sentidos opostos, e quando a carga de prova tem sinal positivo ( $q > 0$ ), ambos os vetores têm mesma direção e sentido.

(2) Já quando a carga geradora do campo tem sinal positivo ( $Q > 0$ ), o vetor campo elétrico tem sentido de afastamento das cargas e quando tem sinal negativo ( $Q < 0$ ), tem sentido de aproximação, sendo que isto não varia com a mudança do sinal das cargas de provas.

### Observações:

(1) O campo elétrico atua nos pontos do espaço e não é influenciado

pela existência da carga de prova.

(2) A força elétrica atua na carga de prova que pode ser inserida em um campo elétrico.

(3) Não se pode somar vetorialmente a força e o campo elétrico. Apesar de ambas as grandezas serem vetoriais, elas possuem propriedades diferentes.

### CAMPO ELÉTRICO GERADO POR UMA CARGA PUNTIFORME

Uma carga elétrica cujo tamanho pode ser desprezado é chamada de puntiforme. Vamos imaginar uma carga puntiforme geradora  $Q$  fixa em um ponto do espaço. Se inserirmos uma carga de prova  $q$  no campo elétrico de  $Q$ , a uma distância  $r$ , haverá a aplicação mútua de uma força elétrica. O módulo do campo elétrico neste ponto é dado por:

$$E = \frac{F}{|q|} \quad (1)$$

Pela Lei de Coulomb, sabemos que a intensidade da força elétrica entre as cargas citadas é dada pela expressão:

$$F = k \frac{|Q| \cdot |q|}{r^2} \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1), temos:

$$E = \frac{k \frac{|Q| \cdot |q|}{r^2}}{|q|}$$

Que pode ser simplificada para:

$$E = \frac{k \cdot |Q|}{r^2}$$

Esta é a maneira de calcularmos o módulo do campo elétrico gerado por cargas puntiformes. Note que o campo elétrico depende de apenas três fatores:

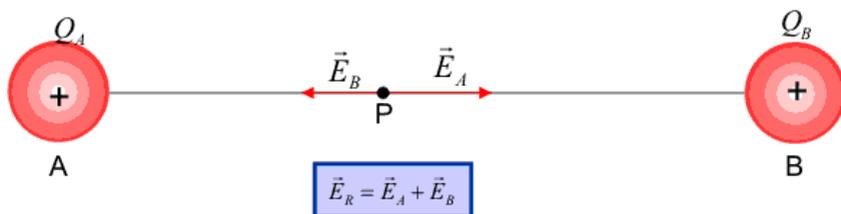
- 1) constante elétrica ( $k$ ): representa o meio em que a carga geradora está imersa.
- 2) módulo da carga geradora ( $Q$ ): o módulo do campo elétrico e o da carga geradora são diretamente proporcionais.
- 3) distância entre a carga geradora e o ponto considerado: o módulo do campo elétrico é inversamente proporcional ao quadrado da distância.

**Observação:** Se quisermos calcular o campo elétrico resultante em um ponto, devido à ação de várias cargas geradoras ao mesmo tempo, devemos determinar, isoladamente, o campo de cada carga e efetuar a soma vetorial entre eles.

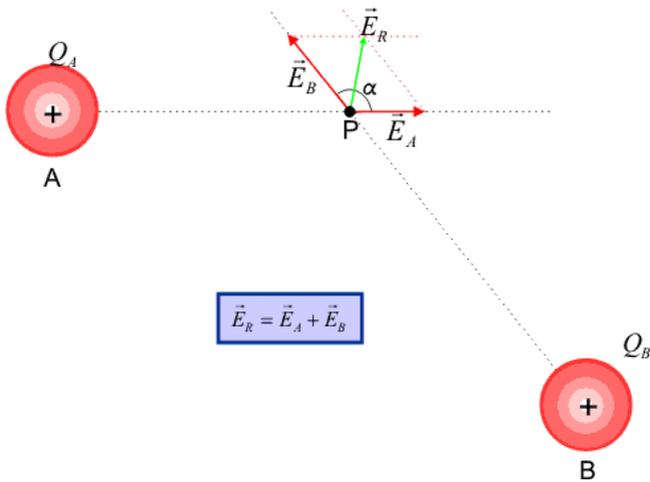
### CAMPO ELÉTRICO GERADO POR MAIS DO QUE UMA PARTÍCULA ELETRIZADA.

Quando duas ou mais cargas estão próximas o suficiente para que os campos gerados por cada uma se interfiram, é possível determinar um campo elétrico resultante em um ponto desta região. Para isto, analisa-se isoladamente a influência de cada um dos campos gerados sobre um determinado ponto.

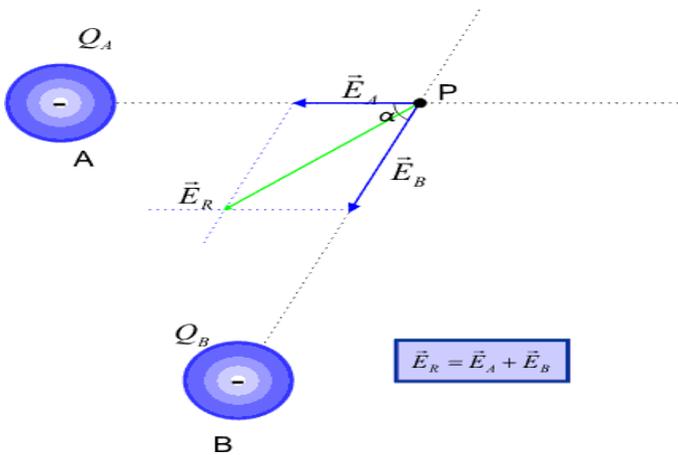
Por exemplo, imaginemos duas cargas postas arbitrariamente em um ponto **A** e outro **B**, com cargas  $Q_A$  e  $Q_B$ , respectivamente. Imaginemos também um ponto **P** sob a influência dos campos gerados pelas duas cargas simultaneamente. O vetor do campo elétrico resultante será dado pela soma dos vetores  $\vec{E}_A$  e  $\vec{E}_B$  no ponto **P**, como ilustram os exemplos a seguir.



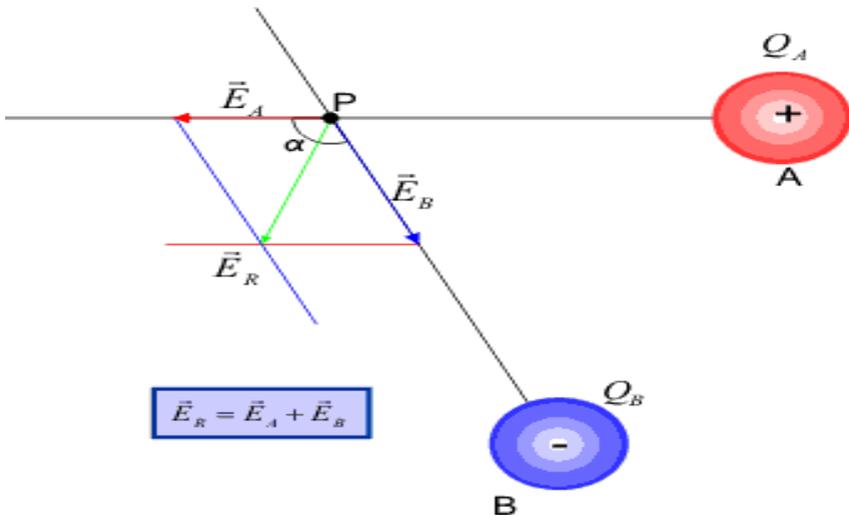
Como as duas cargas geradoras do campo têm sinal positivo, cada uma delas gera um campo divergente (de afastamento), logo o vetor resultante terá módulo igual à subtração entre os valores dos vetores e direção e sentido do maior valor absoluto.



Assim como no exemplo anterior, ambos os campos elétricos gerados são divergentes, mas como existe um ângulo formado entre eles, esta soma vetorial é calculada através de regra do paralelogramo, ou seja, traçando-se o vetor soma dos dois vetores, tendo assim o módulo, direção e sentido do vetor campo elétrico resultante. Como ambas as cargas que geram o campo tem sinais negativos, cada componente do vetor campo resultante é convergente, ou seja, tem sentido de aproximação.



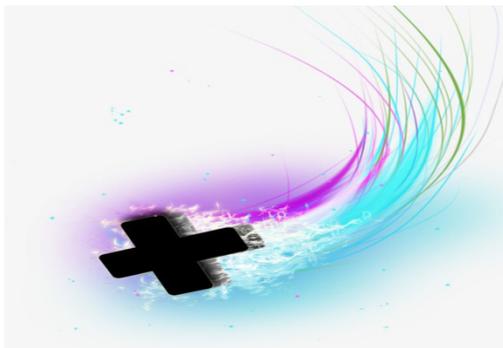
O módulo, a direção e o sentido deste vetor são calculados pela regra do paralelogramo, assim como ilustra a figura.



Neste exemplo, as cargas que geram o campo resultante têm sinais diferentes, então um dos vetores converge em relação à sua carga geradora ( $\vec{E}_B$ ) e outro diverge ( $\vec{E}_A$ ). Então podemos generalizar esta soma vetorial para qualquer número finito de partículas, de modo que:

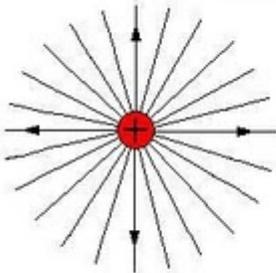
$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n$$

### LINHAS DE FORÇA OU LINHAS DE CAMPO

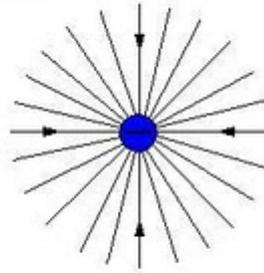


São linhas traçadas seguindo-se a trajetória de várias cargas de prova positivas em movimento dentro de um campo elétrico. Essas linhas representam a existência do campo elétrico em uma região. Para desenhá-las devemos seguir as seguintes propriedades:

Linhas de campo

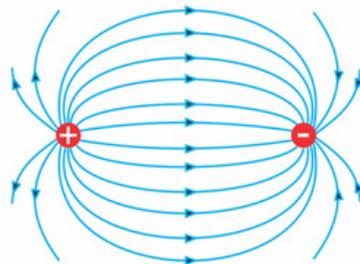
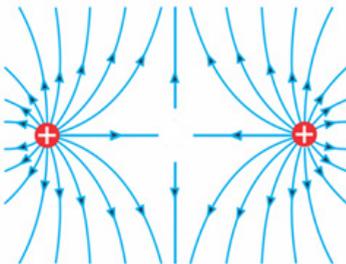


Carga elétrica positiva



Carga elétrica negativa

- 1) As linhas de força saem de cargas positivas ou do infinito e chegam nas cargas positivas ou no infinito.
- 2) As linhas de força são tangenciadas, em todos os pontos, pelo campo elétrico.
- 3) Duas linhas de força nunca se cruzam.
- 4) A densidade de linhas de força é proporcional à intensidade do campo elétrico.

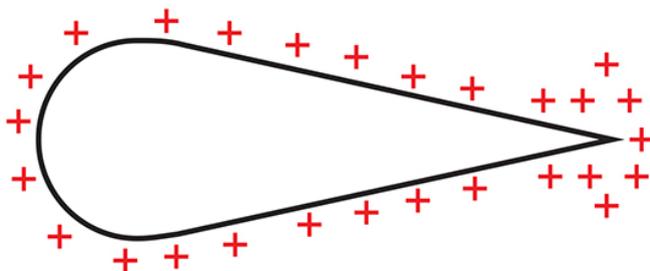


## DENSIDADE SUPERFICIAL DE CARGAS

Um corpo em equilíbrio eletrostático, ou seja, quando todos possíveis responsáveis por sua eletrização acomodam-se em sua superfície, pode ser caracterizado por sua densidade superficial média de cargas  $\sigma_m$ , que por definição é o resultado do quociente da carga elétrica  $Q$ , pela área de sua superfície  $A$ .

$$\sigma_m = \frac{Q}{A}$$

Sendo sua unidade adotada no SI o C/m<sup>2</sup>.



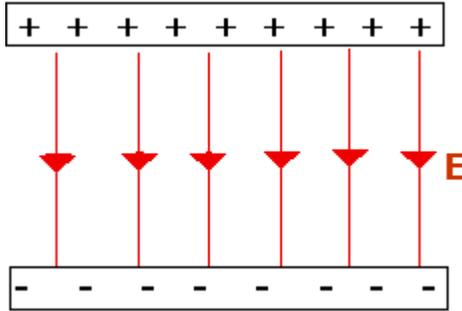
Observe que para cargas negativas a densidade superficial média de cargas também é negativa, já que a área sempre é positiva.

Utiliza-se o termo médio já que dificilmente as cargas elétricas se distribuem uniformemente por toda a superfície de um corpo, de modo que é possível constatar que o módulo desta densidade é inversamente proporcional ao seu raio de curvatura, ou seja, em objetos pontiagudos eletrizados há maior concentração de carga em sua extremidade (ponta).

## CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

O campo elétrico em uma região será chamado de uniforme quando o vetor campo elétrico for constante (em módulo, direção e sentido) em todos os seus pontos. Para conseguirmos produzir um campo elétrico com essas características, podemos utilizar duas placas planas e paralelas, eletrizadas com cargas de mesmo

módulo e sinais opostos.

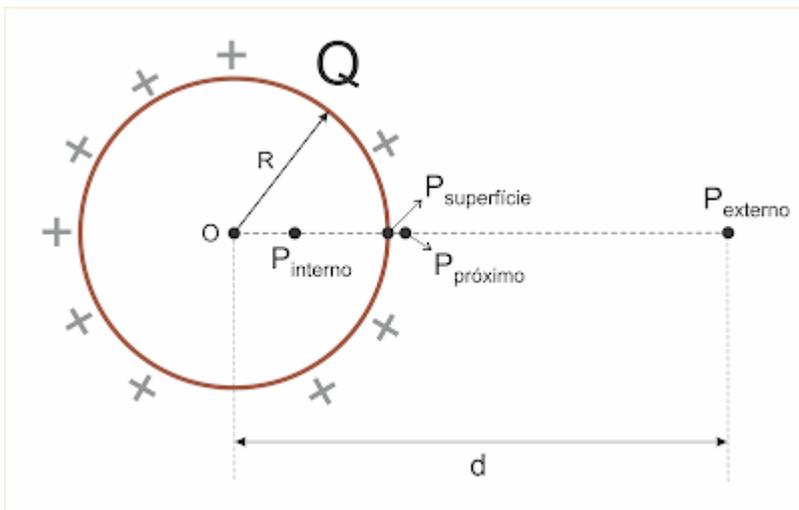


Podemos observar que as linhas de força são paralelas e igualmente distanciadas umas das outras.

### CAMPO ELÉTRICO GERADO POR UMA ESFERA CONDUTORA E ELETRIZADA

Quando eletrizamos uma esfera, podemos verificar que as cargas elétricas em excesso tendem a se deslocar para a sua superfície externa. A explicação para esta característica está no fato de que estas cargas elétricas repelem-se mutuamente.

No instante em que todas as cargas em excesso estiverem na superfície da esfera, diremos que foi atingido o equilíbrio eletrostático. Nesta situação, podemos imaginar que o campo elétrico no interior da esfera é nulo, pois não há aplicação de força elétrica no sentido de trazer uma carga para dentro do corpo. Para um ponto fora da esfera, dizemos que o campo elétrico gerado por ela pode ser calculado considerando-se que toda a sua carga está localizada no centro. Podemos resumir estas informações da seguinte forma: Imagine a esfera da figura seguinte com uma carga elétrica de módulo  $Q$  e raio  $R$ .



(1) Para o ponto interno à esfera, o campo elétrico tem módulo nulo.

$$\mathbf{E}_{\text{interno}} = \mathbf{0}$$

(2) Para o ponto externo, o campo elétrico tem módulo dado por:

$$E = \frac{k \cdot |Q|}{d^2}$$

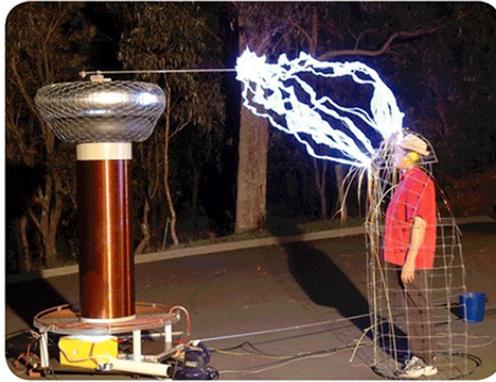
(3) Para o ponto próximo da superfície, temos:

$$E = \frac{k \cdot |Q|}{R^2}$$

(4) Para o ponto na superfície, temos:

$$E = \frac{1}{2} \cdot \frac{k \cdot |Q|}{R^2}$$

## BLINDAGEM ELETROSTÁTICA

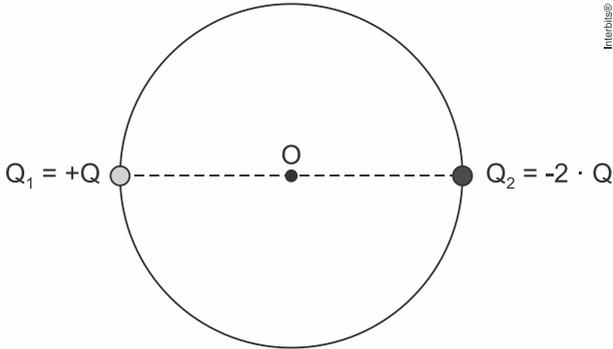


Podemos dizer que sempre que um condutor for eletrizado, as cargas elétricas que estão sobrando irão migrar para a sua superfície. Como consequência deste fato, teremos o campo elétrico nulo no interior deste condutor. Esta característica é muito utilizada em aparelhos elétricos (rádios, por exemplo) como proteção contra influências externas. Vamos imaginar que um toca-fitas funcione envolto por uma peneira metálica. Se aparecer um campo elétrico externo (gerado por um raio, digamos), a peneira metálica terá cargas elétricas induzidas em sua superfície e o campo elétrico dentro dela será nulo. Logo, o toca-fitas não será influenciado pelos agentes externos. A este fenômeno damos o nome de blindagem eletrostática.

**(2)** Gosta de ver os raios durante uma tempestade? E saberia me dizer como que eles são formados? Bom, dentro da nuvem existem partículas de água e gelo que ficam se atritando, deixando a parte de baixo da nuvem com carga negativa e a parte de cima com carga positiva. Fica uma coisa bem parecida com uma pilha, ou, melhor dizendo, polarizada. Enfim, no momento em que a carga chega a um ponto que o ar não consegue mais suportar (caso você não saiba, o ar é um isolante de eletricidade), a carga ioniza o ar, transformando-o em condutor. E então, temos a liberação de uma grande descarga elétrica da nuvem, que chamamos de raio. Ah, esse processo tem um termo técnico: Ruptura do Dielétrico.

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

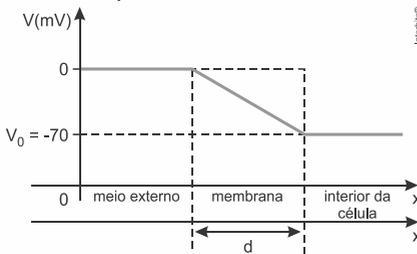
1. (Uefs) Duas cargas elétricas puntiformes,  $Q_1$  e  $Q_2$ , estão fixas sobre uma circunferência de centro  $O$ , conforme a figura.



Considerando que  $\vec{E}$  representa o vetor campo elétrico criado por uma carga elétrica puntiforme em determinado ponto e que  $E$  representa o módulo desse vetor, é correto afirmar que, no ponto  $O$ :

- a)  $\vec{E}_2 = -2 \cdot \vec{E}_1$
- b)  $\vec{E}_2 = 2 \cdot \vec{E}_1$
- c)  $\vec{E}_2 = \vec{E}_1$
- d)  $E_2 = -E_1$
- e)  $E_2 = -2 \cdot E_1$

2. (Ebmsp)



A figura representa a variação de potencial elétrico entre as partes externa e interna de uma célula, denominado potencial de membrana. Esse potencial é medido posicionando-se um dos polos de um medidor de voltagem no interior de uma célula e o outro no líquido extracelular.

Com base nessa informação e considerando-se a intensidade do campo elétrico em uma membrana celular igual a  $7,5 \cdot 10^6$  N/C. e a carga elétrica fundamental igual a  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C, é correto afirmar:

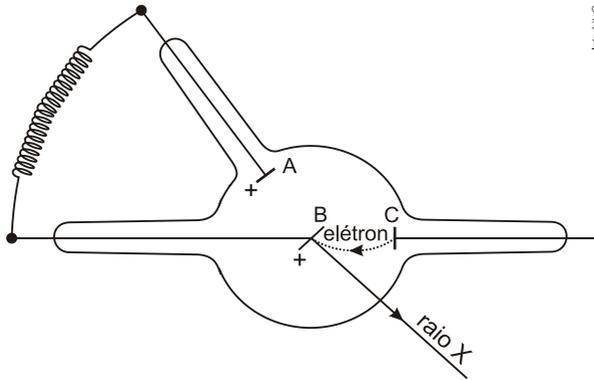
- a) A diferença de potencial  $\Delta V$  medido com as pontas dos dois microelétrodos no fluido extracelular é -70 mV.
- b) A espessura da membrana celular é de, aproximadamente, 80 Å
- c) A intensidade da força elétrica que atua em um íon  $\text{Ca}^{++}$  na membrana é igual a
- d) A energia potencial adquirida por um íon  $\text{K}^+$  que entra na célula é igual a  $1,12 \cdot 10^{-17}$  J.
- e) O íon  $\text{K}^+$  que atravessa perpendicularmente a membrana de espessura  $d$  descreve movimento retilíneo e uniforme, sob a ação exclusiva de uma força elétrica.

### TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Desde que médicos começaram a solicitar regularmente exames de tomografia computadorizada, cientistas se preocupam que o procedimento de imageamento médico possa aumentar o risco de o paciente desenvolver câncer. O aparelho bombardeia o organismo com feixes de raios X, que podem danificar o DNA e provocar mutações que estimulam as células a formar tumores. Médicos sempre declararam, no entanto, que os benefícios superam os riscos. Os raios X, que giram em torno da cabeça, tórax ou outra região do corpo, ajudam a criar uma imagem tridimensional muito mais detalhada que as produzidas por um aparelho padrão de raios X, mas uma única tomografia submete o corpo humano à radiação de 150 a 1.100 vezes mais intensa que os raios X convencionais, ou o equivalente a um ano de exposição à radiação de origens naturais e artificiais no ambiente.

(STORRS. 2013. p.24-25).

## 3. (Uneb)



Interfase®

Os raios X utilizados nos exames de tomografia computadorizada podem ser produzidos no tubo de gás, conforme representado na figura. Sabe-se que, no esquema simplificado, o eletrodo C é o cátodo, o eletrodo A é o ânodo, o B é o alvo, e a diferença de potencial entre o cátodo e o ânodo é de 30000 a 50000 volts.

Considerando-se que o módulo da carga elétrica e a massa do elétron são, respectivamente, iguais a  $1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$  e  $9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$ , que o índice de refração médio do corpo humano como sendo igual ao da água, 1,33, e que a velocidade da luz no vácuo é igual a  $3,0 \cdot 10^8 \text{m/s}$ , analise, com base nas informações e nos conhecimentos de Física, as afirmativas, marcando com **V** as verdadeiras e com **F**, as falsas.

( ) Os elétrons se movem entre os eletrodos C e B, uma região de um campo elétrico, aproximadamente, uniforme, com o módulo da velocidade praticamente constante.

( ) Os elétrons imediatamente antes de colidirem perpendicularmente com o eletrodo B têm energia cinética máxima de  $8,0 \cdot 10^{-15} \text{J}$ .

( ) A ordem de grandeza do comprimento de onda de raios X que se propaga no organismo humano com frequência  $5,0 \cdot 10^{19} \text{Hz}$  é igual a  $10^{-11} \text{m}$ .

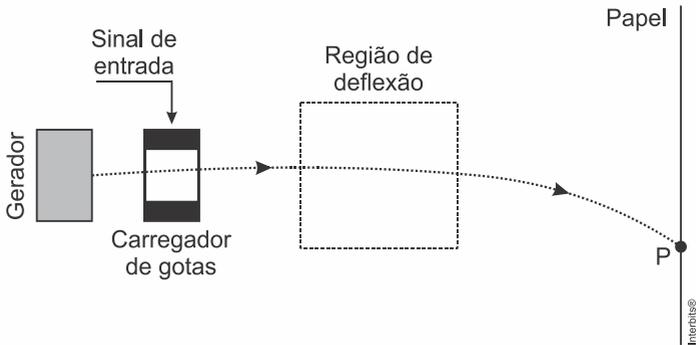
( ) A velocidade mínima de um elétron, imediatamente antes da colisão com o eletrodo B, é, aproximadamente igual, a  $1,0 \cdot 10^8 \text{m/s}$ .

A alternativa que indica a sequência correta, de cima para baixo, é a

- a) V – F – V – V
- b) V – V – V – F
- c) V – F – F – V
- d) F – V – F – F
- e) F – V – V – V

### EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. (UESC) Na figura abaixo temos o esquema de uma impressora jato de tinta que mostra o caminho percorrido por uma gota de tinta eletrizada negativamente, numa região onde há um campo elétrico uniforme. A gota é desviada para baixo e atinge o papel numa posição P.



O vetor campo elétrico responsável pela deflexão nessa região é:

- a) ↑
- b) ↓
- c) →
- d) ←

2. (Uece) Precipitador eletrostático é um equipamento que pode ser utilizado para remoção de pequenas partículas presentes nos gases de exaustão em chaminés industriais. O princípio básico de funcionamento do equipamento é a ionização dessas partículas, seguida de remoção pelo uso de um campo elétrico na região de passagem delas. Suponha que uma delas tenha massa  $m$ , adquira

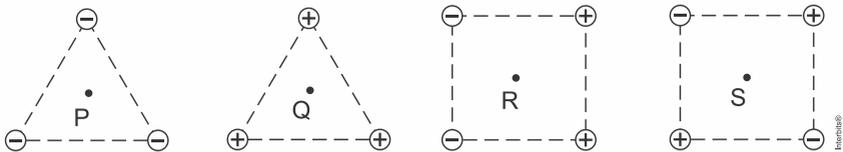
uma carga de valor  $q$  e fique submetida a um campo elétrico de módulo  $E$ . A força elétrica sobre essa partícula é dada por

- a)  $mqE$
- b)  $mE/q$
- c)  $q/E$
- d)  $qE$

3. (UNICAMP) Imediatamente antes de um relâmpago, uma nuvem tem em seu topo predominância de moléculas com cargas elétricas positivas, enquanto sua base é carregada negativamente. Considere um modelo simplificado que trata cada uma dessas distribuições como planos de carga paralelos e com distribuição uniforme. Sobre o vetor campo elétrico gerado por essas cargas em um ponto entre o topo e a base, é correto afirmar que:

- a) é vertical e tem sentido de baixo para cima.
- b) é vertical e tem sentido de cima para baixo.
- c) é horizontal e tem mesmo sentido da corrente de ar predominante no interior da nuvem.
- d) é horizontal e tem mesmo sentido no norte magnético da Terra.

4. (Uern) Os pontos P, Q, R e S são equidistantes das cargas localizadas nos vértices de cada figura a seguir:

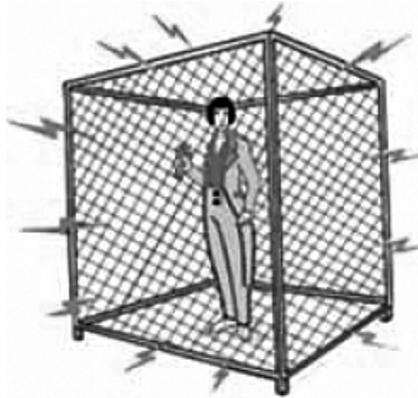


Sobre os campos elétricos resultantes, é correto afirmar que

- a) é nulo apenas no ponto R.
- b) são nulos nos pontos P, Q e S.

- c) são nulos apenas nos pontos R e S.
- d) são nulos apenas nos pontos P e Q.

5. (Fgv) A gaiola de Faraday é um curioso dispositivo que serve para comprovar o comportamento das cargas elétricas em equilíbrio. A pessoa em seu interior não sofre descarga



(vcfaz.tv)

Dessa experiência, conclui-se que o campo elétrico no interior da gaiola é

- a) uniforme e horizontal, com o sentido dependente do sinal das cargas externas.
- b) nulo apenas na região central onde está a pessoa.
- c) mais intenso próximo aos vértices, pois é lá que as cargas mais se concentram.
- d) uniforme, dirigido verticalmente para cima ou para baixo, dependendo do sinal das cargas externas.
- e) inteiramente nulo.

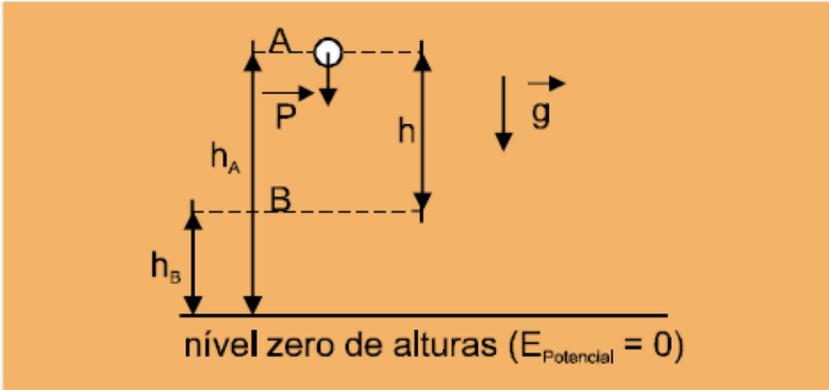
## CAPÍTULO 4 - POTENCIAL ELÉTRICO



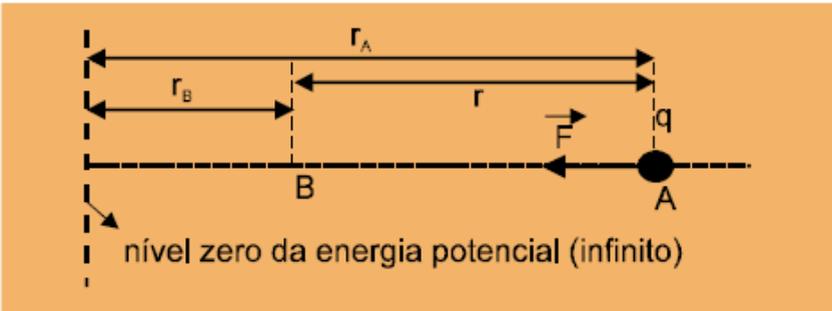
Já foi estudado o Campo Elétrico, que é uma região do espaço em torno de uma carga elétrica (chamada geradora) em que outras cargas elétricas (chamadas de prova) sofrem a ação de alguma força elétrica. O Campo Elétrico, por ser uma grandeza vetorial, apresenta algumas dificuldades no seu estudo, como é o caso do cálculo do Campo Elétrico Resultante em um ponto, devido à ação de várias cargas. No intuito de se simplificar o estudo da Eletrostática, apareceu a noção de Potencial Elétrico, que representa, conceitualmente, o mesmo que o Campo Elétrico, mas que leva a vantagem de ser uma grandeza escalar.

Para que você possa compreender melhor a noção de Potencial Elétrico, vamos traçar um paralelo com a Força Gravitacional. Imagine, então, duas situações em que ocorre a realização de trabalho por forças conservativas (o trabalho não depende da trajetória):

(1) Um corpo de massa  $M$  é abandonado e cai entre dois pontos A e B do espaço sob a ação exclusiva do seu peso.



(2) Uma carga elétrica  $q$  é abandonada em uma região do espaço onde existe um campo elétrico uniforme e se desloca de A para B devido à ação exclusiva da força elétrica.



Na situação 1, o trabalho realizado pelo peso é igual à perda de energia potencial gravitacional do corpo.

$$W_{AB} = P \cdot h_{AB} = m \cdot g \cdot (h_A - h_B)$$

$$W_{AB} = m \cdot (gh_A - gh_B)$$

Onde o produto  $\mathbf{g} \cdot \mathbf{h}$  é chamado de Potencial Gravitacional. Quando há realização de trabalho por parte do peso, certamente ocorre uma variação do Potencial Gravitacional, uma grandeza escalar que está diretamente relacionada com a posição do corpo estudado.

Na segunda situação, ocorre algo muito semelhante. Ao invés de tratarmos de forças gravitacionais, iremos estudar forças elétricas. O trabalho realizado pela força elétrica é:

$$W_{AB} = F \cdot r_{AB} = E \cdot q \cdot r_{AB} = E \cdot q \cdot (r_A - r_B)$$

$$W_{AB} = q \cdot (E r_A - E r_B)$$

Por analogia, vamos chamar o produto  $\mathbf{E} \cdot \mathbf{r}$  de Potencial Elétrico (V). Assim, o trabalho realizado pela força elétrica é igual a:

$$W_{AB} = q \cdot (V_A - V_B)$$

Onde a grandeza  $V_A$  e  $V_B$  é chamada de diferença de potencial (d.d.p.), voltagem ou tensão elétrica. É exatamente por causa da diferença de potencial entre dois pontos que uma carga elétrica entra em movimento. Imagine, agora, que a carga  $q$  da figura seja levada do ponto A até um ponto B muito distante (no infinito), onde o campo elétrico é nulo. Assim, o potencial elétrico no ponto B será nulo também. Neste caso, o potencial elétrico no ponto A será igual a:

$$V_A = \frac{W_{A\infty}}{q}$$

Cuja unidade no S. I. é:

$$[V] = \frac{\text{Joule}}{\text{Coulomb}} = \text{Volt (V)}$$

Note que o potencial elétrico está relacionado com a quantidade de energia que uma carga elétrica possui em um ponto qualquer de um campo elétrico. O potencial elétrico depende da posição ocupada por uma carga elétrica. Uma unidade de energia muito utilizada em Física Nuclear é o elétronvolt, que corresponde ao trabalho realizado sobre um elétron em uma d.d.p. de 1 volt. A relação entre o joule e o elétronvolt é:

$$1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

### POTENCIAL ELÉTRICO DE CARGAS PUNTIFORMES

Imagine um campo elétrico gerado por uma carga  $Q$ , ao ser colocada uma carga de prova  $q$  em seu espaço de atuação podemos perceber que, conforme a combinação de sinais entre as duas cargas, esta carga  $q$ , será atraída ou repelida, adquirindo movimento, e conseqüentemente Energia Cinética. Lembrando da energia cinética estudada em mecânica, sabemos que para que um corpo adquira energia cinética é necessário que haja uma energia potencial armazenada de alguma forma. Quando esta energia está ligada à atuação de um campo elétrico, é chamada **Energia Potencial Elétrica** ou **Eletrostática**, simbolizada por  $E_P$ .

$$E_P = \frac{k \cdot Q \cdot q}{d} \quad (1)$$

A unidade usada para a  $E_P$  é o joule (J).

Pode-se dizer que a carga geradora produz um campo elétrico que pode ser descrito por uma grandeza chamada **Potencial Elétrico** (ou **eletrostático**).

De forma análoga ao Campo Elétrico, o potencial pode ser descrito como o quociente entre a energia potencial elétrica e a carga de prova  $q$ . Ou seja:

$$V = \frac{E_P}{q}$$

Logo:

$$V = \frac{k \cdot Q \cdot q}{d \cdot q}$$

$$V = \frac{k \cdot Q}{d}$$

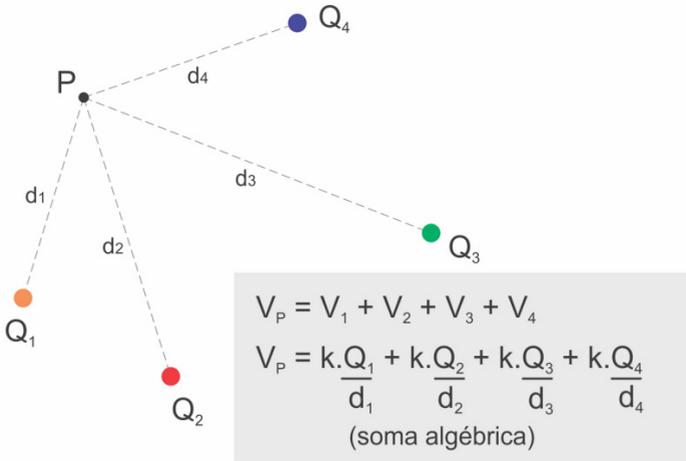
A unidade adotada, no SI para o potencial elétrico é o **volt (V)**, em homenagem ao físico italiano Alessandro Volta, e a unidade designa Joule por coulomb (**J/C**).

$$V = k \cdot \frac{Q}{d}$$

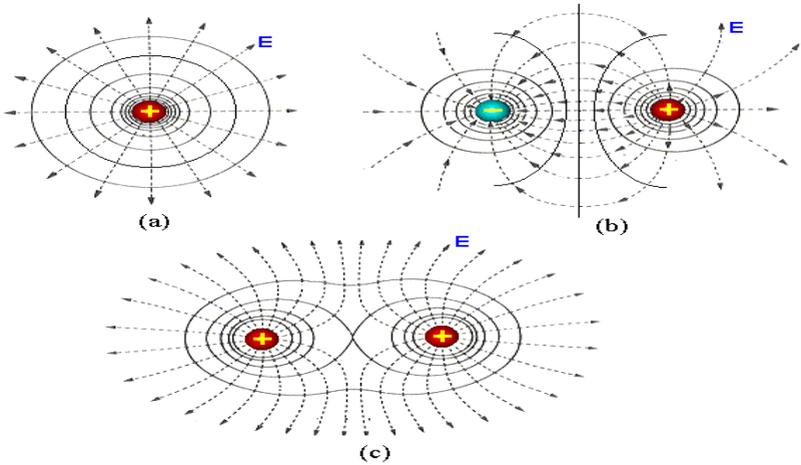
### Observações:

(1) Cargas positivas geram potenciais positivos e cargas negativas geram potenciais negativos. Lembre-se de que no cálculo do campo elétrico e da força elétrica, sempre considerávamos o módulo das cargas. A partir de agora, iremos considerar o valor algébrico da carga elétrica.

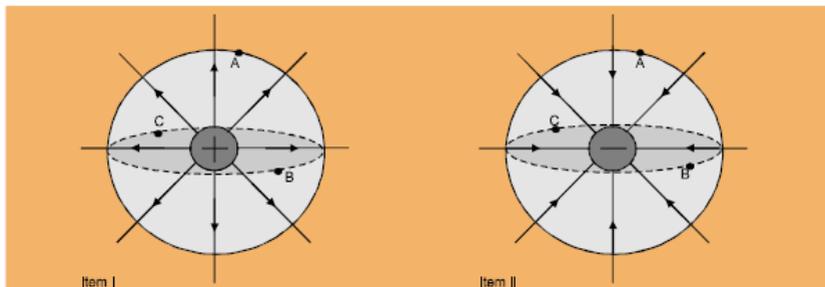
(2) O potencial elétrico resultante em um ponto, devido à ação de várias cargas, é a SOMA ALGÉBRICA dos potenciais individuais gerados pelas cargas ao seu redor.



**SUPERFÍCIES EQÜIPOTENCIAIS**



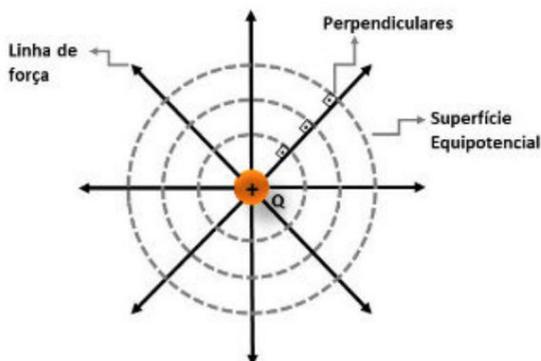
As figuras mostram cargas elétricas geradoras de campos elétricos.



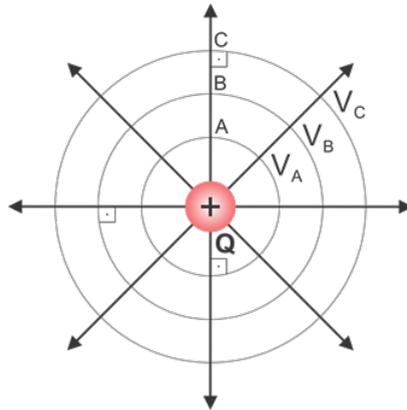
De acordo com a equação deduzida no item anterior, podemos concluir que se dois ou mais pontos estiverem a uma mesma distância da carga geradora, seus potenciais elétricos serão idênticos. Nos itens I e II da figura acima, os pontos A, B e C pertencem a uma esfera cujo centro coincide com a posição da carga  $Q$ , portanto possuem o mesmo potencial elétrico. A superfície composta pelos pontos que possuem o mesmo potencial é chamada de Equipotencial. No caso de uma carga puntiforme, as equipotenciais serão esferas cujo centro é a própria carga. Em relação a um campo elétrico uniforme, a superfície equipotencial é uma superfície plana e paralela às placas, cujo tamanho é aproximadamente igual ao das placas.

### Observações:

(1) As linhas de força de um campo elétrico são perpendiculares à superfície equipotencial em todos os seus pontos.



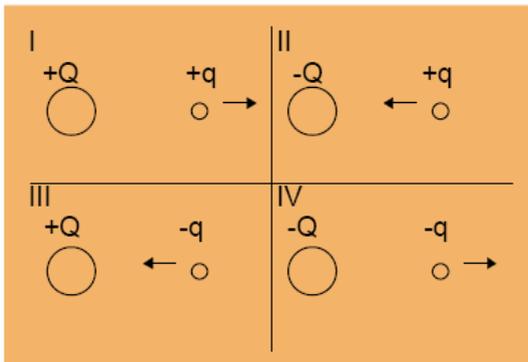
(2) O trabalho realizado pela força elétrica para deslocar uma carga em uma trajetória qualquer depende exclusivamente da carga elétrica e da diferença de potencial entre os pontos, não interessando qual foi o caminho seguido entre estes pontos.



(3) O trabalho realizado pela força elétrica para deslocar uma carga ao longo de uma superfície equipotencial é nulo, uma vez que não há diferença de potencial entre os pontos de saída e de chegada.

### MOVIMENTO DE CARGAS ELÉTRICAS EM UM CAMPO ELÉTRICO

Na próxima figura, as cargas  $Q$  estão fixas e as cargas  $q$  podem mover-se em função da força aplicada pelo campo elétrico.



Vamos estudar as quatro situações possíveis em relação aos sinais de  $Q$  e  $q$  para que possamos tirar uma conclusão geral a respeito do movimento de cargas em um potencial elétrico qualquer. Nos itens I e II, a carga de prova é positiva e se movimenta, espontaneamente, no sentido dos menores potenciais elétricos.

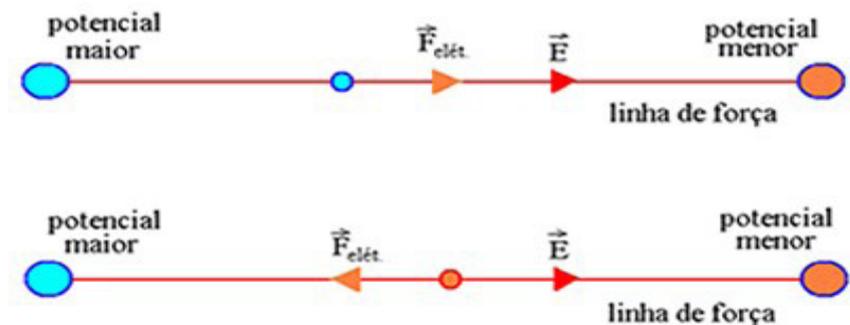
Em I, se afasta da carga  $Q$  positiva e em II, se aproxima de  $Q$  negativa. Nos itens III e IV, a carga de prova é negativa e, espontaneamente, migra para pontos de maior potencial. Em III se aproxima de  $Q$  positiva e em IV, se afasta de  $Q$  negativa. Portanto, naturalmente as cargas positivas "procuram" pontos de menor potencial, enquanto que cargas negativas migram para pontos de maior potencial.

Essa noção é muito útil na Eletrodinâmica, onde temos que estudar a corrente elétrica, que é um fluxo ordenado de cargas elétricas motivado por uma diferença de potencial elétrico aplicado a um condutor qualquer.

### Observação:

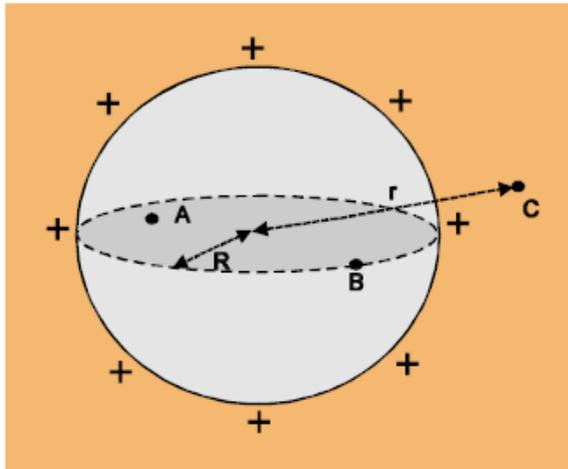
(1) cargas elétricas positivas, abandonadas em um campo elétrico e sujeitas apenas à força elétrica, deslocam-se espontaneamente para pontos de menor potencial elétrico.

(2) cargas elétricas negativas, abandonadas em um campo elétrico e sujeitas apenas à força elétrica, deslocam-se espontaneamente para pontos de maior potencial elétrico.



## POTENCIAL ELÉTRICO DE UMA ESFERA CONDUTORA E ELETRIZADA

Uma esfera condutora e eletrizada com uma carga  $Q$ , quando está em equilíbrio eletrostático, não admite movimento de cargas elétricas em seu interior, uma vez que o campo elétrico é nulo dentro dela. Por causa disso, podemos concluir que o potencial elétrico de qualquer ponto interno da esfera e da sua superfície é constante, uma vez que se houvesse uma diferença de potencial entre estes pontos, certamente haveria um fluxo ordenado de cargas elétricas. Para calcularmos o potencial elétrico dos pontos externos à esfera, vamos imaginar que toda a sua carga está concentrada no seu centro. Veja a figura a seguir:



A figura mostra uma esfera de raio  $R$  que possui uma carga positiva e três pontos  $A$ ,  $B$  e  $C$ . O ponto  $A$  está dentro,  $B$  está na superfície e  $C$  está fora da esfera a uma distância  $r$  do seu centro. Os potenciais elétricos de  $A$  e  $B$  são iguais e valem:

$$V_A = V_B = k \cdot \frac{Q}{R}$$

**(Potencial interno ou na superfície)**

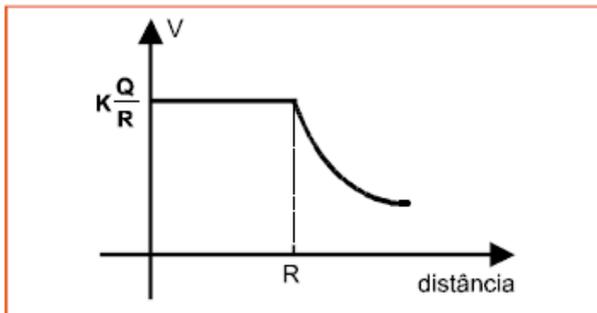
Para o cálculo do potencial elétrico no ponto  $C$ , devemos considerar que toda a carga da esfera está concentrada em seu centro. Assim,

teremos:

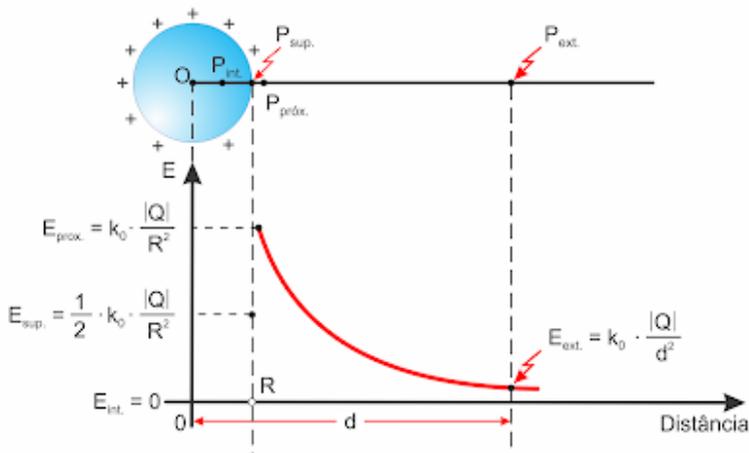
$$V_C = k \cdot \frac{Q}{r}$$

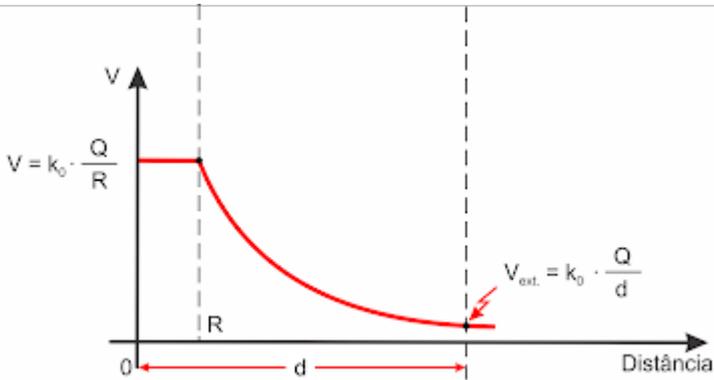
(Potencial externo)

O gráfico que mostra a variação do potencial elétrico em função da distância do ponto ao centro da esfera é o seguinte:



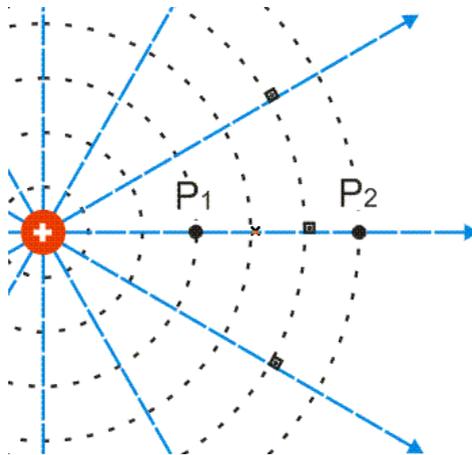
**ATENÇÃO:** Relação dos gráficos Exd, Vxd.





### DIFERENÇA DE POTENCIAL ENTRE DOIS PONTOS

Considere dois pontos de um campo elétrico, A e B, cada um com um posto a uma distância diferente da carga geradora, ou seja, com potenciais diferentes. Se quisermos saber a diferença de potenciais entre os dois devemos considerar a distância entre cada um deles.



Então teremos que sua tensão ou d.d.p (diferença de potencial) será expressa por  $U$  e calculada por:

$$U = E \cdot d$$

**EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM**

1. (UNICAMP) Considere as seguintes afirmações a respeito de uma esfera homogênea carregada em equilíbrio eletrostático:

- I. As cargas elétricas se distribuem pela superfície da esfera, independentemente de seu sinal.
- II. Na superfície dessa esfera o campo elétrico é nulo.
- III. Na superfície dessa esfera o campo elétrico é normal à superfície e no seu interior ele é nulo.
- IV. A diferença de potencial elétrico entre dois pontos quaisquer da sua superfície é nula.

A respeito dessas afirmações, pode-se dizer que:

- a) Todas estão corretas
- b) Apenas I está correta
- c) I, III e IV estão corretas
- d) II, III e IV estão corretas

2. (FGV) No interior das *válvulas* que comandavam os tubos dos antigos televisores, os elétrons eram acelerados por um campo elétrico. Suponha que um desses campos, uniforme e de intensidade  $4,0 \times 10^2$  N/C, acelerasse um elétron durante um percurso de  $5,0 \times 10^{-4}$  m. Sabendo que o módulo da carga elétrica do elétron é  $1,6 \times 10^{-19}$  C, a energia adquirida pelo elétron nesse deslocamento era de

- a)  $2,0 \times 10^{-25}$  J.
- b)  $3,2 \times 10^{-20}$  J.
- c)  $8,0 \times 10^{-19}$  J.
- d)  $1,6 \times 10^{-17}$  J.
- e)  $1,3 \times 10^{-13}$  J.

**TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:**

Na(s) questão(ões) a seguir, quando necessário, use:

- Aceleração da gravidade:  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ;
- $\text{sen } 19^\circ = \text{cos } 71^\circ = 0,3$ ;
- $\text{sen } 71^\circ = \text{cos } 19^\circ = 0,9$ ;
- Velocidade da luz no vácuo:  $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ;
- Constante de Planck:  $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ;
- $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ;
- Potencial elétrico no infinito: zero.

### 3. (UNIPE) RAIOS CAUSAM 130 MORTES POR ANO NO BRASIL; SAIBA COMO PREVENIR

Começou a temporada de raios e o Brasil é o lugar onde eles mais caem no mundo.

Os raios são fenômenos da natureza impressionantes, mas causam mortes e prejuízos. Todos os anos morrem em média 130 pessoas no país atingidas por essas descargas elétricas. (...)

(...) Segundo as pesquisas feitas pelo grupo de eletricidade atmosférica do INPE, o número de mortes por raios é maior do que por deslizamentos e enchentes. E é na primavera e no verão, época com mais tempestades, que a preocupação aumenta (...)  
Disponível em: [ww1.g1.globo.com/bom-dia-brasil](http://ww1.g1.globo.com/bom-dia-brasil). Acesso em: 16 fev. 2017.

Como se pode verificar na notícia acima, os raios causam mortes e, além disso, constantemente há outros prejuízos ligados a eles: destruição de linhas de transmissão de energia e telefonia, incêndios florestais, dentre outros.

As nuvens se eletrizam devido às partículas de gelo que começam

a descer muito rapidamente, criando correntes de ar bastante bruscas, o que provoca fricção entre gotas de água e de gelo, responsável pela formação e, conseqüentemente, a acumulação de eletricidade estática. Quando se acumula carga elétrica negativa demasiadamente na zona inferior da nuvem (este é o caso mais comum) ocorre uma descarga elétrica em direção ao solo (que por indução eletrostática adquiriu cargas positivas).

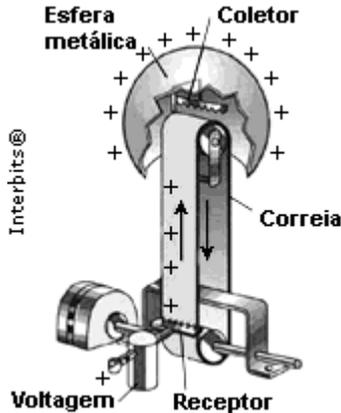
Considere que a base de uma nuvem de tempestade, eletricamente carregada com carga de módulo igual a  $2,0 \cdot 10^2 \text{ C}$  situa-se a 500 m acima do solo. O ar mantém-se isolante até que o campo elétrico entre a base da nuvem e o solo atinja o valor de  $5,0 \cdot 10^6 \text{ V/m}$ .

Nesse instante a nuvem se descarrega por meio de um raio que dura 0,10 s. Considerando que o campo elétrico na região onde ocorreu o raio seja uniforme, a energia liberada neste raio é, em joules, igual a

- a)  $5,00 \cdot 10^8$
- b)  $4,00 \cdot 10^{10}$
- c)  $2,50 \cdot 10^{11}$
- d)  $1,50 \cdot 10^{15}$

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. (Uesc) A figura representa o esquema de funcionamento de um gerador eletrostático.



Com base na figura e nos conhecimentos sobre as propriedades físicas oriundas de cargas elétricas em repouso, é correto afirmar:

- O campo elétrico entre a superfície interna e a externa da esfera metálica é uniforme e constante.
- As cargas positivas migram para a Terra quando um fio condutor conecta a esfera metálica à Terra.
- O potencial elétrico de um ponto da superfície externa da esfera metálica é maior do que o potencial elétrico no centro desta esfera.
- As cargas se acumulam na esfera, enquanto a intensidade do campo elétrico gerado por essas cargas é menor do que a rigidez dielétrica do ar.
- As duas pontas de uma lâmina de alumínio dobrado ao meio e fixa na parte interna da esfera metálica exercem entre si força de repulsão eletrostática.

2. (Uece) Seja o sistema composto por duas cargas elétricas mantidas fixas a uma distância  $d$  e cujas massas são desprezíveis. A energia potencial do sistema é:

- inversamente proporcional a  $1/d^2$ .
- proporcional a  $d^2$ .

- c) proporcional a  $1/d$ .
- d) proporcional a  $d$ .

3. (UNIT) Considere a energia potencial elétrica armazenada em dois sistemas compostos por: (i) duas cargas elétricas de mesmo sinal; (ii) duas cargas de sinais opostos. A energia potencial no primeiro e no segundo sistema, respectivamente,

- a) aumenta com a distância crescente entre as cargas e diminui com a redução da separação.
- b) diminui com a distância decrescente entre as cargas e não depende da separação.
- c) aumenta com a distância crescente entre as cargas e não depende da separação.
- d) diminui com o aumento da distância entre as cargas e aumenta se a separação cresce.

4. (UESC) Os aparelhos de televisão que antecederam a tecnologia atual, de LED e LCD, utilizavam um tubo de raios catódicos para produção da imagem. De modo simplificado, esse dispositivo produz uma diferença de potencial da ordem de 25 kV entre pontos distantes de 50 cm um do outro. Essa diferença de potencial gera um campo elétrico que acelera elétrons até que estes se choquem com a frente do monitor, produzindo os pontos luminosos que compõem a imagem.

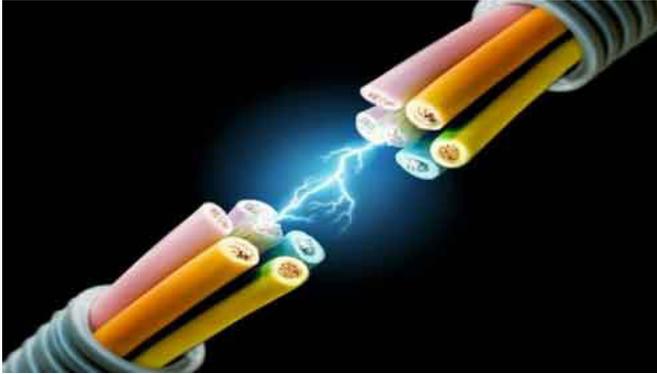
Com a simplificação acima, pode-se estimar corretamente que o campo elétrico por onde passa esse feixe de elétrons é

- a) 0,5 kV/m.
- b) 25kv.
- c) 50.000 V/m
- d) 1.250 kV . cm.

5. (Upe) Considere a Terra como uma esfera condutora, carregada uniformemente, cuja carga total é  $6,0 \mu\text{C}$ , e a distância entre o centro da Terra e um ponto P na superfície da Lua é de aproximadamente  $4 \times 10^8 \text{ m}$ . A constante eletrostática no vácuo é de aproximadamente  $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ . É CORRETO afirmar que a ordem de grandeza do potencial elétrico nesse ponto P, na superfície da Lua vale, em volts,

- a)  $10^{-2}$
- b)  $10^{-3}$
- c)  $10^{-4}$
- d)  $10^{-5}$
- e)  $10^{-12}$

## CAPÍTULO 5- CORRENTE ELÉTRICA



Já estudamos o comportamento estático de partículas carregadas eletricamente e o movimento dessas partículas em curtos intervalos de tempo, em que alguns corpos são carregados ou descarregados eletricamente. Sabemos como essas partículas se distribuem num condutor e o que as faz se deslocarem de um corpo ao outro. Mas ainda não vimos como elas podem se manter em movimento de forma duradoura, ou seja, como é possível estabelecer, num condutor, uma corrente elétrica. A expressão corrente elétrica está relacionada à antiga concepção de que a eletricidade seria um fluido e, como tal, poderia ser canalizada por condutores, encanamentos hipotéticos desse fluido elétrico. Assim como há água corrente, deveria haver também eletricidade corrente ou correntes elétricas. Na verdade, embora a analogia entre corrente elétrica e água corrente em encanamentos seja ainda hoje muito utilizada, esses fenômenos têm características muito diferentes:

(1) Na água encanada, o movimento é do líquido, e praticamente todo o líquido se desloca uniformemente. Na corrente elétrica, o movimento é dos portadores de carga, que, embora existam em quantidades fantásticas, são uma parcela ínfima de toda a matéria

de que é constituído o condutor.

(2) A velocidade média de qualquer ponto de um fluido em movimento dentro de um tubo depende da posição desse ponto em relação a uma seção normal do tubo, mas, em média, pode-se dizer que, com exceção de uma fina película que adere às paredes interiores do tubo, todo fluido se desloca pelo encanamento.

(3) Na corrente elétrica não há distinção entre fluido e encanamento – a ínfima parcela que se movimenta pertence à estrutura do próprio encanamento.

(4) A água sempre flui continuamente, o que nem sempre ocorre com a corrente elétrica, sobretudo a doméstica (a que essas analogias costumam se referir), que não flui, oscila. Os portadores de carga não se deslocam ao longo do fio, mas executam um movimento de vaivém em torno de posições fixas.

(5) A corrente elétrica se estabelece em um condutor quando nele existe um campo elétrico e tem como elemento básico o portador da carga elétrica sobre o qual esse campo atua.

Hoje sabemos que essa comparação raramente corresponde à realidade, principalmente em relação à corrente elétrica de nossas casas. Mas a expressão ficou. De qualquer forma, se um fio condutor percorrido por uma corrente elétrica, de fato um movimento de cargas percorrendo o condutor. Ocorre que esse movimento nem sempre contínuo: em geral, ele oscilante. Mas isso nós veremos mais tarde. Por enquanto vamos definir, matematicamente, a corrente elétrica. Suponha que uma certa quantidade de carga  $\Delta q$  atravessasse uma seção transversal de um condutor num intervalo de tempo  $\Delta \tau$ . Define-se a corrente elétrica  $i$  que percorre esse condutor pela expressão:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

A unidade de corrente elétrica, no SI, o ampère, cujo símbolo A. Um condutor percorrido por uma corrente elétrica de 1 A se uma seção transversal desse condutor atravessada por uma unidade de carga,  $\Delta q = 1C$ , na unidade de tempo  $\Delta t = 1s$ :

$$1A = \frac{1C}{1s}$$

A corrente elétrica, além de ser uma grandeza física usada com muita frequência, tem valores de ordem de grandeza muito variada. Por essa razão é muito comum o uso de submúltiplos do ampère, sendo os mais comuns o miliampère, (mA), e o microampère, ( $\mu A$ ).

Sendo alguns de seus múltiplos:

Nome	Símbolo	Valor em A
Ampère	A	1
Deciampère	dA	$10^{-1}$
Centiampère	cA	$10^{-2}$
Miliampère	mA	$10^{-3}$
Microampère	$\mu A$	$10^{-6}$
Nanoampère	nA	$10^{-9}$
Picoampère	pA	$10^{-12}$

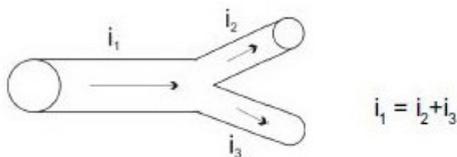
Como toda carga elétrica é múltipla da carga e do elétron, a expressão da quantidade de carga pode ser escrita como:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{n \cdot e}{\Delta t}$$

Onde n é um número inteiro e  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$  a carga elementar.

## CONTINUIDADE DA CORRENTE ELÉTRICA

Para condutores sem dissipação, a intensidade da corrente elétrica é sempre igual, independente de sua secção transversal, esta propriedade é chamada continuidade da corrente elétrica. Isto implica que se houver "opções de caminho" em um condutor, como por exemplo, uma bifurcação do fio, a corrente anterior a ela será igual à soma das correntes em cada parte desta bifurcação, ou seja:



## SENTIDO DE CORRENTE

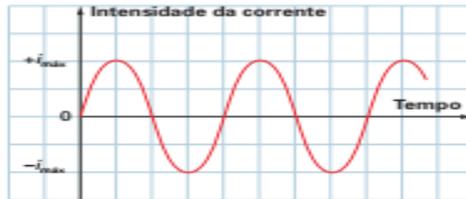
Antes de descobrir o elétron e sua carga, no final do século XIX, os físicos já tinham desenvolvido toda a teoria da eletricidade e estabelecido um sentido para a corrente elétrica. Como não se sabia qual a natureza da carga elétrica que percorria os condutores, admitiu-se que ela se constituísse de um fluxo de cargas positivas. Quando se descobriu que os portadores de carga eram, na grande maioria das vezes, elétrons (cargas negativas, portanto), ficou claro que o sentido real da corrente elétrica era contrário ao suposto na teoria. Mas, fisicamente, o movimento de uma carga elétrica positiva num determinado sentido equivale ao movimento de uma carga negativa no sentido oposto. Por essa razão, os físicos optaram por manter o sentido que haviam estabelecido anteriormente, passando a considerá-lo como convencional, na qual essa convenção é válida até hoje.

**ATENÇÃO:** Na corrente contínua, a intensidade  $i$  é constante, por isso é representada pela reta paralela ao eixo dos tempos. Na corrente alternada, a intensidade  $i$  varia

senoidalmente entre os valores  $+i_{\text{máx}}$  e  $-i_{\text{máx}}$ .



Corrente contínua



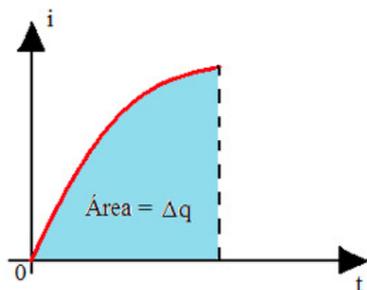
Corrente alternada

Apesar de nos referirmos a sentidos médios dos portadores de carga, pois, como já foi dito, não é possível definir o movimento individual de um portador de carga, do ponto de vista macroscópico, considerado o movimento conjunto de milhões e milhões de portadores, esses gráficos representam adequadamente a variação com o tempo da intensidade da corrente em cada caso. A diferença entre as correntes contínua e alternada decorre do modo como elas são geradas, o que será visto posteriormente. Provisoriamente, podemos dizer que a corrente contínua se origina da liberação constante e uniforme de elétrons em geradores químicos (pilhas ou baterias), enquanto a corrente alternada se origina de campos elétricos oscilantes gerados mecanicamente, por meio da rotação de bobinas ou ímãs.

## RELAÇÃO GRÁFICA

Como a grandeza correspondente ao produto  $i \times t$  é igual à quantidade de carga elétrica ( $\Delta q$ ), podemos afirmar que "a área sob a curva" ( $A$ ) em um gráfico  $i \times t$  é a quantidade de carga que

atravessa uma seção normal desse condutor no intervalo de tempo considerado:



$$\text{Área} = \Delta q$$

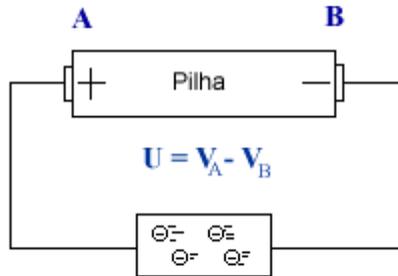
## POTENCIAL ELÉTRICO E DIFERENÇA DE POTENCIAL OU TENSÃO (DDP)

Para se estabelecer uma corrente elétrica num condutor metálico, isto é, para que os portadores de carga elétrica se movimentem numa direção preferencial, por exemplo, ao longo do condutor, é necessário que uma força elétrica realize trabalho sobre os portadores de carga elétrica. Para que isso aconteça, os extremos do condutor devem ser mantidos em potenciais elétricos diferentes. Isso se consegue através de uma fonte elétrica – gerador – que tem por função manter uma diferença de potencial elétrico entre os extremos do condutor, produzindo o movimento orientado dos portadores de carga.

## POTENCIAL ELÉTRICO

Nas condições descritas acima, ou seja, quando os portadores de carga elétrica se movem ao longo do condutor constituindo uma corrente elétrica, podemos associar a cada ponto da trajetória descrita pelos portadores de carga elétrica uma grandeza escalar

chamada de potencial elétrico (V), que representa a energia potencial elétrica por unidade de carga elétrica:



$$V_A = \frac{E_{PA}}{q_0}; V_B = \frac{E_{PB}}{q_0}$$

- V é o potencial elétrico do ponto;
- $E_p$  é a energia potencial elétrica de  $q_0$  no ponto;
- $q_0$  é a quantidade de carga elétrica do portador de carga colocado no ponto em questão.

**No Sistema Internacional de Unidades (SI), temos: V**

$$= \frac{\text{Joule}}{\text{Coulomb}} = \text{VOLT}$$

**DIFERENÇA DE POTENCIAL (DDP)**

A partir do exposto, podemos definir diferença de potencial elétrico (ddp) ou tensão elétrica entre dois pontos como sendo a diferença entre os potenciais elétricos desses pontos. Sendo  $U_{AB}$  a diferença de potencial entre os pontos A e B, de potenciais  $V_A$  e  $V_B$ , respectivamente, temos:

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

**ATENÇÃO:**

(1) Para que os portadores de carga se movimentem ordenadamente, é necessário que eles estejam sujeitos a uma diferença de potencial;

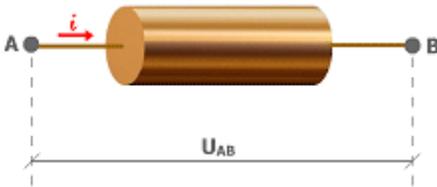
(2) O sentido da corrente elétrica convencional é do potencial elétrico maior para o potencial elétrico menor. Os elétrons se movimentam espontaneamente, do menor para o maior potencial. Ou seja, no sentido contrário ao adotado para a corrente elétrica.

(3) Para o cálculo do potencial elétrico, há necessidade de se adotar um referencial. É comum adotar a Terra como referencial. Assim, o potencial elétrico da Terra é adotado como zero.

**POTÊNCIA ELÉTRICA**

Um bom número de dispositivos elétricos, tais como lâmpada, pilha, bateria, chuveiro, entre outros, são constituídos por dois polos e, devido a esse fato, são denominados bipolos elétricos. Alguns bipolos elétricos, como a pilha, mantêm, durante certo tempo, uma diferença de potencial ( $ddp$ ) entre seus extremos (polos). Nesses casos, o dispositivo traz a identificação de cada polo: positivo ou negativo. Outros bipolos elétricos, como a lâmpada, somente adquirem polaridade (+) e (-) quando convenientemente ligadas a um outro bipolo que possua uma  $ddp$  em seus extremos.

Consideremos, então, um bipolo elétrico em cujos terminais existe uma diferença de potencial  $U$  e, através do qual, circula uma corrente elétrica de intensidade  $i$ , conforme figura.



Esquema de um bipolo

Como os pontos A e B possuem potenciais diferentes, então, uma quantidade de carga elétrica ( $\Delta Q$ ), ao passar de A para B, sofre uma variação de energia ( $\Delta E$ ), no intervalo de tempo  $\Delta t$ . Desse modo, dizemos que a potência elétrica ( $P$ ), desenvolvida no bipolo, é dada pela razão entre a variação de energia ( $\Delta E$ ) e o correspondente intervalo de tempo ( $\Delta t$ ), ou seja:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

Pela definição de diferença de potencial:

$$U = \frac{\Delta E}{\Delta Q} \rightarrow \Delta E = U \cdot \Delta Q$$

Com isso:

$$P = \frac{U \cdot \Delta Q}{\Delta t}$$

Ou seja:

$$P = U \cdot i$$

## ENERGIA ELÉTRICA



As pessoas dependem cada vez mais da energia elétrica, graças à enorme quantidade de dispositivos eletroeletrônicos agregados e que transformam, com relativa facilidade, a energia elétrica em outras modalidades de energia, tais como:

- mecânica ⇒ funcionamento de máquinas e modernos carros elétricos;

- térmica ⇒ fundição de metais em metalúrgicas e aquecimento de água;
- luminosa ⇒ cirurgias a laser e iluminação residencial;
- sonora ⇒ exploração de oceanos com o sonar e reprodução de CD's;
- química ⇒ reações químicas e armazenamento de energia.

É norma que os dispositivos eletroeletrônicos colocados à venda no mercado tragam as especificações sobre as condições de uso.

Geralmente, essas condições referem-se à ddp (diferença de potencial) na qual o aparelho deve ser ligado e a potência, ou seja, a quantidade de energia elétrica por unidade de tempo consumida pelo aparelho. Assim, para que a potência de um aparelho seja a indicada, ele deve ser ligado a uma ddp exatamente igual à indicada nas condições de uso. Se ele for ligado a uma ddp menor, o aparelho funcionará com uma potência abaixo da especificação; se ele for ligado a uma ddp maior, o aparelho pode queimar. Como a energia elétrica pode ser entendida como a capacidade de uma corrente elétrica realizar trabalho e, de acordo com a definição

de potência (energia por unidade de tempo), podemos determinar, para um bipolo, a energia transformada em determinado intervalo de tempo, por meio da relação:

$$E = P \cdot \Delta t$$

**ATENÇÃO:** Em nossas residências e na indústria e comércio de modo geral, a quantidade de energia elétrica utilizada mensalmente, quando expressa em joule, pode assumir valores astronômicos. Em virtude disso, as companhias elétricas utilizam uma unidade mais prática para medir o consumo de energia elétrica: o quilowatt-hora (kWh). Assim, a potência dos aparelhos é indicada em quilowatt (1 kW = 1.000 W) e o intervalo de tempo em horas (1 h = 3.600 s). Podemos relacionar o kWh e o joule por meio da seguinte expressão:

$$1\text{KWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

### EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

1. (Ebmsp 2018) No corpo humano, as atividades biológicas são estimuladas ou controladas por impulsos elétricos. Quando ocorre o contato do organismo com uma corrente elétrica, proveniente do meio externo, pode haver danos que vão desde uma dormência na superfície da pele até a perda dos sentidos ou morte. A corrente elétrica quando percorre toda extensão do corpo humano possui intensidade determinada por dois fatores: a diferença de potencial existente entre dois pontos específicos e a resistência elétrica do corpo.

Disponível em: <<http://www.portaleletricista.com.br/riscos-do-choque-eletrico-e-seus-efeitos-no-corpo-humano/>>. Acesso em: ago. 2017.

Considerando-se os efeitos fisiológicos da corrente elétrica no corpo humano, com base nos conhecimentos sobre a eletricidade, pode-se afirmar:

- a) O trajeto da corrente elétrica no corpo humano depende, exclusivamente, da quantidade do tecido adiposo presente no

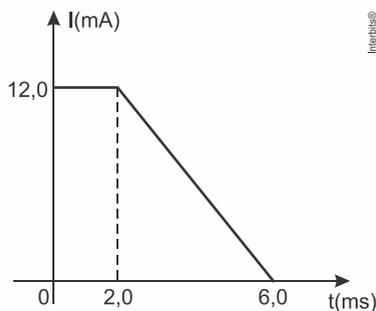
organismo, quaisquer que sejam os dois pontos de contato do indivíduo com o circuito energizado.

- b) A resistência elétrica do corpo humano depende, entre outros fatores, da distância entre dois pontos do corpo submetidos a uma ddp, das características físicas e condições da pele de cada indivíduo e do meio ambiente.
- c) Um indivíduo, com os pés descalços sobre a terra, ao tocar em apenas um dos polos de uma tomada de tensão senoidal, como a de uma residência, não levará choque porque o circuito ficará em aberto.

APARELHO	Quantidade de energia gasta (kWh)
AR CONDICIONADO	1,20
CHUVEIRO	4,00
FERRO DE PASSAR ROUPA	0,80
FORNO DE MICROONDAS	1,20
FREEZER	0,50
LAVADORA DE ROUPA	0,80
TELEVISOR EM CORES 20"	0,25

- d) A resistência elétrica do corpo humano varia em proporção inversa à distância entre dois pontos do corpo humano submetidos a uma ddp constante.
- e) A condutância da pele humana é inversamente proporcional à área de contato com a fonte de tensão, porque a pele humana tem a mesma função de um capacitor com dielétrico.

2. (Uefs 2017) A figura representa a intensidade da corrente elétrica  $i$ , que percorre um fio condutor, em função do tempo  $t$ .



Nessas condições, é correto afirmar que a corrente média circulando no condutor no intervalo de tempo entre  $t = 0$  e  $t = 6,0$  ms, em mA, é igual a

- a) 6,0      b) 7,0      c) 8,0      d) 9,0      e) 10,0

3. (Uece 2018) A Agência Nacional de Energia Elétrica anunciou bandeira vermelha 2 para as contas de luz de junho deste ano, o que significa um adicional de R\$ 5,00 para cada 100 kWh consumido. Considerando que uma certa indústria utilizou um resistor para aquecimento, cuja potência é 50 kW, por 4 horas durante esse mês, o adicional na conta associado a este consumo foi, em R\$,

- a) 10.    b) 200.    c) 50.    d) 4.

### EXERCÍCIOS PROPOSTOS

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

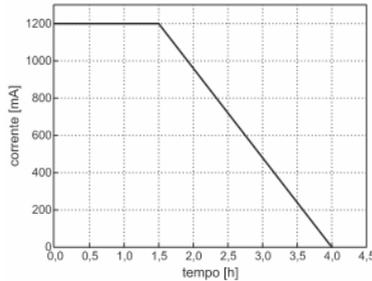
Texto para a(s) questão(ões) a seguir.

Drones vêm sendo utilizados por empresas americanas para monitorar o ambiente subaquático. Esses drones podem substituir mergulhadores, sendo capazes de realizar mergulhos de até cinquenta metros de profundidade e operar por até duas horas e meia.

1. (Unicamp 2019) Considere um drone que utiliza uma bateria com carga total  $q = 900$  mAh. Se o drone operar por um intervalo de tempo igual a  $\Delta t = 90$  min, a corrente média fornecida pela bateria nesse intervalo de tempo será igual a: **Dados:** Se necessário, use aceleração da gravidade  $g = 10$  m/s<sup>2</sup> aproxime  $\pi = 3,0$  e  $1 \text{ atm} = 10^5$  Pa.

- a) 10 mA.  
 b) 600 mA  
 c) 1.350 mA.  
 d) 81.000 mA.

2. (Unicamp 2017) Tecnologias móveis como celulares e tablets têm tempo de autonomia limitado pela carga armazenada em suas baterias. O gráfico abaixo apresenta, de forma simplificada, a corrente de recarga de uma célula de bateria de íon de lítio, em função do tempo.



Considere uma célula de bateria inicialmente descarregada e que é carregada seguindo essa curva de corrente. A sua carga no final da recarga é de

- a) 3,3 C.
- b) 11.880 C.
- c) 1.200 C.
- d) 3.300 C.

3. (Fuvest 2017) Na bateria de um telefone celular e em seu carregador, estão registradas as seguintes especificações:

BATERIA
1650 mAh
3,7 V
6,1 Wh

CARREGADOR
Entrada AC: 100 - 240 V
50 - 60 Hz
0,2 A
Saída DC: 5 V; 1,3 A

Com a bateria sendo carregada em uma rede de 127V, a potência máxima que o carregador pode fornecer e a carga máxima que

pode ser armazenada na bateria são, respectivamente, próximas de

Note e adote:

- AC: corrente alternada;
- DC: corrente contínua.

- a) 25,4 W e 5.940 C.
- b) 25,4 W e 4.8 C.
- c) 6,5 W e 21.960 C.
- d) 6,5 W e 5.940 C.
- e) 6,1 W e 4,8 C.

4. (Fgv 2017) A usina hidrelétrica de Itaipu, empresa binacional, localizada na fronteira do Brasil com o Paraguai, tem uma potência instalada de 14.000 MW gerada por 20 unidades de 700 MW cada. Essa potência é distribuída por 12 linhas de transmissão que operam sob tensão de 500 kV cada. A energia produzida é levada até as cidades por cabos condutores de corrente elétrica, sustentados por altas torres que podem ser vistas quando se viaja pelas estradas.

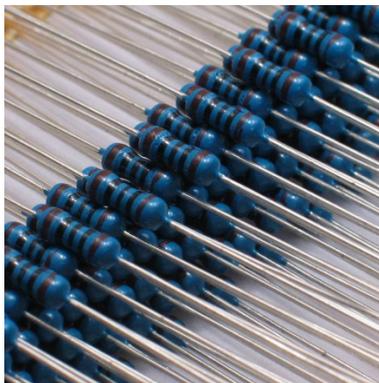
A intensidade da corrente elétrica através desses cabos é, em kA, mais próxima de

- a) 1,5.    b) 2,3.    c) 3,0    d) 3,2.    e) 3,5

5. (Unicamp 2015) Por sua baixa eficiência energética, as lâmpadas incandescentes deixarão de ser comercializadas para uso doméstico comum no Brasil. Nessas lâmpadas, apenas 5% da energia elétrica consumida é convertida em luz visível, sendo o restante transformado em calor. Considerando uma lâmpada incandescente que consome 60 W de potência elétrica, qual a energia perdida em forma de calor em uma hora de operação?

- a) 10.800 J.
- b) 34.200 J.
- c) 205.200 J
- d) 216.000 J.

## CAPÍTULO 6 - RESISTORES



Alguns dispositivos elétricos, como o ferro de passar roupa e o chuveiro, apresentam algo em comum: em ambos ocorre a transformação de energia elétrica exclusivamente em energia térmica. As lâmpadas incandescentes também fazem parte desse grupo, pois a incandescência luminosa é vista como um efeito secundário; de toda a energia elétrica recebida pela lâmpada, somente 5% é transformada em energia luminosa. Esses dispositivos são denominados receptores resistivos, ou simplesmente resistores.

### RESISTOR

Resistor é todo dispositivo elétrico que transforma exclusivamente energia elétrica em energia térmica. Na figura seguinte, temos a representação simbólica de um resistor, na qual R indica a resistência elétrica do resistor:



A resistência elétrica (R) é uma medida da oposição ao movimento dos portadores de carga, ou seja, a resistência elétrica representa a dificuldade que os portadores de carga encontram para se

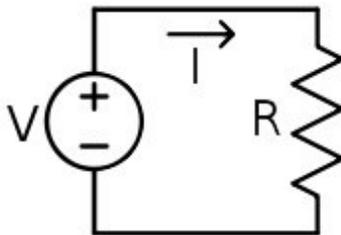
movimentarem através do condutor. Quanto maior a dificuldade dos portadores de carga para se movimentarem, maior a resistência elétrica do condutor.

Assim, podemos classificar:

**01. Condutor ideal** – Os portadores de carga existentes no condutor não encontram nenhuma oposição ao seu movimento. Dizemos que a resistência elétrica do condutor é nula, o que significa dizer que existe uma alta mobilidade de portadores de carga.

**02. Isolante ideal** – Os portadores de carga existentes estão praticamente fixos, sem nenhuma mobilidade. Dizemos, nesse caso, que a resistência elétrica é infinita. Consideremos um condutor submetido a uma diferença de potencial (ddp), no qual se estabelece uma corrente elétrica.

Consideremos um condutor submetido a uma diferença de potencial (ddp), no qual se estabelece uma corrente elétrica.

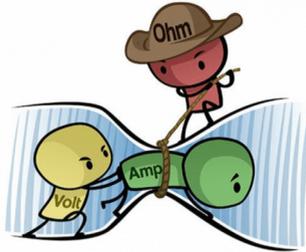


Sendo  $U$  a diferença de potencial (ddp) aplicada nos extremos do resistor e  $i$  a intensidade de corrente elétrica que o percorre, temos que a resistência elétrica  $R$  é dada por:

$$R = \frac{U}{i}$$

No Sistema Internacional de Unidades (SI), a ddp é dada em volt (V), a intensidade de corrente elétrica é dada em ampère e a resistência elétrica é dada em volt/ampère, que recebe o nome de ohm ( $\Omega$ ).

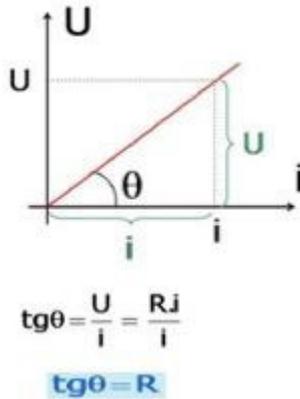
## PRIMEIRA LEI DE OHM



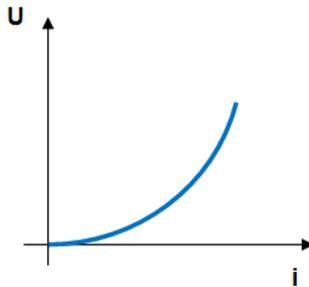
Com base em experimentos, Ohm verificou que, em determinados condutores, principalmente nos condutores metálicos, a razão entre a ddp aplicada e a intensidade de corrente elétrica era sempre a mesma, ou seja, a resistência elétrica do condutor permanecia constante quando se variava a ddp aplicada. Destarte, condutores que se comportam dessa forma são considerados condutores ôhmicos. Dizemos, então, que esses condutores obedecem à primeira lei de Ohm: a resistência elétrica é constante independentemente da ddp aplicada, ou seja,

$$R = \frac{U}{i} = \dots = \frac{U_n}{i_n} = \textit{constante}$$

Nos condutores ôhmicos, a intensidade de corrente elétrica é diretamente proporcional à ddp aplicada. Assim, a curva característica de um condutor ôhmico é uma reta inclinada em relação aos eixos U e i, passando pela origem (0; 0).



Por outro lado, os condutores, para os quais a relação  $U/i$  não é constante, são chamados de condutores não ôhmicos (ou não lineares). A relação entre a intensidade de corrente elétrica e a ddp não obedece a nenhuma relação específica, e sua representação gráfica pode ser qualquer tipo de curva, exceto uma reta.



**ATENÇÃO:** Lembrando que os resistores são bipolos elétricos e que a potência elétrica num bipolo é dada pelo produto da ddp ( $U$ ) pela intensidade de corrente elétrica ( $i$ ), temos que, nos resistores, a potência elétrica pode ser obtida pelas seguintes expressões:

$$P = U \cdot i = (R \cdot i) \cdot i = R \cdot i^2$$

Como também:

$$P = U \cdot i = U \cdot \left(\frac{U}{R}\right) = \frac{U^2}{R}$$

## SEGUNDA LEI DE OHM

A resistência elétrica de um resistor, seja ele ôhmico ou não, é uma característica do condutor: depende do material de que ele é feito, de sua forma, dimensões e também da temperatura a que está submetido o condutor. Para um condutor em forma de fios, verificamos, experimentalmente, que a sua resistência elétrica depende do comprimento do fio ( $L$ ), da área de sua seção transversal ( $A$ ) e do tipo de material que o constitui ( $\rho$ ).



Analisando, separadamente, cada uma dessas dependências, temos:

01. A resistência elétrica  $R$  é diretamente proporcional ao comprimento  $l$  do fio;
02. A resistência elétrica é inversamente proporcional à área da seção transversal do fio.

Com base nas análises acima, podemos escrever que:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

Em que  $\rho$  é o fator de proporcionalidade, uma grandeza característica do material com que é feito o condutor, denominada resistividade, que só depende da temperatura, e não depende da forma ou da dimensão do condutor.

### EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

1. (Uece 2017) Considere um fio condutor, fabricado com uma liga metálica que confere uma determinada resistência elétrica proporcional ao comprimento do fio e com pouca variação em função da temperatura ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ). configuração que produz a mesma resistência equivalente a uma peça de 2 m de fio é:

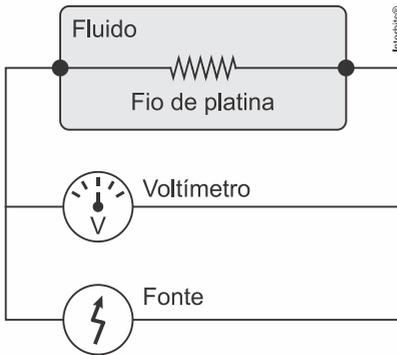
- a) 2 peças de 4 m ligadas em paralelo.
- b) 2 peças de 4 m ligadas em série.
- c) 4 peças de 2 m ligadas em paralelo.
- d) 4 peças de 2 m ligadas em série.

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Nas questões com respostas numéricas, considere o módulo da aceleração da gravidade como  $g = 10,0 \text{ m/s}^2$ , o módulo da carga do elétron como  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ , o módulo da velocidade da luz como  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$  e utilize  $\pi = 3$ .

2. (Upe 2017) A medida da condutividade térmica de um fluido pode ser realizada com a técnica do fio quente. Nessa técnica, um fio de platina é esticado e imerso num reservatório com fluido. As extremidades do fio são conectadas a uma fonte de tensão autoajustável, para manter uma corrente constante circulando

no circuito, e a um voltímetro em paralelo, conforme ilustra a figura a seguir. Quando a corrente passa pelo fio, a temperatura do fluido aumenta em razão do efeito joule. Sabendo-se que a resistência do fio aumenta linearmente com a temperatura, qual é a equação que descreve o comportamento da tensão,  $V$ , em função do tempo,  $t$ , medido quando o sistema está em equilíbrio térmico com o ambiente?



Considere que as dimensões do reservatório são muito maiores que as dimensões do fio.

- a)  $V = \delta + \beta t$ , com  $\delta$  e  $\beta$  constantes.
  - b)  $V = \delta + \beta t^2$ , com  $\delta$  e  $\beta$  constantes.
  - c)  $V = \delta$ , com  $\delta$  constante.
  - d)  $V = \delta + \beta t g(t)$ , com  $\beta$  constante.
- $V = \delta + \beta \text{sen}(t)$ , com  $\delta$  e  $\beta$  constantes.

3. (Unesp 2016) As companhias de energia elétrica nos cobram pela energia que consumimos. Essa energia é dada pela expressão  $E = V \cdot i \cdot \Delta t$ , em que  $V$  é a tensão que alimenta nossa residência,  $i$  a intensidade de corrente que circula por determinado aparelho,  $\Delta t$  é o tempo em que ele fica ligado e a expressão  $V \cdot i$  é a potência  $P$ , necessária para dado aparelho funcionar.

Assim, em um aparelho que suporta o dobro da tensão e consome a mesma potência  $P$ , a corrente necessária para seu funcionamento será a metade. Mas as perdas de energia que ocorrem por efeito joule (aquecimento em virtude da resistência  $R$ ) são medidas por  $\Delta E = R \cdot i^2 \cdot \Delta t$ .

Então, para um mesmo valor de  $R$  e  $\Delta t$  quando  $i$  diminui, essa perda também será reduzida.

Além disso, sendo menor a corrente, podemos utilizar condutores de menor área de secção transversal, o que implicará, ainda, economia de material usado na confecção dos condutores.

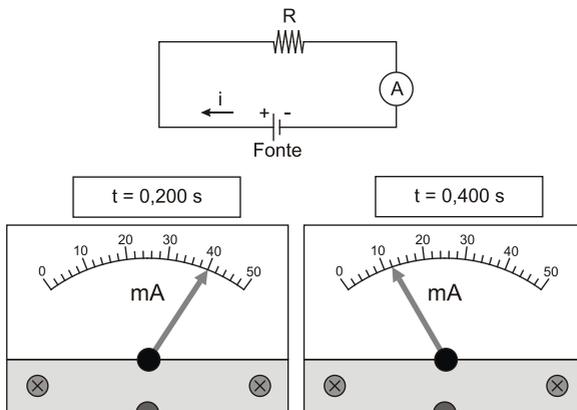
(Regina Pinto de Carvalho. *Física do dia a dia*, 2003. Adaptado.)

Baseando-se nas informações contidas no texto, é correto afirmar que:

- a) se a resistência elétrica de um condutor é constante, em um mesmo intervalo de tempo, as perdas por efeito joule em um condutor são inversamente proporcionais à corrente que o atravessa.
- b) é mais econômico usarmos em nossas residências correntes elétricas sob tensão de 110 V do que de 220 V.
- c) em um mesmo intervalo de tempo, a energia elétrica consumida por um aparelho elétrico varia inversamente com a potência desse aparelho.
- d) uma possível unidade de medida de energia elétrica é o kV . A (quilovolt - ampère), que pode, portanto, ser convertida para a unidade correspondente do Sistema Internacional, o joule.
- e) para um valor constante de tensão elétrica, a intensidade de corrente que atravessa um condutor será tanto maior quanto maior for a área de sua secção transversal.

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. (Unicamp 2015) Quando as fontes de tensão contínua que alimentam os aparelhos elétricos e eletrônicos são desligadas, elas levam normalmente certo tempo para atingir a tensão de  $U=0$  V. Um estudante interessado em estudar tal fenômeno usa um amperímetro e um relógio para acompanhar o decréscimo da corrente que circula pelo circuito a seguir em função do tempo, após a fonte ser desligada em  $t=0$  s. Usando os valores de corrente e tempo medidos pelo estudante, pode-se dizer que a diferença de potencial sobre o resistor  $R=0,5$  k $\Omega$  para  $t=400$  ms é igual a



- a) 6 V.
- b) 12 V.
- c) 20 V.
- d) 40 V.

2. (Unesp 2015) O poraquê é um peixe elétrico que vive nas águas amazônicas. Ele é capaz de produzir descargas elétricas elevadas pela ação de células musculares chamadas eletrócitos. Cada eletrócito pode gerar uma diferença de potencial de cerca de 0,14 V. Um poraquê adulto possui milhares dessas células dispostas em série que podem, por exemplo, ativar-se quando o peixe se encontra em perigo ou deseja atacar uma presa.



(www.aquariodesaopaulo.com.br. Adaptado.)

A corrente elétrica que atravessa o corpo de um ser humano pode causar diferentes danos biológicos, dependendo de sua intensidade e da região que ela atinge. A tabela indica alguns desses danos em função da intensidade da corrente elétrica.

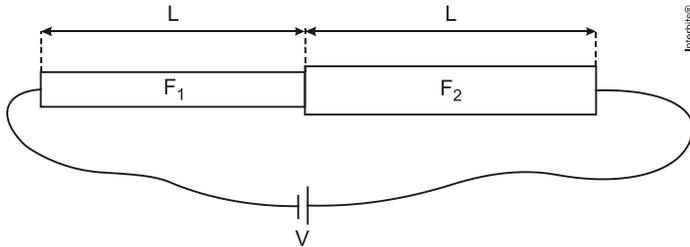
intensidade de corrente elétrica	dano biológico
Até 10 mA	apenas formigamento
De 10 mA até 20 mA	contrações musculares
De 20 mA até 100 mA	convulsões e parada respiratória
De 100 mA até 3 A	fibrilação ventricular
acima de 3 A	parada cardíaca e queimaduras graves

(José Enrique R. Duran. *Biofísica: fundamentos e aplicações*, 2003. Adaptado.)

Considere um poraquê que, com cerca de 8000 eletrócitos, produza uma descarga elétrica sobre o corpo de uma pessoa. Sabendo que a resistência elétrica da região atingida pela descarga é de  $6000 \Omega$  de acordo com a tabela, após o choque essa pessoa sofreria

- parada respiratória.
- apenas formigamento.
- contrações musculares.
- fibrilação ventricular.
- parada cardíaca.

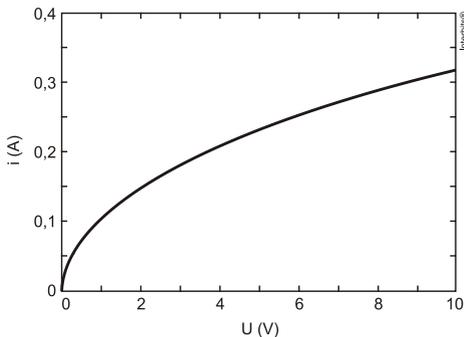
3. (Fuvest 2014) Dois fios metálicos,  $F_1$  e  $F_2$ , cilíndricos, do mesmo material de resistividade  $\rho$ , de seções transversais de áreas, respectivamente,  $A_1$  e  $A_2 = 2A_1$ , têm comprimento  $L$  e são emendados, como ilustra a figura abaixo. O sistema formado pelos fios é conectado a uma bateria de tensão  $V$ .



Nessas condições, a diferença de potencial  $V_1$ , entre as extremidades de  $F_1$ , e  $V_2$ , entre as de  $F_2$ , são tais que

- a)  $V_1 = V_2/4$
- b)  $V_1 = V_2/2$
- c)  $V_1 = V_2$
- d)  $V_1 = 2V_2$
- e)  $V_1 = 4V_2$

4. (Fuvest 2011) O filamento de uma lâmpada incandescente, submetido a uma tensão  $U$ , é percorrido por uma corrente de intensidade  $i$ . O gráfico abaixo mostra a relação entre  $i$  e  $U$ .



As seguintes afirmações se referem a essa lâmpada.

- I. A resistência do filamento é a mesma para qualquer valor da tensão aplicada.
- II. A resistência do filamento diminui com o aumento da corrente.
- III. A potência dissipada no filamento aumenta com o aumento da tensão aplicada.

Dentre essas afirmações, somente

- a) I está correta.
- b) II está correta.
- c) III está correta.
- d) I e III estão corretas.
- e) II e III estão corretas.

5. (Unesp 2009) Os valores nominais de uma lâmpada incandescente, usada em uma lanterna, são: 6,0 V; 20 mA. Isso significa que a resistência elétrica do seu filamento é de

- a) 150  $\Omega$ , sempre, com a lâmpada acesa ou apagada.
- b) 300  $\Omega$ , sempre, com a lâmpada acesa ou apagada.
- c) 300  $\Omega$ , com a lâmpada acesa e tem um valor bem maior quando apagada.
- d) 300  $\Omega$ , com a lâmpada acesa e tem um valor bem menor quando apagada.
- e) 600  $\Omega$ , com a lâmpada acesa e tem um valor bem maior quando apagada.

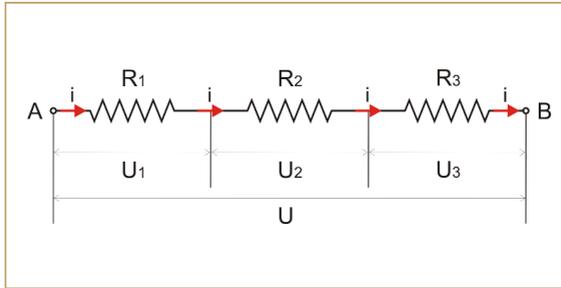
## CAPÍTULO 7 - ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES



Em trabalhos práticos, é frequente necessarmos de um resistor cujo valor de resistência elétrica não dispomos no momento, ou que não seja fabricado pelas firmas especializadas. Nesses casos, a solução do problema é obtida através da associação de outros resistores com o objetivo de se obter o resistor desejado. Podemos associar resistores das mais variadas formas; porém, daremos destaque especial para as associações em série, em paralelo e mista.

### **ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM SÉRIE**

Um conjunto de resistores é dito associado em série quando todos são percorridos pela mesma corrente elétrica. Para que tenhamos uma associação em série, é necessário que os resistores sejam ligados um em seguida ao outro, ou seja, não pode haver nó entre os resistores. A figura abaixo ilustra uma associação em série de  $n$  resistores.



Para determinarmos o resistor equivalente da associação em série de  $n$  resistores, devemos lembrar que a corrente elétrica é a mesma, tanto para o resistor equivalente quanto para os resistores associados, e que a ddp no resistor equivalente é a soma das ddps em cada resistor associado.

Sendo:  $U_{AB} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$  e sendo  $U = R \cdot i$

Temos:  $R_E \cdot i = R_1 \cdot i + R_2 \cdot i + \dots + R_n \cdot i$

Então:

$$R_E = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

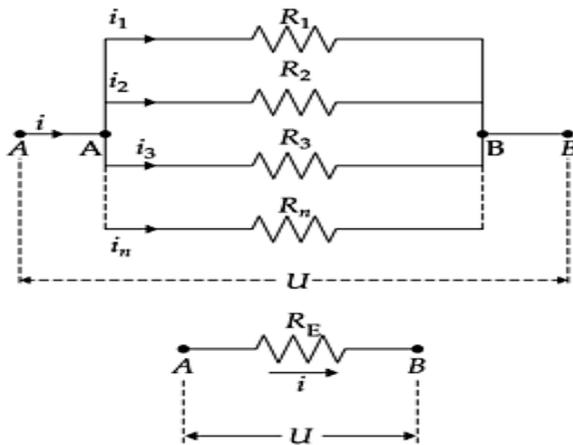
O resistor equivalente de associação em série possui uma resistência elétrica igual à soma das resistências elétricas dos resistores associados e, conseqüentemente, esse valor é maior que o maior dos resistores que compõem a associação. Portanto, uma associação em série de resistores apresenta as seguintes propriedades:

01. A corrente elétrica é a mesma em todos os resistores.
02. A ddp nos extremos da associação é igual à soma das ddps em cada resistor.
03. A resistência equivalente é igual à soma das resistências dos resistores associados.

- o4. O resistor associado que apresentar a maior resistência elétrica estará sujeito à maior ddp.
- o5. A potência dissipada é maior no resistor de maior resistência elétrica.
- o6. A potência total consumida é a soma das potências consumidas em cada resistor.

### ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES EM PARALELO

Um conjunto de resistores quaisquer é dito associado em paralelo quando cada resistor tiver os seus terminais ligados em dois nós distintos, por exemplo, um em A e outro B, conforme a figura abaixo.



Isso implica que todos os resistores estão submetidos à mesma diferença de potencial e que a corrente elétrica total é a soma da corrente que percorre cada resistor.

Para determinarmos o valor da resistência equivalente, devemos usar a definição:

$$i_T = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n$$

Temos:

$$i = \frac{U}{R}$$

Com isso:

$$\frac{U}{R_E} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} + \dots + \frac{U}{R_n}$$

Então:

$$\frac{1}{R_E} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

### ATENÇÃO:

(1) No caso dos  $n$  resistores apresentarem a mesma resistência, ou seja,  $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R$ , o resistor equivalente terá uma resistência dada por:

$$R_E = \frac{R}{n}$$

(2) Se a associação é composta de apenas dois resistores,  $R_1$  e  $R_2$ , o resistor equivalente é dado por:

$$R_E = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Portanto, uma associação em paralelo apresenta as seguintes propriedades:

01. a ddp é a mesma para todos os resistores;
02. a corrente elétrica total da associação é a soma das correntes elétricas em cada resistor;
03. o inverso da resistência equivalente é igual à soma dos inversos das resistências associadas;

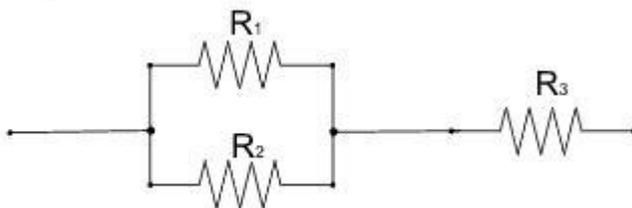
04. a corrente elétrica é inversamente proporcional à resistência elétrica, ou seja, na maior resistência passa a menor corrente elétrica;

05. a potência elétrica é inversamente proporcional à resistência elétrica, portanto, no maior resistor temos a menor dissipação de energia;

06. a potência total consumida é a soma das potências consumidas em cada resistor.

### ASSOCIAÇÃO MISTA

Denominamos associação mista de resistores toda associação que pode ser reduzida à associação em série e em paralelo.



Para calcularmos o resistor equivalente a uma associação mista, devemos resolver as associações singulares (série ou paralelo) que estão evidentes e, a seguir, simplificar o circuito até obter um único resistor.

### EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

1. (Uece 2019) Dois resistores idênticos são ligados em paralelo a uma mesma bateria. Considere duas massas de água  $m_1$  e  $m_2$  com  $m_1 = 2m_2$  e temperaturas iniciais iguais. Se cada resistor é mergulhado em uma das massas de água, é correto afirmar que a quantidade de calor  $Q_1$  passada para a massa  $m_1$  e  $Q_2$  para  $m_2$ , são tais que

a)  $Q_1 = 2Q_2$

b)  $Q_1 = Q_2/2$

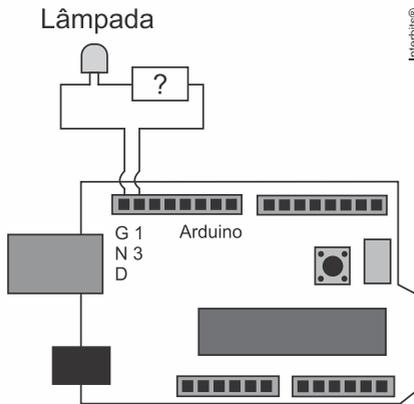
c)  $Q_1 = 4Q_2$

d)  $Q_1 = Q_2$

2. (Upe-ssa 3 2018) Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto, baseada em hardware e software, fáceis de usar. Você pode informar o que deseja fazer, enviando um conjunto de instruções para o microcontrolador na placa. (...) Ao longo dos anos, tem sido o cérebro de milhares de projetos desde objetos comuns até instrumentos científicos complexos, que envolvem automação, medição e controle.

Fonte: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>, acessado e adaptado em: 16 de julho de 2017.

A figura a seguir representa a montagem de um circuito *Arduino*, que faz uma pequena lâmpada acender. O circuito consiste em uma fonte de tensão contínua, configurada para fornecer 3,0 V entre as portas 13 e GND do *Arduino*, uma lâmpada em série com uma configuração de resistores desconhecida. Sabendo que a lâmpada precisa de uma tensão de 2,0 V e de uma corrente de 0,02 A entre seus terminais, qual deverá ser a configuração de resistências utilizada para acender a lâmpada?



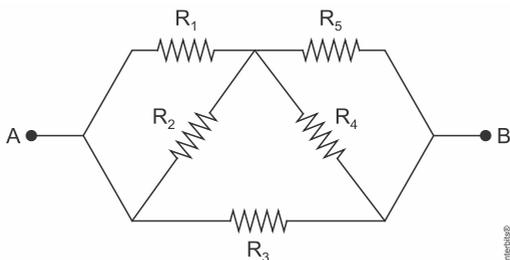
- a) Um resistor de 20  $\Omega$ .
- b) Dois resistores de 25  $\Omega$  em série.
- c) Dois resistores de 30  $\Omega$  em série.
- d) Três resistores de 10, 20 e 30  $\Omega$  em paralelo.
- e) Três resistores de 30  $\Omega$  em paralelo.

3. (Uece 2018) Considere um dispositivo elétrico formado por uma bateria com um dos terminais ligado a um dos terminais de um resistor. Caso esse dispositivo seja conectado em paralelo a um segundo resistor, pode-se afirmar corretamente que

- a corrente fornecida pela bateria é diferente nos resistores.
- a corrente nos dois resistores tem mesmo valor.
- a tensão nos dois resistores é sempre a mesma da bateria.
- a soma das tensões nos resistores é o dobro da tensão na bateria.

### EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. (Fuvest 2019) Considere o circuito mostrado na figura, onde todos os resistores têm resistência  $R = 200 \Omega$ . A diferença de potencial  $V_{AB}$ , entre os pontos A e B, é 120 V.

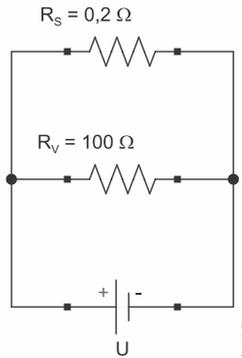


Determine

- a resistência  $R_{eq}$  equivalente deste circuito;
- a corrente total  $i$  no circuito e a corrente  $i_4$  no resistor  $R_4$ ;
- a potência total  $P$  dissipada no circuito e a potência  $P_3$  dissipada no resistor  $R_3$ .

2. (Unicamp 2018) Nos últimos anos, materiais exóticos conhecidos como isolantes topológicos se tornaram objeto de intensa investigação científica em todo o mundo. De forma simplificada, esses materiais se caracterizam por serem isolantes elétricos no seu interior, mas condutores na sua superfície. Desta forma, se um isolante topológico for submetido a uma diferença

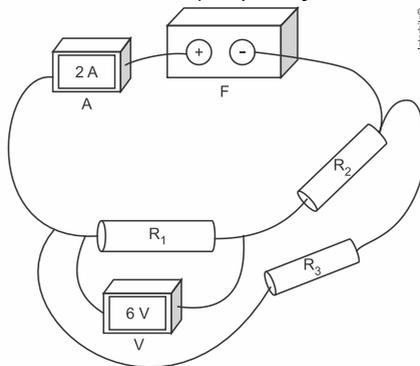
de potencial  $U$ , teremos uma resistência efetiva na superfície diferente da resistência do seu volume, como mostra o circuito equivalente da figura abaixo.



Nessa situação, a razão  $F = \frac{i_s}{i_v}$  entre a corrente  $i_s$  que atravessa a porção condutora na superfície e a corrente  $i_v$  que atravessa a porção isolante no interior do material vale

- a) 0,002.                      b) 0,2.                      c) 100,2.                      d) 500.

3. (Fuvest 2016) O arranjo experimental representado na figura é formado por uma fonte de tensão  $F$ , um amperímetro  $A$ , um voltímetro  $V$ , três resistores,  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ , de resistências iguais, e



fios de ligação. Quando o amperímetro mede uma corrente de 2 A, e o voltímetro,

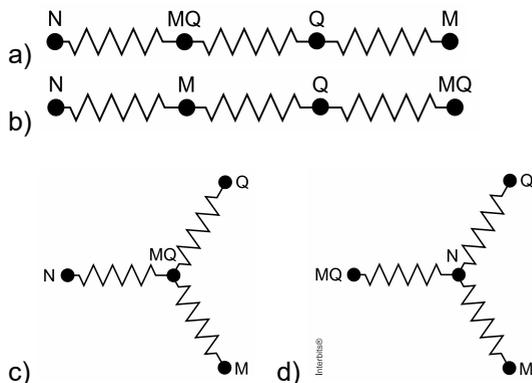
uma tensão de 6 V, a potência dissipada em  $R_2$  é igual a:

Note e adote:

- A resistência interna do voltímetro é muito maior que a dos resistores (voltímetro ideal).
- As resistências dos fios de ligação devem ser ignoradas.

- a) 4 W.
- b) 6 W.
- c) 12 W.
- d) 18 W.
- e) 24 W.

4. (Unicamp 2016) Muitos dispositivos de aquecimento usados em nosso cotidiano usam resistores elétricos como fonte de calor. Um exemplo é o chuveiro elétrico, em que é possível escolher entre diferentes opções de potência usadas no aquecimento da água, por exemplo, morno (M), quente (Q) e muito quente (MQ). Considere um chuveiro que usa a associação de três resistores, iguais entre si, para oferecer essas três opções de temperatura. A escolha é feita por uma chave que liga a rede elétrica entre o ponto indicado pela letra N e um outro ponto indicado por M, Q ou MQ, de acordo com a opção de temperatura desejada. O esquema que representa corretamente o circuito equivalente do chuveiro é





## CAPÍTULO 8 - CAPACITORES



Um capacitor, de maneira simplificada, pode ser entendido como um par de condutores (placas) separados por um material isolante (dielétrico). Quando uma diferença de potencial (tensão) é aplicada a esse par de condutores, um campo elétrico é gerado no dielétrico. Esse campo é capaz de armazenar energia, de onde vem o nome “condensador” para esse componente.



Na prática, o material dielétrico possui uma corrente de fuga e uma tensão máxima de isolamento. Essa corrente de fuga é uma das causas da perda de carga de um capacitor com o passar do tempo. Além disso, os terminais condutores possuem uma resistência elétrica, que também pode ocasionar perdas. Na prática quando o capacitor é submetido a um campo elétrico circula uma pequena corrente pelo dielétrico, conhecido como corrente de fuga. Esta corrente é geralmente muito pequena, que pode ser considerada

desprezível. No modelo, este efeito pode ser representado por um resistor de valor muito elevado (cerca de 10 MW) em paralelo com o capacitor. Os capacitores são amplamente utilizados em circuitos eletrônicos para bloquear a passagem de corrente contínua e permitir a passagem de corrente alternada, filtrar interferências, suavizar a saída de fontes de alimentação, sintonia de circuitos ressonantes, dentre outras aplicações.

### CAPACITÂNCIA ELÉTRICA

Um capacitor ideal é caracterizado por uma única constante chamada capacitância, a qual é medida em Farads (F) e pode ser definida como a razão entre a carga elétrica armazenada no capacitor e a diferença de potencial aplicada em suas placas:

$$q = C \cdot V$$

Onde:  $q$  representa o módulo da carga armazenada em uma das placas do capacitor e  $V$  é a diferença de potencial aplicada entre as placas.

**OBSERVAÇÃO:** 1 Farad é igual a 1 Coulomb por Volt.

A capacitância é uma quantidade escalar que expressa a capacidade que um material de armazenar energia elétrica na forma de carga e é definida pela relação:

$$C = \frac{q}{V}$$

Podemos calcular a capacitância:

- (1) supondo que uma carga  $q$  foi colocada nas placas;
- (2) calculando o campo elétrico  $E$  produzido por essa carga;
- (3) calculando a ddp  $V$  entre as placas e;
- (4) calculando o valor de  $C$  com a equação  $q = CV$ .

No final a equação que descreve a capacitância só depende das características físicas do capacitor.

- A capacitância de um capacitor de placas paralelas de área  $A$  separadas por uma distância  $d$  é dada por:

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d}$$

- A capacitância de um capacitor cilíndrico formado por dois cilindros longos coaxiais de comprimento  $L$  e raios  $a$  e  $b$  é dado por:

$$C = 2\pi\epsilon_0 \cdot \frac{L}{\ln\left|\frac{a}{b}\right|}$$

- A capacitância de um capacitor esférico formado por duas cascas esféricas concêntricas de raios  $a$  e  $b$ :

$$C = 4\pi\epsilon_0 \cdot \frac{a \cdot b}{b - a}$$

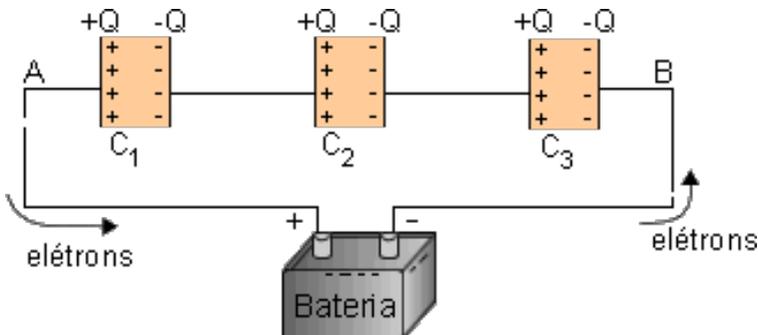
- Se tomarmos  $b \rightarrow \infty$  e  $a = R$  obtemos a capacitância de uma esfera:

$$C = 4\pi\epsilon_0 R$$

Os capacitores, assim como os resistores, podem ser associados em série, paralelo ou misto. Esses são elementos de circuito elétrico que tem como principal função o armazenamento de cargas elétricas. Essas associações têm como objetivo obter a capacitância desejada.

### Capacitores em Série

Nesse tipo de associação, os capacitores são ligados da seguinte forma: a armadura positiva de um capacitor é ligada com a armadura negativa do outro capacitor e assim sucessivamente.

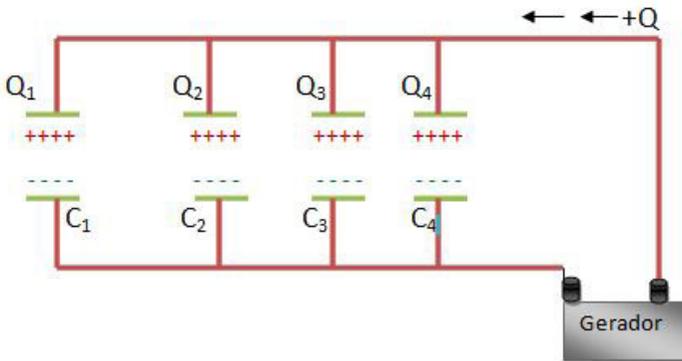


Para determinar a capacitância equivalente de uma associação de dois ou mais capacitores utilizamos a seguinte relação matemática:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

### Capacitores em Paralelo

Em paralelo, as placas positivas dos capacitores são ligadas entre si, bem como as negativas.

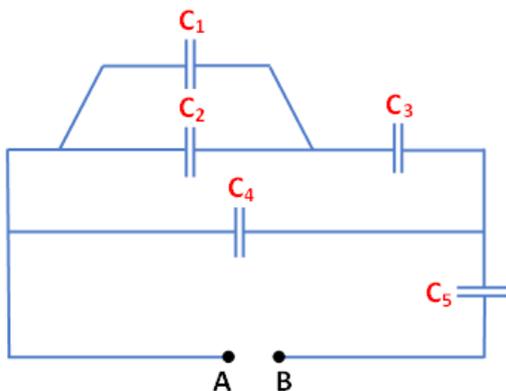


Para determinar a capacitância equivalente utiliza-se a seguinte equação matemática, veja:

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

### Associação de Capacitores Mista

Na associação de capacitores mista são encontrados capacitores ligados em série ou de forma paralela.

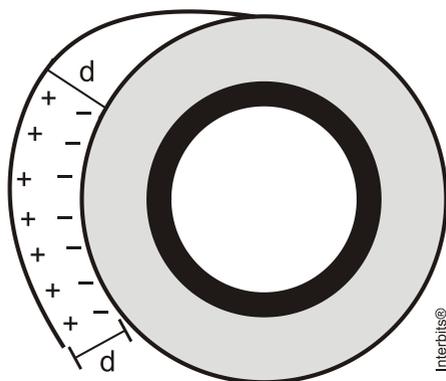


Por esse motivo, o cálculo da associação de capacitores mista deve ser feito em partes. Primeiro, calcula-se a capacitância da associação em paralelo. Após obter esse valor, calcula-se a capacitância da associação em série.

### EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Quando um rolo de fita adesiva é desenrolado, ocorre uma transferência de cargas negativas da fita para o rolo, conforme ilustrado na figura a seguir.



Quando o campo elétrico criado pela distribuição de cargas é maior que o campo elétrico de ruptura do meio, ocorre uma descarga elétrica. Foi demonstrado recentemente que essa descarga pode ser utilizada como uma fonte econômica de raios-X.

1. (Unicamp 2011) Para um pedaço da fita de área  $A = 5,0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  mantido a uma distância constante  $d = 2,0 \text{ mm}$  do rolo, a quantidade de cargas acumuladas é igual a  $Q = CV$ , sendo  $V$  a diferença de potencial entre a fita desenrolada e o rolo e  $C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$

em que  $\epsilon_0 \approx 9,0 \times 10^{-12} \frac{\text{C}}{\text{Vm}}$ .

Nesse caso, a diferença de potencial entre a fita e o rolo para  $Q = 4,5 \times 10^{-9} \text{ C}$  é de:

- a)  $1,2 \times 10^2 \text{ V}$ .
- b)  $5,0 \times 10^{-4} \text{ V}$ .
- c)  $2,0 \times 10^3 \text{ V}$ .
- d)  $1,0 \times 10^{-20} \text{ V}$ .

2. (Uece 2017) Um resistor de  $3 \Omega$  é ligado em série a um capacitor de  $4 \mu\text{F}$ , e a associação assim obtida é conectada aos terminais de uma bateria de  $12 \text{ V}$ . Após o capacitor estar completamente carregado, é correto afirmar que a diferença de potencial (em Volts) nos terminais do capacitor e do resistor é, respectivamente,

- a) 12 e 0.
- b) 48 e 4.
- c) 4 e 3.
- d) 3 e 4.

3. (Uece 2017) Considere dois capacitores com diferentes capacitâncias, ligados em paralelo e conectados a uma bateria. É correto afirmar que, após carregados,

- a) a tensão entre os terminais do de maior capacitância é menor.
- b) a tensão entre os terminais dos dois capacitores é a mesma.
- c) a corrente fornecida pela bateria é sempre maior que zero.
- d) a corrente fornecida pela bateria é sempre menor que zero.

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. (Uema 2016) Uma das aplicações dos capacitores é no circuito eletrônico de um flash de máquina fotográfica. O capacitor acumula carga elétrica por um determinado tempo (alguns segundos) e, quando o botão para tirar a foto é acionado, toda carga acumulada é “despejada” sobre a lâmpada do flash, daí o seu brilho intenso, porém de curta duração. Se nesse circuito houver um capacitor de dados nominais  $315\text{ V}$  e  $100\ \mu\text{ F}$  corresponderá a uma carga, em coulomb, máxima, acumulada de:

a)  $3,1500$ .    b)  $0,3175$ .    c)  $0,3150$ .    d)  $0,0315$ .    e)  $3,1750$ .

2. (Ebmba 2016) A era digital acabou por alterar hábitos da comunicação dentro da família. Se por um lado a internet rompe barreiras da comunicação e permite a interação com pessoas de partes distintas do país e do mundo, por outro ela quebra diálogos rotineiros. Filhos que antes sentavam à mesa com os pais, hoje preferem a internet e o “bate-papo” de amigos.

Disponível em: <<http://www.lagoinha.com/ibl-noticia/familias-do-seculo-xxi-nao-sao-mais-as-mesmas/>>. Acesso em: 6 out. 2015.

Sabe-se que as teclas de computadores utilizadas para digitar mensagens se comportam como os capacitores de placas planas e paralelas imersas no ar.

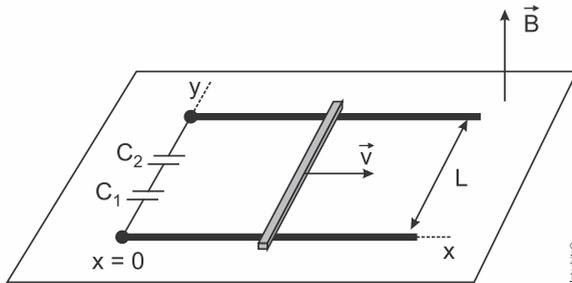
Considerando

- a área média de cada tecla de um computador igual a  $1,0\text{ cm}^2$ ,
- a distância entre uma tecla e a base do seu teclado igual a  $1,0\text{ mm}$ ,
- a permissividade do ar,  $\epsilon_0$ , igual a  $9,0 \cdot 10^{-12}\text{ F/m}$ ,
- a tensão aplicada em cada tecla igual a  $6,0\text{ V}$  no instante que uma tecla é empurrada para baixo cerca de  $0,4\text{ mm}$  da sua posição de origem,

Determine a carga armazenada na armadura do capacitor:

- a)  $5,4 \cdot 10^{12}$
- b)  $2,7 \cdot 10^{12}$
- c)  $8,4 \cdot 10^{12}$
- d)  $2,4 \cdot 10^{12}$
- e)  $3,4 \cdot 10^{10}$

3. (Upe 2015) Uma barra metálica de massa  $m = 250 \text{ g}$  desliza ao longo de dois trilhos condutores, paralelos e horizontais, com uma velocidade de módulo  $v = 2,0 \text{ m/s}$ . A distância entre os trilhos é igual a  $L = 50 \text{ cm}$ , estando eles interligados por um sistema com dois capacitores ligados em série, de capacitância  $C_1 = C_2 = 6,0 \mu\text{F}$  conforme ilustra a figura a seguir:

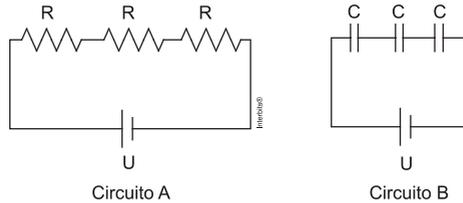


O conjunto está no vácuo, imerso em um campo de indução magnética uniforme, de módulo  $B = 8,0 \text{ T}$  perpendicular ao plano dos trilhos.

Desprezando os efeitos do atrito, calcule a energia elétrica armazenada no capacitor  $C_1$  em micro joules.

- a) 384
- b) 192
- c) 96
- d) 48
- e) 24

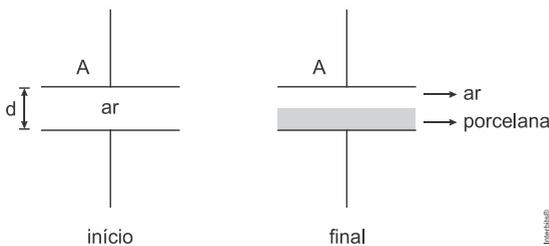
4. (Upe 2010) No circuito A, considere os três resistores com resistências iguais e, no circuito B, considere os três capacitores com capacitâncias iguais.



É CORRETO afirmar que a resistência equivalente é igual a:

- a)  $3R$ , e a capacitância equivalente é igual a  $3C$ .
- b)  $R/3$ , e a capacitância equivalente é igual a  $3C$ .
- c)  $3R$ , e a capacitância equivalente é igual a  $C/3$ .
- d)  $R/3$ , e a capacitância equivalente é igual a  $C/3$ .
- e)  $R$ , e a capacitância equivalente é igual a  $C$ .

5. (Fuvest 2018) Na figura a seguir, temos um capacitor de placas paralelas de área  $A$  separadas pela distância  $d$ . Inicialmente, o dielétrico entre as placas é o ar e a carga máxima suportada é  $Q_a$ . Para que esse capacitor suporte uma carga máxima  $Q_b$ , foi introduzida uma placa de porcelana de constante dielétrica  $k$  e espessura  $d/2$ . Considerando que seja mantida a diferença de potencial entre as placas, determine a razão entre as cargas  $Q_b$  e  $Q_a$ .



- a)  $\frac{2k}{k+1}$
- b)  $\frac{2k}{5k+3}$
- c)  $\frac{2k\epsilon_0 A}{d(k+1)}$
- d)  $\frac{k\epsilon_0 A}{dk}$
- e)  $\frac{2k\epsilon_0}{d(k+1)}$

## CAPÍTULO 9 - GERADOR



Todos os equipamentos elétricos, como lâmpadas, aquecedores, computador, geladeira, televisão, entre outros, necessitam de uma fonte de energia para o seu funcionamento. Essa fonte de energia é chamada de gerador elétrico. Em um gerador elétrico, uma forma qualquer de energia, menos a elétrica, é transformada, em parte, em energia elétrica e o restante é dissipada (perdida). Conforme o tipo de energia não elétrica a ser transformada em elétrica, podemos classificar os geradores em:

- mecânicos (usinas hidrelétricas)
- térmicos (usinas térmicas)
- nucleares (usinas nucleares)
- químicos (pilhas e baterias)
- fotovoltaicos (bateria solar)
- eólicos (energia dos ventos)

**Atenção:** O gerador não gera carga elétrica, mas somente fornece a essa carga elétrica obtida a partir de outras formas de energia.

### FORÇA ELETROMOTRIZ (E) E RESISTÊNCIA INTERNA (R)

*Quando um gerador elétrico, como uma pilha comum, é colocado em funcionamento, os portadores de carga elétrica, ao atravessarem a pilha, ganham energia potencial elétrica. A quantidade de energia potencial elétrica total por unidade de carga elétrica que uma pilha*

(gerador) consegue produzir é denominada força eletromotriz ( $\epsilon$ ) do gerador:

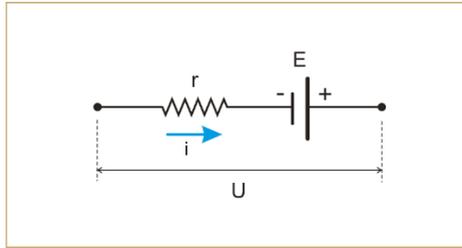
$$\epsilon = \frac{E_T}{\Delta q}$$

No Sistema Internacional, a unidade da força eletromotriz (fem) é **joule/coulomb = volt (V)**



Conforme indicado na pilha, a força eletromotriz é 1,5V. Isso indica que, para cada unidade de carga elétrica (1 C) que a atravessa, 1,5 J de energia química é transformado em energia elétrica. Quando um gerador está ligado num circuito, as cargas elétricas que o atravessam deslocam-se para o polo (terminal) onde chegarão com maior energia elétrica do que possuíam no polo (terminal) de entrada. Acontece que, durante essa travessia, as cargas “chocam-se” com partículas existentes no gerador, perdendo parte dessa energia sob a forma de calor, por efeito Joule, como num resistor. A essa resistência à passagem das cargas pelo gerador damos o nome de “resistência interna (r)” do gerador.

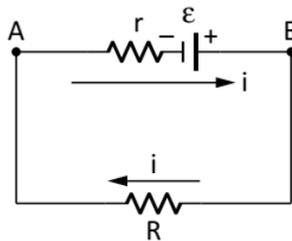
Na figura seguinte, temos a representação esquemática de um gerador elétrico de força eletromotriz  $\epsilon$  e resistência interna  $r$ , quando em funcionamento, ou seja, percorrido por uma corrente elétrica  $i$ .



Observe que (+) e (-) representam os polos positivo e negativo do gerador e que, internamente ao gerador, a corrente elétrica e vai do polo negativo para o polo positivo

### Equação de um gerador

Na figura anterior, está subentendido que um bipolo elétrico qualquer está ligado aos terminais A e B do gerador, pois há uma corrente elétrica estabelecida no circuito. Na figura seguinte, temos o esquema completo do circuito, supondo que o bipolo seja representado por um resistor



Observe que, externamente ao gerador, a corrente elétrica vai do polo positivo para o polo negativo. Em termos de energia, a energia elétrica útil que o gerador consegue fornecer para o circuito constituído pelo bipolo ao qual ele é ligado é dada pela diferença entre a energia elétrica total e a energia dissipada, ou seja:

$$E_U = E_T - E_D$$

Lembrando que a potência representa a quantidade de energia

por unidade de tempo, a expressão acima pode ser descrita como:

$$P_U = P_T - P_D$$

Onde:

$$P_U \rightarrow \text{Potência Útil } (P_U = \frac{U^2}{R})$$

$$P_T \rightarrow \text{Potência Total } (P_T = \varepsilon \cdot i)$$

$$P_D \rightarrow \text{Potência Dissipada } P_D = R \cdot i^2$$

Temos:

$$U \cdot i = \varepsilon \cdot i - R \cdot i^2$$

Então:

$$U = \varepsilon - R \cdot i$$

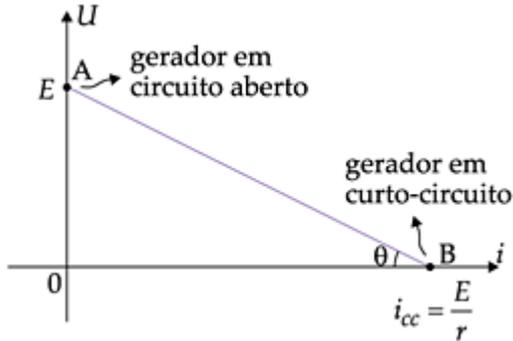
Equação do gerador

Nessa expressão, U representa a diferença de potencial nos extremos do gerador.

**ATENÇÃO:** Em algumas situações, o gerador é considerado ideal. Nesses casos, a resistência interna do gerador é nula ( $r = 0$ ). Assim, no gerador ideal, a ddp em seus extremos é igual à força eletromotriz ( $\varepsilon$ )

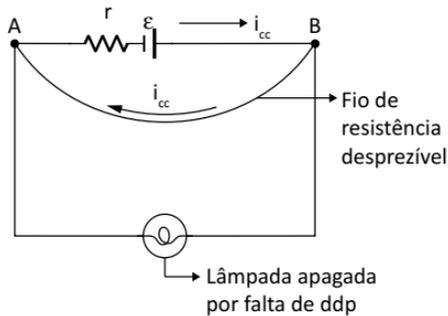
### Relação Gráfica

Com base na equação do gerador ( $U = \varepsilon - r \cdot i$ ), podemos traçar um gráfico em coordenadas cartesianas, com os valores da ddp U no eixo vertical e valores da intensidade de corrente elétrica i no eixo horizontal. Como a função  $U = f(i)$  é uma função linear, o gráfico correspondente é uma reta, conforme mostrado na figura:



Curva característica de um gerador elétrico  
 Observe no gráfico que:

- o ponto A, no qual  $U = \varepsilon$ , corresponde ao gerador em circuito aberto, ou seja,  $i = 0$ ;
- o ponto B, no qual  $U = 0$ , corresponde ao gerador em curto-circuito, ou seja, os polos do gerador são ligados externamente por um fio sem resistência, conforme mostra a figura:



A intensidade de corrente elétrica de curto-circuito é dada por:

$$U = \varepsilon - R \cdot i$$

$$0 = \varepsilon - R \cdot i$$

$$i_{cc} = \frac{\varepsilon}{R}$$

### RENDIMENTO DE UM GERADOR

O rendimento elétrico de um gerador é o quociente entre a potência elétrica (útil)  $P_U$  e a potência não elétrica (total)  $P_T$ :

$$\eta = \frac{P_U}{P_T} = \frac{U \cdot i}{\varepsilon \cdot i} = \frac{U}{\varepsilon}$$

**ATENÇÃO:**  $\eta \rightarrow \%$

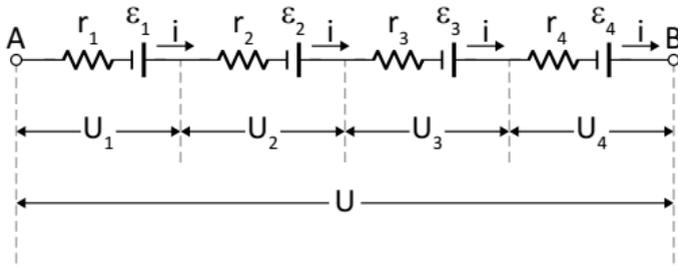
### ASSOCIAÇÃO DE GERADORES

A maioria dos jogos e brinquedos eletrônicos utiliza várias pilhas, que devem ser associadas convenientemente para que o aparelho funcione corretamente. Geralmente, as pilhas são associadas em série.

#### ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE

Dizemos que dois ou mais geradores estão associados em série quando são percorridos pela mesma corrente elétrica e, para que isso aconteça, é necessário observarmos que:

- não pode haver nó entre eles;
- o polo positivo de um deve estar ligado ao polo negativo do outro



O equivalente do gerador será:

$$\epsilon_R = \sum \epsilon$$

(somatório das forças eletromotrizes)

e

$$R_E = \sum r$$

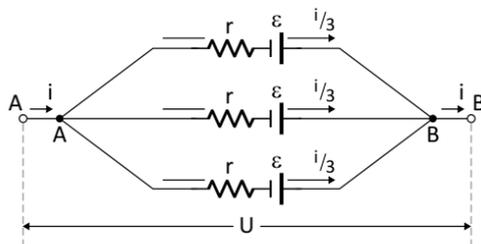
(somatório das resistências internas)

### ASSOCIAÇÃO EM PARALELO

Devemos tomar cuidado ao associarmos geradores em paralelo, devendo fazê-lo somente com geradores de mesma fem  $\epsilon$  e mesma resistência interna  $r$ , caso contrário, dependendo dos valores das fem, alguns geradores podem funcionar como receptores e energia, em vez de fornecê-la.

Vamos considerar somente geradores idênticos ( $\epsilon, r$ ) para manter a associação e, nesse caso:

- devemos ligar polo positivo com polo positivo e polo negativo com polo negativo.
- seus terminais estarão ligados aos mesmos nós.



O equivalente do gerador será:

$$\varepsilon_E = \varepsilon$$

e

$$r_E = \frac{r}{n}$$

**ATENÇÃO:** A vantagem de associarmos geradores em paralelo é que, reduzindo a corrente elétrica em cada gerador da associação, estamos aumentando o seu rendimento, pois há uma diminuição da potência dissipada internamente.

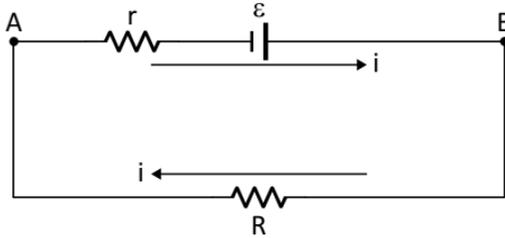
### ASSOCIAÇÃO MISTA

Combinando geradores em série e em paralelo, obtemos uma associação mista. O gerador equivalente será obtido calculando-se, passo a passo, as fem e as resistências internas das associações em série e em paralelo e transformando-se a associação até obtermos um único gerador, que é o equivalente da associação.

**ATENÇÃO:** Circuito elétrico simples: (gerador e resistor)

Um circuito elétrico é definido como o caminho a ser percorrido pela corrente elétrica, ou pelos portadores de cargas elétricas, por meio de um conjunto de elementos elétricos interligados. A condição primordial para se estabelecer um circuito elétrico é a presença de um gerador elétrico. Um circuito elétrico constituído por um único gerador e um único resistor, a ele ligado, é

denominado circuito simples.



Nesse caso, como não há nó, ambos estão em série e a corrente elétrica  $i$  que atravessa o gerador é a mesma que atravessa o resistor de resistência elétrica  $R$ . Sendo:

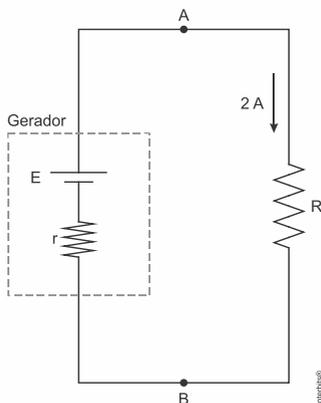
- no gerador:  $U_{AB} = \varepsilon - r \cdot i$
- no resistor:  $U_{AB} = R \cdot i$

$$i = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

(Lei de Ohm--Pouillet)

### EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

1. (Uefs 2018) Um circuito elétrico é constituído por um gerador de força eletromotriz  $E$  e resistência interna  $r = 2\Omega$  e por um resistor ôhmico de resistência  $R$ . Se por esse circuito circular uma corrente elétrica de intensidade  $i = 2A$  a diferença de potencial entre os pontos  $A$  e  $B$  será  $16V$ .



Considerando desprezíveis as resistências dos fios e das conexões utilizados na montagem desse circuito, os valores de  $E$  e de  $R$  são

- 20 V e  $8 \Omega$ .
- 10 V e  $8 \Omega$ .
- 32 V e  $8 \Omega$ .
- 32 V e  $10 \Omega$ .
- 20 V e  $10 \Omega$ .

2. (Ebmsp 2017) Unidades hospitalares utilizam geradores elétricos para se prevenir de interrupções no fornecimento de energia elétrica.

Considerando-se um gerador elétrico de força eletromotriz  $120,0\text{V}$  e resistência interna  $4,0 \Omega$  que gera potência elétrica de  $1.200,0 \text{ W}$  quando ligado a um circuito externo, é correto afirmar, com base nessas informações e nos conhecimentos de eletricidade, que

- o gerador elétrico transforma energia elétrica em outras formas de energia.
- a diferença de potencial elétrico entre os terminais do gerador é igual a  $110,0 \text{ V}$ .
- a intensidade da corrente elétrica que circula através do

gerador é igual a 8,0 A.

d) a potência dissipada em outras formas de energia no interior do gerador é igual a 512,0 W.

e) a potência elétrica que o gerador lança no circuito externo para alimentar as instalações é igual a 800,0 W.

3. (Uefs 2016) Para um circuito elétrico incluindo vários percursos fechados, é necessária a aplicação de regras especiais para a sua resolução.

Com base nos conhecimentos sobre Eletrodinâmica, é correto afirmar:

a) Quando se percorre um resistor no sentido da corrente elétrica, a ddp é negativa e, no sentido inverso, é positiva.

b) No gerador, o rendimento elétrico é expresso pela razão entre a ddp que mantém em seus terminais e sua força eletromotriz.

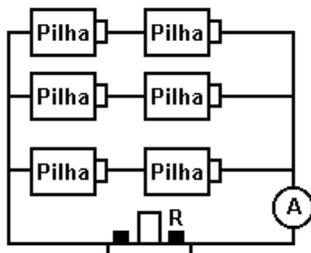
c) A potência máxima fornecida por um gerador corresponde a uma corrente de intensidade igual à intensidade da corrente de curto circuito.

d) A segunda lei de Kirchhoff diz que, em um nó, a soma das intensidades das correntes elétricas que chegam é maior que a soma das intensidades das correntes que saem.

e) A primeira lei de Kirchhoff estabelece que, ao se percorrer uma malha em determinado sentido, partindo-se e chegando-se ao mesmo ponto, a soma dos valores absolutos das ddp é sempre positiva.

### EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. (Fuvest 2014) Seis pilhas iguais, cada uma com diferença de potencial  $V$ , estão ligadas a um aparelho, com resistência elétrica  $R$ , na forma esquematizada na figura. Nessas condições, a corrente medida pelo amperímetro  $A$ , colocado na posição indicada, é igual a

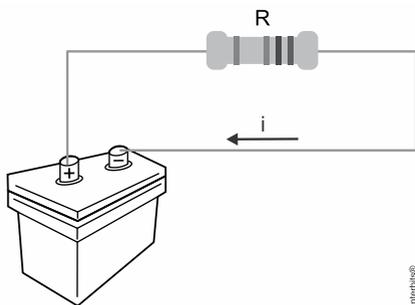


- a)  $V/R$
- b)  $2V/R$
- c)  $2V/3R$
- d)  $3V/R$
- e)  $6V/R$

2. (Uece 2018) Considere um dispositivo elétrico formado por uma bateria com um dos terminais ligado a um dos terminais de um resistor. Caso esse dispositivo seja conectado em paralelo a um segundo resistor, pode-se afirmar corretamente que

- a) a corrente fornecida pela bateria é diferente nos resistores.
- b) a corrente nos dois resistores tem mesmo valor.
- c) a tensão nos dois resistores é sempre a mesma da bateria.
- d) a soma das tensões nos resistores é o dobro da tensão na bateria.

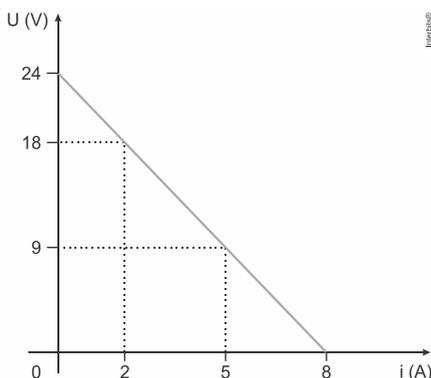
3. (Unipê 2018) Quando um gerador de força eletromotriz  $12\text{ V}$  é ligado a um resistor  $R$  de resistência  $5,8\ \Omega$ , uma corrente elétrica  $i$  de intensidade  $2,0\text{ A}$  circula pelo circuito.



A resistência interna desse gerador é igual a

- a)  $0,40 \Omega$ .
- b)  $0,20 \Omega$ .
- c)  $0,10 \Omega$ .
- d)  $0,30 \Omega$ .
- e)  $0,50 \Omega$ .

4. (FGV 2018) Observe o gráfico, que representa a curva característica de operação de um gerador:



Com base nos dados, a resistência interna do gerador, em ohm, é igual a:

- a)  $1,0$
- b)  $3,0$
- c)  $4,0$
- d)  $6,0$

5. (Fatec 2015) As tecnologias vestíveis digitais estão sendo incorporadas em mais e mais produtos que usamos no nosso cotidiano. Entre tantos, podemos citar exoesqueletos, relógios e óculos “inteligentes”, pulseiras fitness, lentes de contato para diabéticos, luvas de composição musical e realidade aumentada, unhas postiças eletrônicas, cílios postiços condutivos, sapatilhas de corrida eletrônicas e tatuagens digitais.

Em virtude dessa crescente oferta, observa-se o acréscimo significativo de adeptos, comprovado pelo surgimento de revistas, congressos, conferências e exposições especializados sobre o tema. Enfim, uma revolução no modo de vida das pessoas.



(1)



(2)



(1)

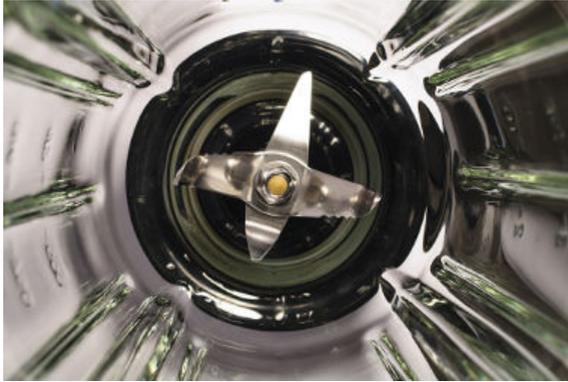
<sup>(1)</sup> <http://www.wearabledevices.com/devices/> Acesso em: 05.08.2014. Originais coloridos

<sup>(2)</sup> <http://tinyurl.com/oglobo-vestiveis> Acesso em: 05.08.2014. Original colorido

A maioria desses dispositivos portáteis necessita de energia elétrica, geralmente oriunda de pilhas ou baterias internas recarregáveis. Esses dispositivos funcionam, basicamente, graças à corrente elétrica

- a) alternada.
- b) contínua.
- c) residual.
- d) de fuga.
- e) protônica.

## CAPÍTULO 10 - RECEPTORES



Convivemos diariamente com uma série de equipamentos que funcionam graças à energia elétrica. São os chamados receptores elétricos. Para colocá-los em funcionamento, precisamos ligá-los a uma fonte de energia elétrica: o gerador elétrico. Assim, gerador e receptor formam um circuito elétrico. De modo geral, qualquer elemento de um circuito elétrico que transforme energia elétrica em outra modalidade de energia é denominado receptor. Podemos classificar os receptores em:

- Passivos: transformam integralmente energia elétrica em energia exclusivamente térmica (calor). É o caso dos resistores, já estudados;
- Ativos: transformam a energia elétrica em outra forma de energia que não seja exclusivamente térmica. É o caso dos motores elétricos que transformam parte da energia elétrica em energia cinética de rotação (energia mecânica), por exemplo.

### **Equação dos receptores**

A energia disponível para o receptor resulta da passagem da corrente elétrica. O trabalho realizado pelos portadores de carga que constituem a corrente elétrica fornece energia para

o funcionamento do equipamento. A diferença de potencial elétrico nos terminais do aparelho é menor que a tensão nominal do gerador elétrico. Isso se deve à conversão de energia elétrica em outra modalidade de energia. A tensão nominal do gerador é a diferença de potencial total (ddp) disponível para o receptor. Todo aparelho receptor apresenta uma resistência própria, denominada de resistência interna, que acaba por diminuir a ddp total. A ddp útil é aquela efetivamente utilizada pelo aparelho na conversão da energia elétrica em outra forma de energia. Assim, podemos escrever que a ddp total é a soma da ddp dissipada pela resistência interna e a ddp útil.

$$U = \varepsilon' + r'.i$$

Os termos dessa equação são:

$V$  = ddp total, oferecida pelo gerador;

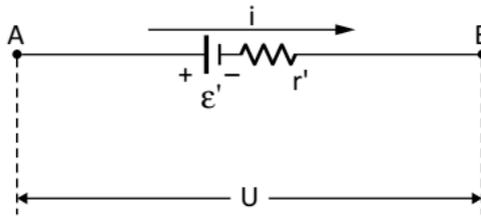
$\varepsilon'$  = ddp útil, efetivamente utilizada pelo aparelho receptor. Essa tensão é denominada de força contraeletromotriz;

$r'.i$  = ddp dissipada pela resistência interna.

**ATENÇÃO:** Durante a passagem da corrente elétrica pelo receptor, parte da energia elétrica das cargas elétricas é dissipada sob a forma de calor (efeito Joule) nos fios internos que apresentam resistência elétrica, denominada resistência interna  $r'$  do receptor. A potência dissipada internamente pode ser calculada por:

$$P_D = r'.i^2$$

Na figura seguinte, temos a representação esquemática de um receptor elétrico de força contraeletromotriz  $\varepsilon'$  e resistência interna  $r'$ , quando em funcionamento, ou seja, percorrido por uma corrente elétrica  $i$ .



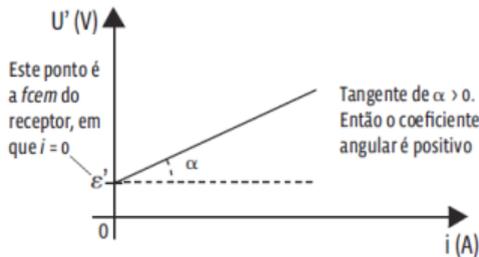
Observe que, (+) e (-) representam os polos positivo e negativo do receptor e que, internamente ao receptor, a corrente elétrica vai do polo positivo para o polo negativo. Lembrando que se trata de um bipolo, a potência elétrica total pode ser calculada por:

$$P_T = U \cdot i$$

Lembre:  $P_U = \epsilon \cdot i$

### Relação Gráfica

Na equação do gerador, a força contraeletromotriz e a resistência interna do receptor são constantes. Com isso, pode-se construir um gráfico da ddp total pela corrente elétrica. Como a equação do receptor é do primeiro grau, o gráfico será:



Com dois pontos do gráfico  $(0; \epsilon')$  e  $(i; U)$ , podemos calcular a resistência interna ( $r'$ ) do receptor por meio da relação:

$$U - \epsilon' = r' \cdot i \rightarrow r' = \frac{U - \epsilon'}{i}$$

De acordo com a definição de rendimento dada no capítulo anterior (geradores elétricos), temos, para o receptor:

$$\eta = \frac{P_U}{P_T} = \frac{\varepsilon' \cdot i}{U \cdot i} = \frac{\varepsilon'}{U}$$

**ATENÇÃO:**  $\eta \rightarrow \%$

**Obs:** O rendimento do receptor será zero, quando o eixo do gerador for travado, assim toda potência útil será dissipada em calor e  $\varepsilon' = 0 \text{ V}$ .

### EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

1. (UNIPÊ 2015) Hoje, ninguém consegue imaginar uma residência sem eletrodomésticos (aparelho de TV, aparelho de som, geladeira, máquina de lavar roupa, máquina de lavar louça, etc).

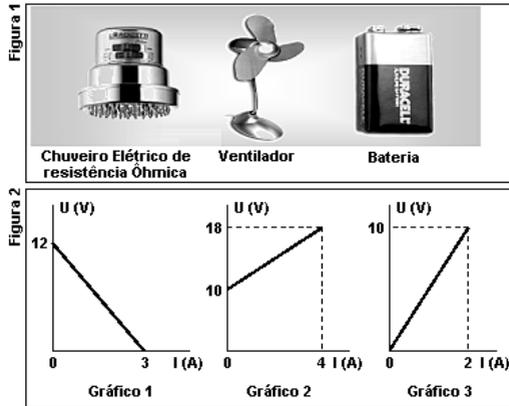
Uma enceradeira possui força contra-eletromotriz de 100 V.

Quando ligada a uma tomada de 120 V ela dissipa uma potência total de 40 W. Nestas condições, a resistência interna da enceradeira, em ohms, vale

- a) 2,0
- b) 3,0
- c) 5,0
- d) 10
- e) 20

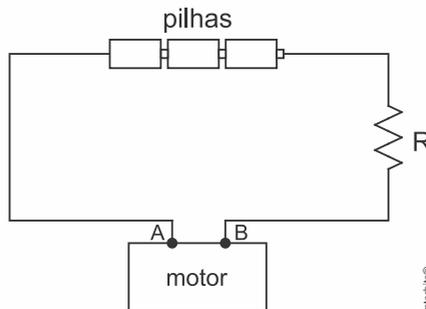
2. (FGV 2017) Na Figura 1 estão representados três objetos que utilizam eletricidade. Os gráficos da Figura 2 mostram o comportamento desses objetos por meio de suas características tensão (U) versus intensidade de corrente (I). Levando-se em conta o comportamento elétrico desses objetos, associe cada um deles com o gráfico correspondente que o caracteriza, para uma

corrente de 2A, calcule o rendimento do objeto que se comporta como receptor.



- a) 71,4%
- b) 70%
- c) 1,4%
- d) 14%
- e) 35%

3. (FGV 2016) O circuito a seguir representa três pilhas ideais de 1,5 V cada uma, um resistor R de resistência elétrica  $1,0 \Omega$  e um motor, todos ligados em série. (Considere desprezível a resistência elétrica dos fios de ligação do circuito.)

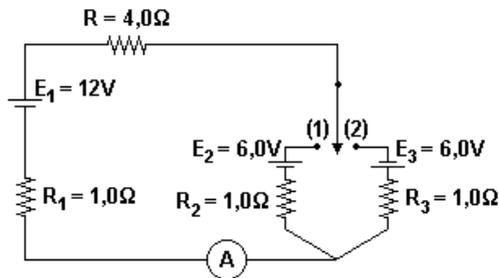


A tensão entre os terminais A e B do motor é  $4,0\text{ V}$ . Qual é a potência elétrica consumida pelo motor?

- a)  $0,5\text{ W}$ .
- b)  $1,0\text{ W}$ .
- c)  $1,5\text{ W}$ .
- d)  $2,0\text{ W}$ .
- e)  $2,5\text{ W}$ .

### EXERCÍCIOS PROPOSTOS

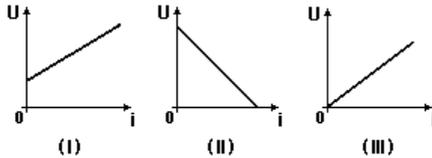
1. (Puc 2017) Considere o circuito esquematizado a seguir constituído por três baterias, um resistor ôhmico, um amperímetro ideal e uma chave comutadora. Os valores característicos de cada elemento estão indicados no esquema.



As indicações do amperímetro conforme a chave estiver ligada em (1) ou em (2) será, em amperes, respectivamente,

- a)  $1,0$  e  $1,0$
- b)  $1,0$  e  $3,0$
- c)  $2,0$  e  $2,0$
- d)  $3,0$  e  $1,0$
- e)  $3,0$  e  $3,0$

2. (UNESP 2016) Considere os gráficos a seguir.



Eles representam as curvas características de três elementos de um circuito elétrico, respectivamente,

- a) gerador, receptor e resistor.
- b) gerador, resistor e receptor.
- c) receptor, gerador e resistor.
- d) receptor, resistor e gerador.
- e) resistor, receptor e gerador.

3. (Cesgranrio 2018) Os gráficos característicos de um motor elétrico (receptor) e de uma bateria (gerador) são mostrados nas figuras (1) e (2), respectivamente.

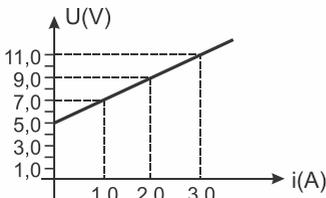


Figura 1

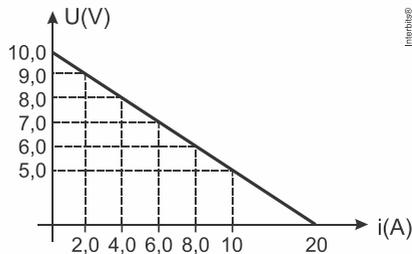
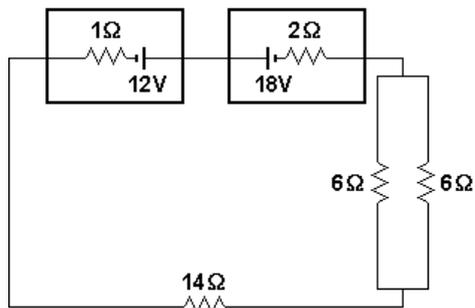


Figura 2

Sendo o motor ligado a essa bateria, é correto afirmar que a intensidade da corrente elétrica que o percorrerá, em ampères, será de:

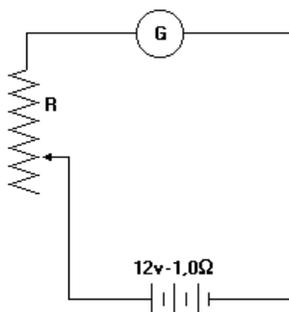
- a) 2,0    b) 4,0    c) 6,0    d) 8,0    e) 10

4. (FGV 2016) O valor da intensidade de correntes (em A) no circuito a seguir é:



- a) 1,50
- b) 0,62
- c) 1,03
- d) 0,50
- e) 0,30

5. (UNESP 2018) No circuito esquematizado a seguir, tem-se um gerador G, que fornece 60 v sob corrente de 8,0 A, uma bateria com f.e.m. de 12 v e resistência interna de 1,0  $\Omega$ , e um resistor variável R. Para que a bateria seja carregada com uma corrente de 8,0 A, deve-se ajustar o valor de R para:



- a) 1,0
- b) 2,0
- c) 3,0
- d) 4,0
- e) 5,0

## CAPÍTULO 11 - APARELHOS DE MEDIDA ELÉTRICA

Os instrumentos elétricos de medida são largamente utilizados em laboratórios de ensino. Esses equipamentos são utilizados para obtenção de valores de várias grandezas que estão envolvidas num circuito elétrico. Com os aparelhos apropriados podemos fazer medidas de corrente elétrica, voltagem e resistência elétrica. Os profissionais que trabalham com eletricidade dispõem de um aparelho chamado multímetro que pode ser utilizado como medidor de corrente elétrica (amperímetro), de ddp (voltímetro), ou, ainda, como medidores de resistência elétrica (ohmímetro), bastando para isso colocar a chave seletora na posição adequada. No mercado, estão disponíveis multímetros analógicos, como o mostrado na figura, e multímetros digitais.



### Multímetro Digital

#### A medida de corrente elétrica

Um aparelho capaz de indicar a presença de corrente elétrica

em um circuito elétrico é denominado de galvanômetro. Se for possível graduar a escala desse aparelho ele receberá o nome de amperímetro, o qual possibilita a medição da intensidade da corrente elétrica. Existem tanto amperímetros digitais quanto amperímetros analógicos, ambos são muito utilizados, no entanto o digital permite maior precisão nos resultados.



### Amperímetro Digital

Para medir a corrente em um circuito elétrico deve-se ligar o amperímetro em série com o circuito. Contudo, esse aparelho possui em seu interior uma resistência elétrica, cujo valor deve ser acrescido à resistência do circuito ao realizar os cálculos. De forma a tornar desprezível a resistência do amperímetro, esse aparelho é construído com a menor resistência interna possível.

Na prática, todo amperímetro possui uma resistência interna ( $r$ ), fazendo com que a resistência equivalente do circuito aumente. Isso significa dizer que a intensidade de corrente elétrica antes da colocação do amperímetro não é igual à intensidade de corrente elétrica após a sua colocação: o amperímetro altera o valor da

intensidade de corrente elétrica. Isso é um problema frequente na física, onde, na maioria dos casos, os aparelhos de medidas alteram o valor da grandeza a ser medida. Para contornar esse problema, os fabricantes desses aparelhos procuram construí-los com a menor resistência possível.

Se a resistência interna do amperímetro é muito menor que a resistência elétrica do elemento, no qual se pretende medir a corrente elétrica, o amperímetro não afeta de maneira significativa o valor da corrente elétrica, e o resultado situa-se dentro dos limites aceitáveis.

De modo geral, podemos dizer um amperímetro é considerado ideal quando a sua resistência interna pode ser desprezada, ou seja, pode ser considerada igual a zero. Assim, o amperímetro ideal possui resistência interna nula.

### **ATENÇÃO:**

- O amperímetro será considerado ideal se a intensidade de corrente elétrica for a mesma antes e após a colocação do aparelho de medida;
- Se um amperímetro for ligado em paralelo com um elemento de um circuito, ele irá deixá-lo em curto-circuito.

### **A medida de voltagem**

A medida de voltagem é mais conhecida como medida de diferença de potencial. Para realizar a medida de voltagem utilizamos aparelhos denominados de voltímetros. Assim como no caso do amperímetro, existem também voltímetros analógicos e digitais. Ambos são muito utilizados, porém o voltímetro digital possibilita a melhor leitura do valor da ddp como também a certeza do que

está sendo medido. Da mesma forma que o amperímetro, o voltímetro também pode interferir no circuito, fornecendo um valor de ddp diferente do real. Para que isso não ocorra, a corrente  $i$  que passa pelo voltímetro deve ser mínima; Isto é possível desde que a resistência interna do voltímetro seja muito grande.



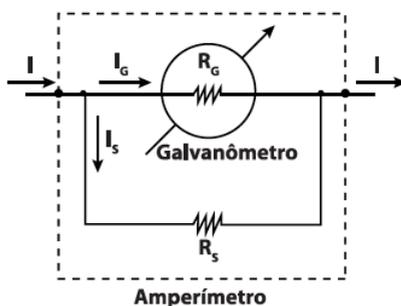
Para medir a ddp entre as extremidades de um resistor, por exemplo, deve-se conectar o voltímetro em paralelo com a resistência. Esse aparelho, assim como o amperímetro, também possui uma resistência interna. Assim é desejável que a corrente que se desvia para o voltímetro seja a menor possível, de forma que ao introduzir o voltímetro a perturbação causada seja desprezível. Sendo assim, os voltímetros são construídos com uma resistência interna mais alta possível.

### **A medida de resistência**

Para medir o valor de uma resistência utiliza-se um aparelho chamado ohmímetro, no entanto, se tivermos um multímetro, aparelho que tem capacidade de medir valores de voltagem, corrente elétrica e também a resistência do resistor, podemos medir o valor da resistência de um resistor. Para realizar essa medida basta conectar as ponteiros do multímetro nos terminais do resistor.



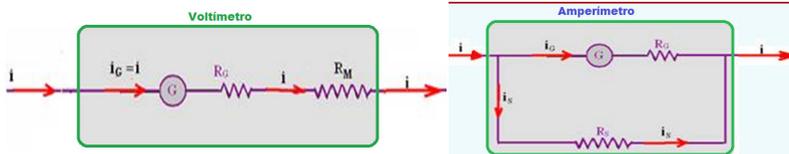
**Atenção:** O galvanômetro é o instrumento de medidas elétricas básico para a construção e funcionamento dos amperímetros e voltímetros. Basicamente, o galvanômetro é composto por um resistor de resistência elétrica  $R$  e um ponteiro que se desloca sobre uma escala proporcionalmente à intensidade de corrente elétrica que o atravessa. Normalmente, essa corrente elétrica é de pequena intensidade e seu valor máximo é denominado corrente de fundo de escala.



Quando um galvanômetro é associado convenientemente com um resistor de resistência  $R$ , ele pode funcionar como amperímetro

ou como voltímetro. Assim, temos:

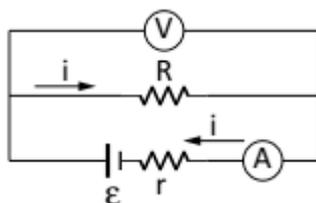
- Galvanômetro + resistor em paralelo  $R_s$  (shunt) = amperímetro;
- Galvanômetro + resistor em série  $R_M$  (multiplicativo) = voltímetro.



## Circuitos ELÉTRICOS

### Ponte de Wheatstone

Um modo prático para se obter a resistência elétrica de um resistor é por meio do circuito elétrico mostrado na figura, no qual o resistor é ligado aos terminais de um gerador.

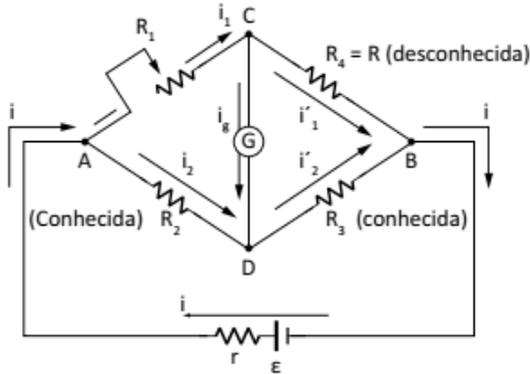


Com as indicações do voltímetro e do amperímetro, ambos ideais, a resistência  $R$  do resistor é dada pela lei de Ohm:

$$U = R \cdot i$$

Outro modo de se obter o valor da resistência de um resistor é por meio do circuito mostrado na

figura seguinte, denominado ponte de Wheatstone, elaborado pelo físico inglês Charles Wheatstone (1802-1875).



Nesse circuito, considere:

- $R_1$  – resistor variável (reostato);
- $R_2$  e  $R_3$  – resistores de resistência elétrica conhecida;
- $R_4$  – resistor de resistência elétrica  $R$  desconhecida (a ser determinada);
- $G$  – galvanômetro;
- $\varepsilon$ ;  $r$  – gerador

Variando-se o valor da resistência  $R_1$  do reostato, varia-se o valor da corrente  $i_g$  no galvanômetro. Quando a corrente elétrica no galvanômetro se anula ( $i_g = 0$ ), dizemos que a ponte está em equilíbrio e, nesse caso,  $U_{CD} = 0$ . Nessas condições, temos:

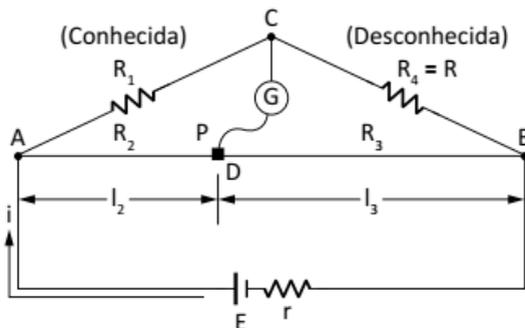
$$R \cdot R_2 = R_1 \cdot R_3$$

Nessa expressão, na qual o produto das resistências opostos é igual, determinamos o valor da resistência  $R$

Ponte de fio

Substituindo-se os resistores  $R_2$  e  $R_3$  por um fio homogêneo de secção transversal constante, sobre o qual desliza um cursor  $P$

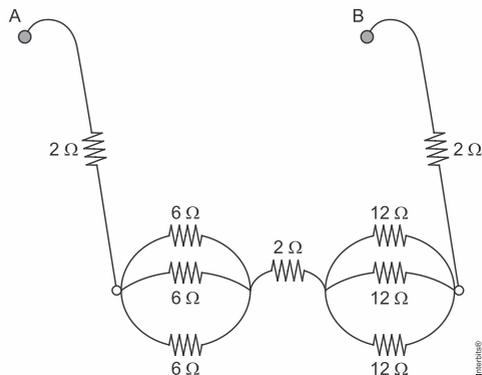
conectado ao galvanômetro, obtemos uma variante da ponte de Wheatstone, conforme a figura abaixo



$$R_1 \cdot L_3 = R_4 \cdot L_2$$

### EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

1. (Uefs 2018) Para decorar a fachada de sua ótica, o proprietário construiu uma peça com elementos resistivos que, quando percorridos por corrente elétrica, emitem luz. A peça de decoração pronta corresponde à associação de resistores entre os pontos A e B, indicada na figura.

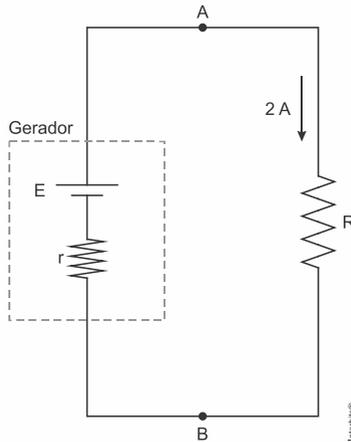


A resistência equivalente entre os pontos A e B é

- a)  $6 \Omega$ .
- b)  $10 \Omega$ .
- c)  $12 \Omega$ .
- d)  $18 \Omega$ .
- e)  $24 \Omega$ .

2. (Uefs 2018) Um circuito elétrico é constituído por um gerador de força eletromotriz  $E$  e resistência interna  $r = 2 \Omega$  e por um resistor ôhmico de resistência  $R$ . Se por esse circuito circular uma corrente elétrica de intensidade  $i = 2A$ , a diferença de potencial entre os pontos A e B será  $16 V$ .

Considerando desprezíveis as resistências dos fios e das conexões utilizados na montagem desse circuito, os valores de  $E$  e de  $R$  são



- a)  $20V$  e  $8\Omega$
- b)  $10V$  e  $8\Omega$
- c)  $32V$  e  $8\Omega$
- d)  $32V$  e  $10\Omega$
- e)  $20V$  e  $10\Omega$

## 3. (Ebmsp 2017)



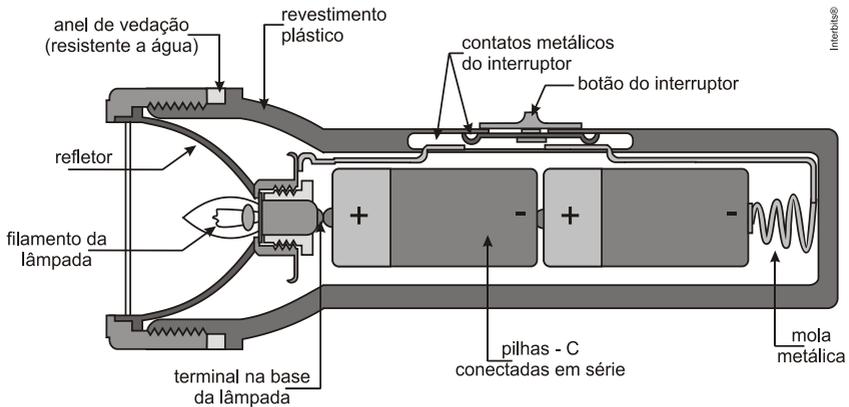
Disponível em: <<http://eletronicos.mercadolivre.com.br>>.  
Acesso em: 26 out. 2016.

Os profissionais de um posto de saúde promoveram uma atividade para orientar a comunidade local sobre a prevenção de doenças causadas por picadas de mosquitos. Eles exibiram um vídeo com a raquete para matar mosquito, mostrada na figura. A raquete é composta de três telas metálicas, duas externas ligadas ao polo negativo e uma central ligada ao polo positivo de uma bateria. No interior da raquete, existe um circuito que amplifica a tensão para um valor de até 2,0 kV e a envia em forma de pulsos contínuos para a tela central. Um mosquito, ao entrar na raquete, fecha o circuito entre as telas e recebe uma descarga elétrica com potência de, no máximo, 6,0 W, que produz um estalo causado pelo aquecimento excessivo do ar, responsável por matar o mosquito carbonizado. Com base nas informações do texto e nos conhecimentos de Física, identifique o efeito responsável pelo aquecimento excessivo do ar que mata o mosquito e calcule a intensidade máxima da corrente elétrica que atravessa a região entre as telas da raquete.

- a) Joule, 3mA
- b) Elétrico, 5mA
- c) Mecânico, 3mA
- d) Joule, 5mA
- e) Elétrico, 4mA

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

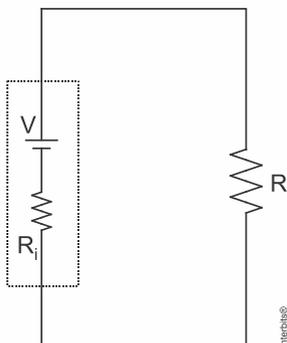
### 1. (Uesc 2011)



A figura representa o esquema de um circuito elétrico de uma lanterna. Considerando-se que a força eletromotriz e a resistência interna de cada pilha, respectivamente, iguais a  $3,0\text{V}$  e  $0,5\ \Omega$ , a resistência elétrica da lâmpada igual a  $5,0\ \Omega$  e que da lanterna sai um feixe de luz cilíndrico, de raio igual a  $5,0\text{cm}$ , pode-se afirmar que a intensidade luminosa da lâmpada da lanterna é igual, em  $\text{W}/\text{m}^2$ , a

- a)  $\pi^{-1} \cdot 10^4$
- b)  $2 \pi^{-1} \cdot 10^3$
- c)  $2,5\pi^{-1} \cdot 10^5$
- d)  $5\pi^{-1} \cdot 10^3$
- e)  $5\pi^{-1} \cdot 10^5$

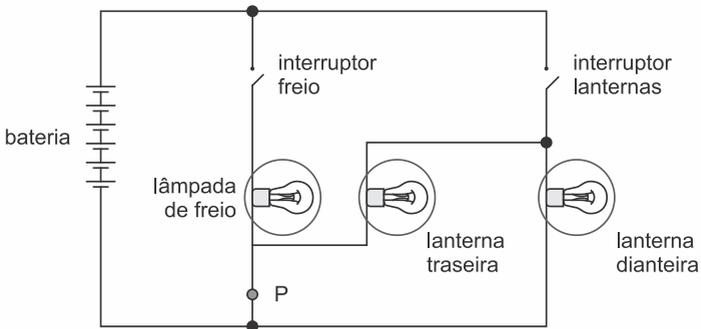
2. (Fuvest 2019) Uma bateria de tensão  $V$  e resistência interna  $R_i$  é ligada em série com um resistor de resistência  $R$ . O esquema do circuito está apresentado na figura.



A potência dissipada pelo resistor  $R$  é dada por

- a)  $\frac{V^2}{R}$
- b)  $\frac{V^2}{(R + R_i)}$
- c)  $\frac{V^2 R}{(R + R_i)^2}$
- d)  $\frac{V^2 R}{(R + R_i)}$
- e)  $\frac{V^2}{(R - R_i)}$

3. (Unesp 2018) A figura mostra o circuito elétrico que acende a lâmpada de freio e as lanternas traseira e dianteira de um dos lados de um automóvel.

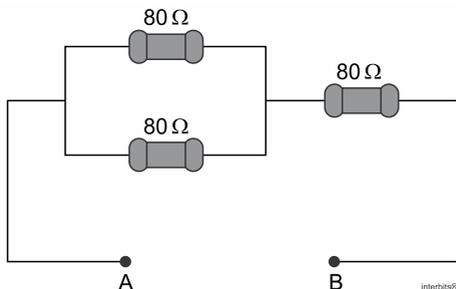


(www.autoentusiastasclassic.com.br. Adaptado.)

Considerando que as três lâmpadas sejam idênticas, se o circuito for interrompido no ponto P, estando o automóvel com as lanternas apagadas, quando o motorista acionar os freios,

- a) apenas a lanterna dianteira se acenderá.
- b) nenhuma das lâmpadas se acenderá.
- c) todas as lâmpadas se acenderão, mas com brilho menor que seu brilho normal.
- d) apenas a lanterna traseira se acenderá.
- e) todas as lâmpadas se acenderão com o brilho normal.

4. (Unesp 2016) Em um trecho de uma instalação elétrica, três resistores Ôhmicos idênticos e de resistência  $80\Omega$  cada um são ligados como representado na figura. Por uma questão de segurança, a maior potência que cada um deles pode dissipar, separadamente, é de 20W.



Dessa forma, considerando desprezíveis as resistências dos fios de ligação entre eles, a máxima diferença de potencial, em volts, que pode ser estabelecida entre os pontos A e B do circuito, sem que haja riscos, é igual a

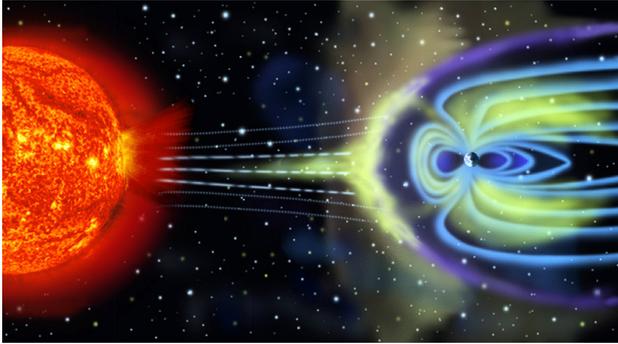
- a) 30.
- b) 50.
- c) 20.
- d) 40.
- e) 60.

5. (Fgv 2015) É comum um componente eletrônico apresentar a especificação  $2W - 4V$  e funcionar corretamente mesmo alimentado por uma bateria ideal de fem  $12V$ . Nessas circunstâncias, esse componente é associado a outro, geralmente um resistor, o que faz com que a associação funcione normalmente. Tal resistor deve ser associado em \_\_\_\_\_ com o componente, ter uma resistência elétrica de \_\_\_\_\_  $\Omega$  e dissipar uma potência de \_\_\_\_\_  $W$ .

Assinale a alternativa que preenche, correta e respectivamente, as lacunas.

- a) série ... 16 ... 4
- b) série ... 16 ... 2
- c) série ... 8 ... 2
- d) paralelo ... 16 ... 4
- e) paralelo ... 16 ... 2

## CAPÍTULO 12 - ELETROMAGNETISMO I



Provavelmente você já teve a oportunidade de manusear um ímã e perceber que ele possui a propriedade de atrair objetos de ferro ou ligas metálicas compostas por esse material, e também já deve ter notado que ao aproximar dois ímãs, eles interagem e produzem uma força que pode ser atrativa ou repulsiva, dependendo da orientação como estão posicionados. Essa propriedade dos ímãs é decorrente do campo magnético existente em torno deles. O planeta Terra também possui um campo magnético ao seu redor, sem o qual não seria possível a vida na forma em que a conhecemos. O campo magnético terrestre, chamado de magnetosfera, nos protege como um escudo das partículas de alta energia emitidas pelo Sol, como ilustra a Fig.

Em determinadas circunstâncias algumas partículas solares conseguem penetrar nos polos do planeta Terra, atingindo a nossa atmosfera. Quando essas partículas solares colidem com as partículas da atmosfera terrestre, provocam um fenômeno de emissão de luz em diferentes cores, chamado de aurora (boreal no hemisfério norte ou austral no hemisfério sul), que embora seja um dos espetáculos naturais mais bonitos da Terra, mostra a constante batalha entre o seu campo magnético e os ventos solares.

Você sabe desde quando se tem conhecimento das interações magnéticas? Existem relatos que no século VI a.C. Tales de Mileto percebeu que um minério era capaz de atrair pequenos objetos

de ferro. Esse minério foi chamado de magnetita (composto basicamente de óxido de ferro  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), justamente porque foi encontrado em Magnésia, antiga cidade da Grécia Antiga. Contudo, há indícios que os chineses já conheciam os fenômenos magnéticos há mais tempo que os gregos. Foram os chineses que inventaram a bússola, quando perceberam que uma colher de magnetita, suspensa livremente por um eixo, adquiria naturalmente a direção que hoje conhecemos como nortesul. Mais tarde, em 1820, Hans Christian Oersted demonstrou uma relação entre a eletricidade e o magnetismo quando percebeu que a agulha de uma bússola era defletida pelo campo magnético gerado ao redor de um fio percorrido por corrente elétrica. Os anos seguintes ficaram marcados pela busca do processo inverso, pois se corrente elétrica gera campo magnético (demonstrado por Oersted), seria possível que um campo magnético também gerasse corrente elétrica? Foi em 1831, onze anos depois da publicação de Oersted, que Michael Faraday mostrou que a variação de um campo magnético através de uma superfície condutora fechada gera corrente elétrica.

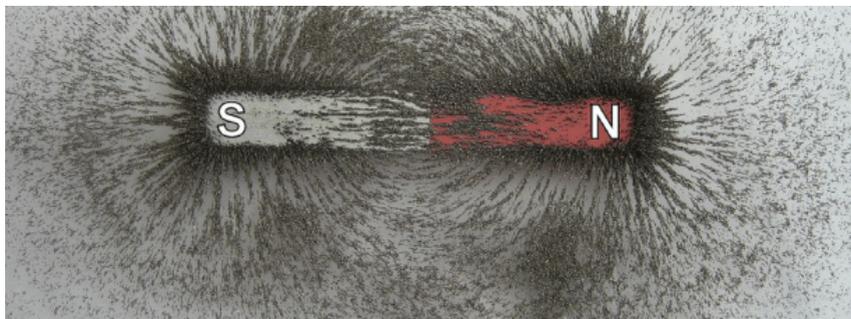
## IMÃS

Os ímãs, naturais ou artificiais, podem ser encontrados em diversos formatos: em forma de barra, disco, cilindro, anel e outros. Os ímãs são utilizados em diversas aplicações tecnológicas, como dínamos, motores e geradores eletromagnéticos, discos rígidos de computadores (HDs), etc. Nos geradores, ímãs macroscópicos giram ao redor de um enrolamento de espiras e variam o campo magnético através delas, produzindo corrente elétrica nesse condutor. Nos HDs de computadores, um disco rígido e metálico é recoberto por uma fina camada de material magnético (ímãs microscópicos). Para efetuar a gravação de uma determinada trilha, um pequeno eletroímã, que faz parte da cabeça de leitura e gravação do HD, aplica seu campo magnético sobre as moléculas de óxido de ferro da superfície de gravação, causando o alinhamento

das partículas com esse campo magnético. Dependendo da orientação dos ímãs, temos um bit 0 ou um bit 1, que representam a menor quantidade de informação que pode ser armazenada ou transmitida. Os ímãs possuem as seguintes propriedades:

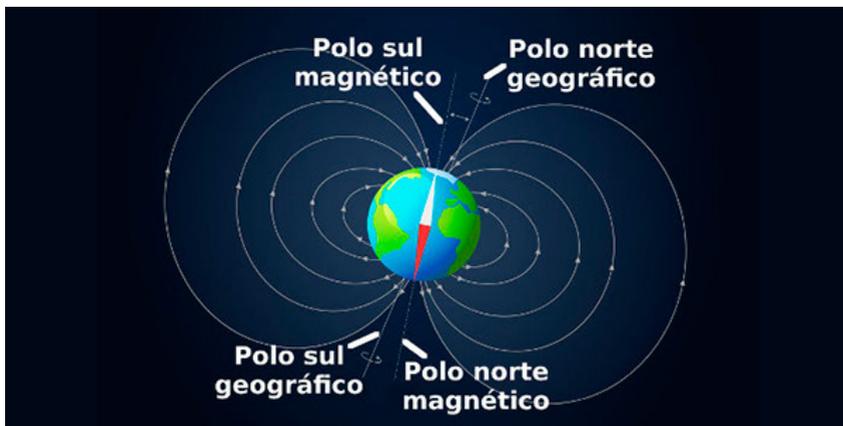
### 1) PÓLOS MAGNÉTICOS

Quando se aproxima um ímã de pequenos pedaços de ferro, chamados de limalhas, percebe-se que eles são atraídos mais intensamente pelas extremidades desse ímã, como mostra a Fig.



Essas extremidades são chamadas de polos magnéticos, sendo uma delas o polo norte e a outra o polo sul.

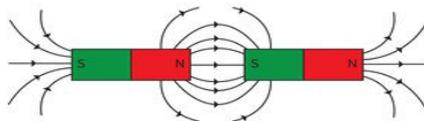
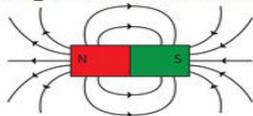
**OBSERVAÇÃO:** Suspendendo um ímã de forma que ele possa girar livremente, percebe-se que ele naturalmente se alinha com a direção norte-sul da Terra. A extremidade que aponta para o Norte geográfico é chamada, por convenção, de polo norte do ímã, e a extremidade que aponta para o Sul geográfico é chamada de polo sul desse ímã.



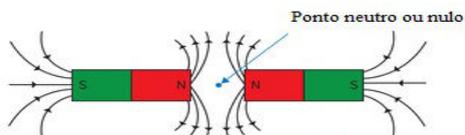
## 2) ATRAÇÃO E REPULSÃO

Polos magnéticos de mesmo tipo se repelem, enquanto polos magnéticos de tipos diferentes se atraem.

Campo magnético de um ímã em barra



Atração entre polos opostos



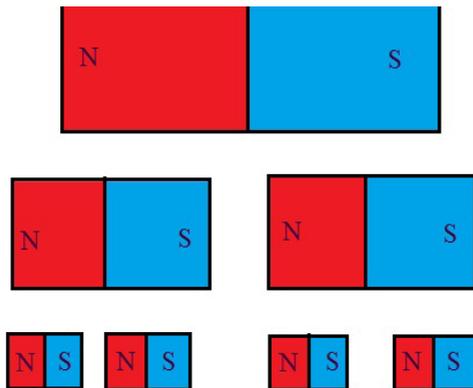
Repulsão entre polos iguais

A intensidade da força magnética, tanto atrativa como repulsiva, entre dois polos magnéticos, varia com o inverso do quadrado

da distância entre eles, de modo semelhante ao que ocorre com a força elétrica entre duas cargas elétricas puntiformes (Lei de Coulomb). Por exemplo: dois polos magnéticos de diferentes ímãs estão distantes 10 cm um do outro e a interação entre eles produz uma força magnética de intensidade 4 N. Se os polos forem agora afastados para a distância de 20 cm (duas vezes maior que a inicial), a intensidade da força magnética entre eles diminuirá para 1 N, quatro vezes menor que a força anterior, justamente porque ao aumentar a distância entre os polos magnéticos em duas vezes, a intensidade da força deve diminuir com o quadrado da distância (quatro vezes menor que a força inicial).

### 3) INSEPARABILIDADE

Partindo-se ao meio um ímã em forma de barra, por exemplo, obteremos dois novos ímãs, cada um deles com os polos norte e sul. Se repetirmos o mesmo processo, partindo mais uma vez um dos pedaços, obteremos outra vez dois novos ímãs, apesar de menores que os iniciais, como esquematizado na Fig.

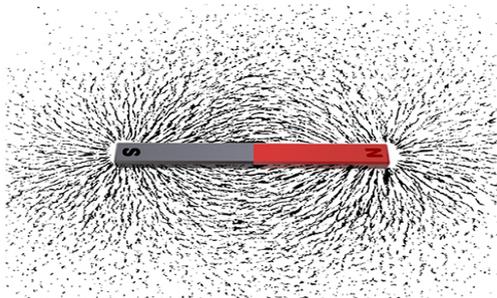


Mesmo que continuemos a quebrar esses ímãs em duas partes até o nível microscópico, surgirão dois novos ímãs com polos norte e sul. Até o momento, nunca foi encontrado um monopolo

magnético, ou seja, apenas um polo norte ou apenas um polo sul, isolado na natureza, apesar de existir monopolo elétrico (carga elétrica, positiva ou negativa, isolada).

## CAMPO MAGNÉTICO

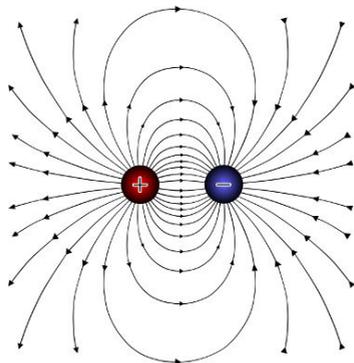
Quando você estudou eletrostática deve ter compreendido a ideia de campo elétrico, como uma região do espaço que se modifica pela presença de uma ou mais cargas elétricas. Teoricamente o campo elétrico tem alcance infinito; na prática, entretanto, podemos nos concentrar numa região de influências elétricas, ou seja, uma carga de prova inserida nessa região do espaço sofre ação de força elétrica não desprezível. Com o campo magnético a situação é bastante semelhante. Qualquer que seja a distância de um objeto de ferro a um ímã haverá interação entre eles, porém somente dentro da chamada "região de influências" do ímã essa interação será relevante, indicando, dessa forma, existência de campo magnético ao seu redor. A direção do campo magnético gerada por um ímã pode ser revelada com o auxílio de limalhas de ferro ou de uma bússola. A agulha magnética da bússola, por ser imantada, se alinha com a direção de um campo magnético existente na posição em que for colocada. A Figura abaixo mostra um ímã em barra e pequenas agulhas magnéticas que adquirem a mesma direção do campo magnético em torno desse ímã, demonstrando o padrão de orientação do campo magnético. Na Fig. vê-se uma fotografia de limalhas de ferro em torno de um ímã.



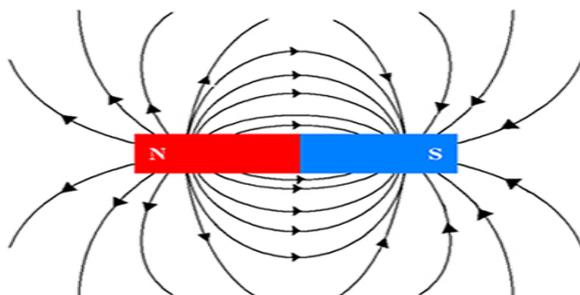
As limalhas se comportam como minúsculas bússolas e também se alinham com a direção do campo magnético. O padrão de distribuição das agulhas e das limalhas de ferro em volta do ímã nos leva a introduzir a ideia de “linhas de campo magnético” ou “linhas de indução magnética”, que são entidades geométricas utilizadas para representar a orientação de um campo magnético. Para identificar o sentido das linhas de indução pode-se usar uma bússola, como na Fig. Abaixo, o norte da agulha magnética indica o sentido do campo gerado pelo ímã em cada posição em que a bússola é colocada.



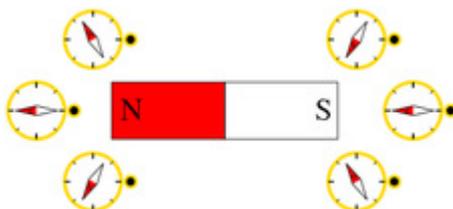
A ideia das linhas de campo magnético é muito semelhante à das linhas de campo elétrico (ou linhas de força), que são linhas imaginárias tangentes ao campo elétrico existente em cada ponto da região do espaço representada. A orientação das linhas de força é estabelecida pela força elétrica que atuaria sobre uma carga de prova positiva que fosse colocada em algum ponto desse campo elétrico. Então, se uma carga de prova positiva for inserida em algum ponto do campo elétrico. A força elétrica sobre ela estará orientada radialmente e se afastando da carga; as linhas de força, portanto, acompanham essa orientação. Dessa forma, fica fácil compreender que se a carga geradora do campo elétrico for negativa, as linhas de força estarão orientadas radialmente se aproximando dela, uma vez que a carga de prova positiva será atraída pela carga geradora, negativa. As linhas de força para um dipolo elétrico podem ser vistas na Fig. Abaixo.



Como não foram observados monopolos magnéticos, a configuração mais simples que existe para a linha de indução magnética é a mostrada.



Por convenção, costuma-se dizer que elas saem do polo Norte e chegam ao polo Sul, na parte externa do ímã, enquanto saem do Sul e chegam ao Norte na parte interna. As duas bússolas mostradas na fotografia da Fig. abaixo possibilitam conhecer em qual extremidade do ímã está o polo norte e o polo sul.



Sabendo que a extremidade vermelha das agulhas magnéticas aponta para o norte da Terra na ausência de qualquer outro campo magnético, e lembrando que polos magnéticos de tipos diferentes se atraem, inferimos que a extremidade direita do ímã é o polo sul, uma vez que está atraindo o polo norte magnético da bússola. Consequentemente, na extremidade esquerda do ímã está o seu polo norte. Sendo assim, podemos afirmar que as linhas de indução desse campo magnético saem do polo esquerdo e vão no sentido do polo direito do ímã, em sua parte externa.

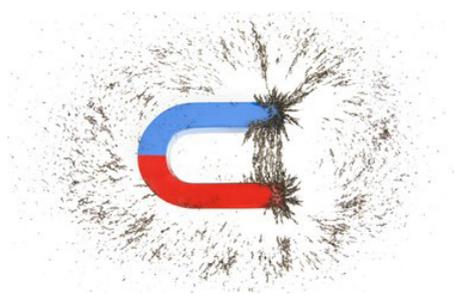
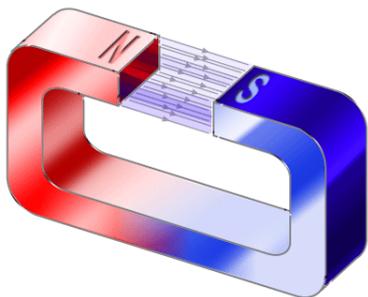
### **ATENÇÃO:**

As quatro características das linhas de indução magnética que serão citadas a seguir:

- (1) Por convenção, na parte externa do ímã as linhas saem do polo norte e vão no sentido do polo sul, enquanto na parte interna elas saem do sul e vão no sentido do norte.
- (2) As linhas de indução magnética tangenciam o campo magnético em cada ponto do espaço.
- (3) A concentração de linhas de indução magnética é maior, onde o campo magnético é mais intenso.
- (4) Duas linhas de indução magnética nunca se cruzam. Se isso fosse possível, haveria no ponto de intersecção duas possíveis direções para o campo magnético. Isso seria o mesmo que dizer que uma bússola colocada nesse ponto, poderia se alinhar em duas diferentes direções de campo magnético.

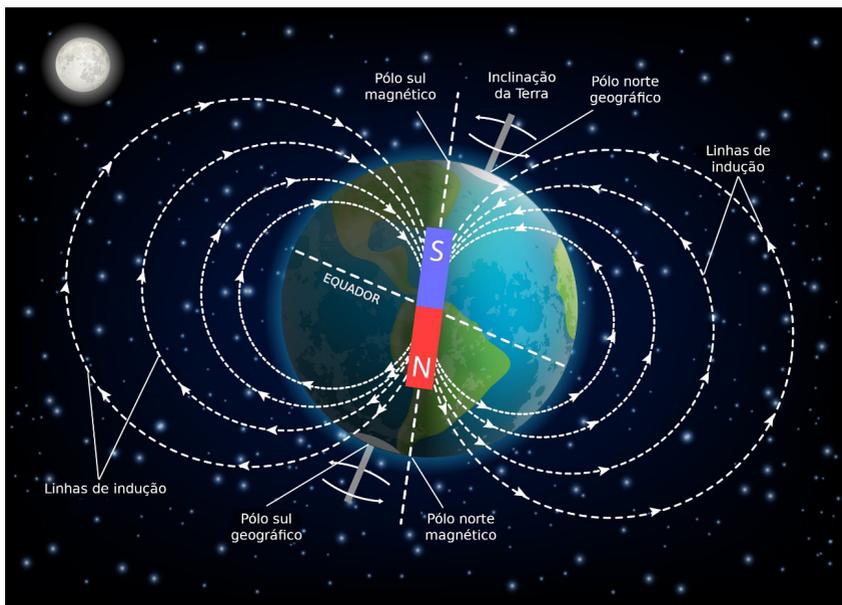
### **CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME**

Entre os “braços” de um ímã em forma de “U”, pode-se observar que o vetor campo magnético é uniforme, ou seja, possui mesmo módulo, direção e sentido.



## CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA

A Terra se comporta como se fosse um grande ímã. Possui campo magnético que pode ser representado por linhas de indução que saem do polo magnético norte e chegam ao polo magnético sul.

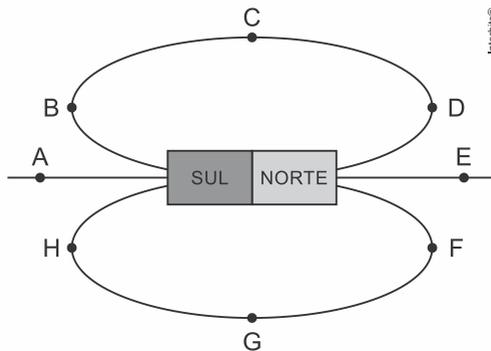


Analisando a Fig., percebemos que as linhas de indução saem de uma região próxima ao polo Sul da Terra e entram em outra próxima ao polo norte terrestre. Dessa forma, fica fácil compreender a razão pela qual a extremidade norte da agulha imantada de uma bússola

aponta para o norte terrestre: é porque lá encontra-se o polo sul do campo magnético da Terra, e polos magnéticos de tipos diferentes se atraem. Uma bússola não aponta exatamente para o norte da Terra, mas sim para uma região muito próxima. Isso ocorre pelo fato de que o eixo de rotação da Terra e o eixo magnético não coincidem. O desvio entre o norte geográfico e a orientação da bússola chama-se declinação magnética. Atualmente, a ideia mais aceita para a existência do campo magnético terrestre é de que há corrente elétrica no centro da Terra e seu campo é semelhante ao gerado por uma espira circular percorrida por corrente elétrica, assunto que será abordado nas próximas aulas.

### EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

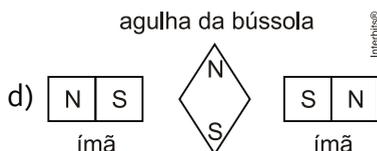
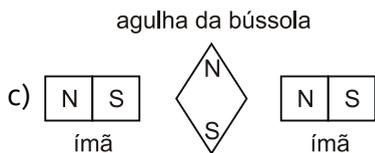
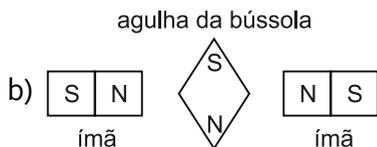
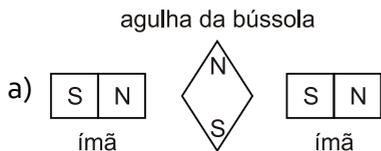
1. (Uefs 2018) A figura representa um ímã em forma de barra, seus dois polos magnéticos Norte e Sul e algumas linhas de indução, contidas no plano da figura, do campo magnético criado pelo ímã. Sobre essas linhas estão assinalados os pontos de A até H.



Desprezando a ação de quaisquer outros campos magnéticos, o vetor campo magnético criado por esse ímã tem a mesma direção e o mesmo sentido em

- a) B e H.    b) B e D.    c) E e G.    d) A e C.    e) D e H.

2. (Uern 2012) A agulha de uma bússola ao ser colocada entre dois ímãs sofre um giro no sentido anti-horário. A figura que ilustra corretamente a posição inicial da agulha em relação aos ímãs é



3. (Unesp 2019) A configuração do campo magnético terrestre causa um efeito chamado inclinação magnética. Devido a esse fato, a agulha magnética de uma bússola próxima à superfície terrestre, se estiver livre, não se mantém na horizontal, mas geralmente inclinada em relação à horizontal (ângulo  $\alpha$ , na figura 2). A inclinação magnética é mais acentuada em regiões de maiores latitudes. Assim, no equador terrestre a inclinação magnética fica em torno de  $0^\circ$ , nos polos magnéticos é de  $90^\circ$ , em São Paulo é de cerca de  $20^\circ$ , com o polo norte da bússola apontado para cima,

e em Londres é de cerca de  $70^\circ$ , com o polo norte da bússola apontado para baixo.

Figura 1

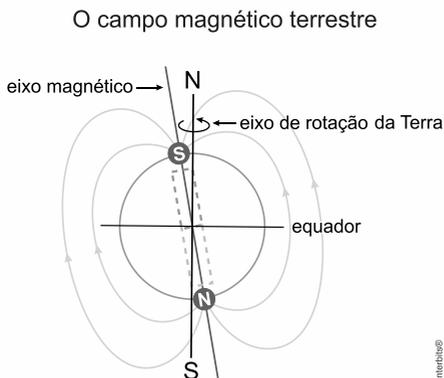
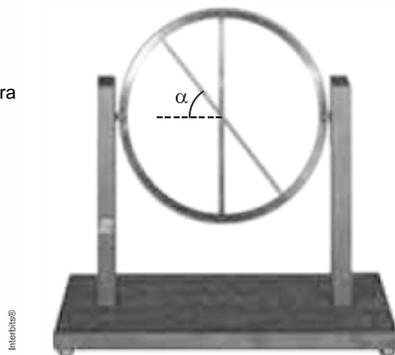


Figura 2

Bússola para medição da inclinação magnética



(<http://museu.fis.uc.pt>. Adaptado.)

Esse efeito deve-se ao fato de a agulha magnética da bússola alinhar-se sempre na direção

- perpendicular às linhas de indução do campo magnético da Terra e ao fato de o polo norte magnético terrestre estar próximo ao polo sul geográfico da Terra.
- tangente à Linha do Equador e ao fato de o eixo de rotação da Terra coincidir com o eixo magnético que atravessa a Terra.
- tangente às linhas de indução do campo magnético da Terra e ao fato de o polo norte magnético terrestre estar próximo ao polo norte geográfico da Terra.
- tangente às linhas de indução do campo magnético da Terra e ao fato de o polo norte magnético terrestre estar próximo ao polo sul geográfico da Terra.
- paralela ao eixo magnético terrestre e ao fato de o polo sul magnético terrestre estar próximo ao polo norte geográfico da Terra.

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

1. (Mackenzie 2018) Considere as seguintes afirmações.

- I. Quando se coloca um ímã em contato com limalha (fragmentos) de ferro, estes não aderem a ele em toda a sua extensão, mas predominantemente nas regiões próximas das extremidades.
- II. Cortando-se um ímã em duas partes iguais, que por sua vez podem ser redivididas em outras tantas, observa-se que cada uma dessas partes constitui um novo ímã, que embora menor tem sempre dois polos.
- III. Polos de mesmo nome se atraem e de nomes diferentes se repelem.

Com relação às afirmações, podemos dizer que

- a) apenas I é correta.
- b) apenas I e II são corretas.
- c) apenas I e III são corretas.
- d) apenas II e III são corretas.
- e) todas são corretas.

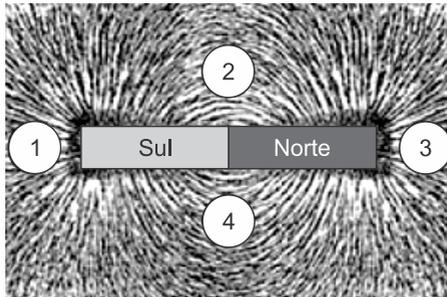
2. (Mackenzie 2018) Considere as seguintes afirmações.

- I. A denominação de Polo Norte de um ímã é a região que se volta para o Norte geográfico da Terra e Polo Sul a região que volta para o Sul geográfico da Terra.
- II. Ímãs naturais são formados por pedras que contém óxido de ferro ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), denominadas magnetitas.
- III. Ímãs artificiais são obtidos a partir de processos denominados imantação.

Com relação às afirmações, podemos dizer que

- a) apenas I é correta.
- b) apenas I e II são corretas.
- c) apenas I e III são corretas.
- d) apenas II e III são corretas.
- e) todas são corretas.

3. (Unesp 2016) Um ímã em forma de barra, com seus polos Norte e Sul, é colocado sob uma superfície coberta com partículas de limalha de ferro, fazendo com que elas se alinhem segundo seu campo magnético. Se quatro pequenas bússolas, 1, 2, 3 e 4, forem colocadas em repouso nas posições indicadas na figura, no mesmo plano que contém a limalha, suas agulhas magnéticas orientam-se segundo as linhas do campo magnético criado pelo ímã.



(www.grupoescolar.com. Adaptado.)

Desconsiderando o campo magnético terrestre e considerando que a agulha magnética de cada bússola seja representada por uma seta que se orienta na mesma direção e no mesmo sentido do vetor campo magnético associado ao ponto em que ela foi colocada, assinale a alternativa que indica, correta e respectivamente, as configurações das agulhas das bússolas 1, 2, 3 e 4 na situação descrita.

- a)
- b)
- c)
- d)
- e)

4. (Fgv 2015) Desde tempos remotos, muito se especulou acerca da origem e, principalmente, das características do campo magnético terrestre. Recentes pesquisas, usando sondas espaciais, demonstram que o campo magnético terrestre

- a) limita-se a uma região de seu entorno chamada magnetosfera, fortemente influenciada pelo Sol.
- b) limita-se a uma região de seu entorno chamada magnetosfera, fortemente influenciada pela Lua.
- c) é constante ao longo de toda a superfície do planeta, sofrendo forte influência das marés.
- d) é constante ao longo de toda a superfície do planeta, mas varia com o inverso do quadrado da distância ao seu centro.
- e) é produzido pela crosta terrestre a uma profundidade de 5 a 30km e é fortemente influenciado pela temperatura reinante na atmosfera.

5. (Fgv 2017) O comportamento magnético dos corpos costuma causar grandes dúvidas e curiosidades nas pessoas. Sobre este tema, é correto afirmar que

- a) cargas elétricas em repouso geram ao seu redor um campo magnético.
- b) um ímã sujeito a altas temperaturas tende a perder suas propriedades magnéticas.
- c) é possível obter um único polo magnético isolado quebrando-se um ímã em dois pedaços iguais.
- d) ímãs elementares em uma mesma barra metálica magnetizada assumem orientações diversas.
- e) em uma onda eletromagnética os vetores que indicam os campos elétrico e magnético em determinado ponto são paralelos.

## CAPÍTULO 13 - CAMPO MAGNÉTICO



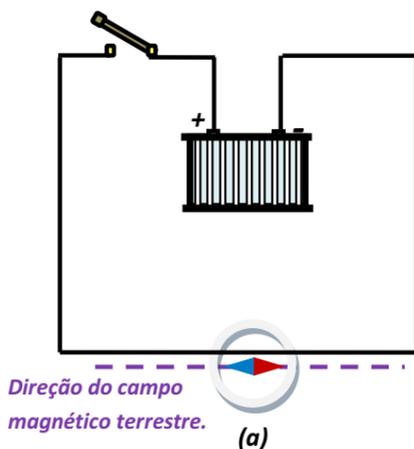
Quando analisamos a matéria em nível microscópico, podemos considerar que um elétron, ao descrever uma órbita circular ao redor do núcleo, gera uma pequena intensidade de corrente elétrica, que cria ao seu redor um campo magnético. Dessa forma, podemos dizer que o movimento orbital do elétron é um dos responsáveis pela origem do campo magnético em alguns materiais. O magnetismo da matéria será estudado mais detalhadamente posteriormente, mas podemos adiantar que outro fator que origina campo magnético em determinados materiais é uma grandeza chamada momento magnético intrínseco, também denominada spin.

Um campo magnético também pode ser originado variando o campo elétrico ao longo de uma espira, mas, por ora, vamos considerar apenas a geração de campo magnético ao redor de um fio condutor percorrido por corrente elétrica. Hans Christian Oersted, em 1820, realizou uma experiência que demonstra uma forte ligação entre eletricidade e magnetismo. Em uma de suas aulas de ciências naturais, enquanto mostrava o aquecimento produzido em um fio condutor devido à passagem de corrente elétrica, percebeu que a agulha de sua bússola, que estava próxima à experimentação, sofria deflexão.

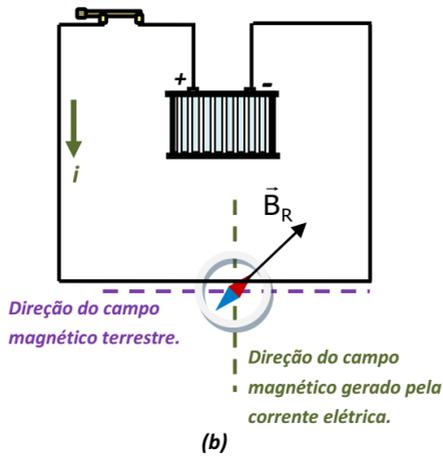
Após certo período de estudo, Oersted afirmou que a passagem de corrente elétrica através do fio estava criando um campo magnético no espaço ao seu redor que, associado ao campo magnético da Terra,

desviava a agulha da bússola em certa direção. Estudos posteriores levaram à conclusão que sempre que uma corrente elétrica atravessar um condutor, independente do seu formato, cria-se ao seu redor um campo magnético. Na verdade, basta que haja o movimento de cargas elétricas para que seja criado um campo magnético, sem a necessidade de um condutor. Como corrente elétrica é o movimento ordenado de cargas elétricas, a passagem de corrente em um fio gera campo magnético, como observado por Oersted.

Podemos inferir que além de ímãs, movimentos de cargas elétricas (ou correntes elétricas) também podem ser considerados fontes de campo magnético. A figura abaixo mostra esquematicamente um circuito elétrico bastante simples, contendo uma bateria (gerador), fios de ligação e uma chave interruptora aberta, que impede a passagem de corrente elétrica pelo circuito.

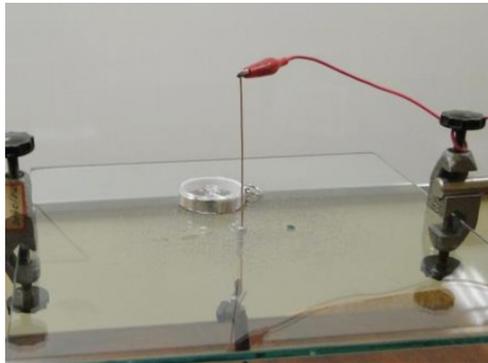


Uma bússola está posicionada embaixo de um dos fios do circuito e encontra-se alinhada com o campo magnético terrestre. Quando a chave interruptora é fechada, corrente elétrica passa pelo circuito e gera campo magnético perpendicular ao fio condutor que, somado ao campo magnético da Terra, deflete a agulha em determinada direção. Veja a figura:



### CAMPO MAGNÉTICO AO REDOR DE UM FIO RETILÍNEO

Um fio condutor, retilíneo e longo, está disposto perpendicularmente a um plano horizontal como mostra a figura abaixo. Fazendo corrente elétrica passar pelo fio, criamos campo magnético ao redor desse condutor. A direção do campo magnético gerado pela corrente elétrica pode ser observada com o auxílio de limalhas de ferro distribuídas sobre o plano horizontal.

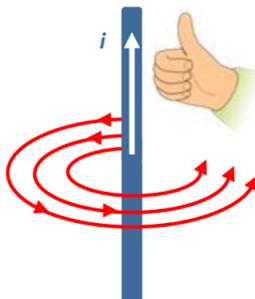


As limalhas se alinharão com a direção do campo magnético em cada posição do plano, e seu padrão de distribuição representará as linhas de campo. O alinhamento das limalhas ocorre porque o ferro,

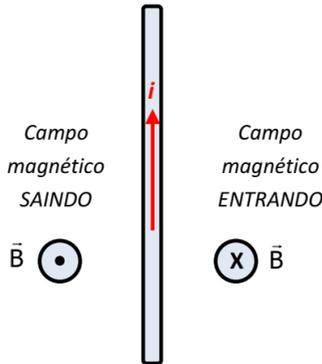
na presença de campo magnético externo razoavelmente forte, se magnetiza e passa a se comportar de forma semelhante à agulha magnética de uma bússola. Como podemos observar na abaixo, as linhas de campo magnético são circunferências concêntricas (possuem o mesmo centro) no plano horizontal, estando o fio no centro dessas curvas. Se uma bússola for movimentada ao redor do fio, a agulha magnética mudará de orientação, indicando que o sentido do campo magnético é diferente em cada posição.



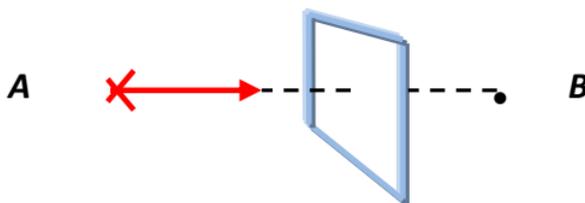
O sentido dessas linhas de campo geradas ao redor do fio pode ser determinado através de uma regra prática, chamada de **regra da mão direita**, em que o polegar aponta no sentido convencional da corrente elétrica e os demais dedos envolvem o condutor, revelando a orientação das linhas de campo magnético, como mostra a figura abaixo.



Usando a regra da mão direita para um fio retilíneo estendido no plano da página, vamos obter o campo magnético entrando nesse plano de um lado do fio e saindo do outro. Para simbolizar uma grandeza física que está perpendicular a um plano e entrando nele, utilizamos o símbolo "x"; e para representar uma grandeza perpendicular a um plano e saindo dele, utilizamos o símbolo "•". Veja a figura abaixo.



Vale destacar que essa simbologia é uma maneira de representar uma flecha (representação de um vetor) que entra ou sai perpendicularmente de um plano. A Fig. Abaixo mostra esquematicamente uma flecha e dois observadores, A e B.



O observador A enxerga a parte de trás da flecha (com forma de "x"), e a flecha entrando em num plano. Já o observador B enxerga a parte da frente da flecha (com forma de "•") e saindo do plano. A determinação da intensidade do campo magnético em um ponto **P**, afastado de uma distância  $r$  do fio condutor, é dada pela Lei de Ampère. A intensidade do campo magnético gerado por um fio

longo é proporcional a  $(i / 2\pi r)$ . A constante de proporcionalidade é a chamada permeabilidade magnética, que depende do meio em que existe o campo magnético. No vácuo, a permeabilidade,  $\mu_0$ , tem valor  $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} / \text{A}$ .

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \cdot i}{2\pi r}$$

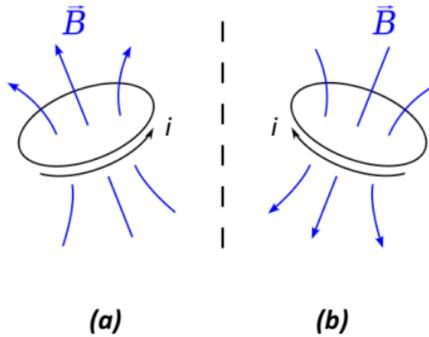
A unidade de medida de campo magnético, no Sistema Internacional, é o tesla (T), em homenagem a Nikola Tesla, cientista que contribuiu com estudos na área do Eletromagnetismo.

### CAMPO MAGNÉTICO NUMA ESPIRA CIRCULAR

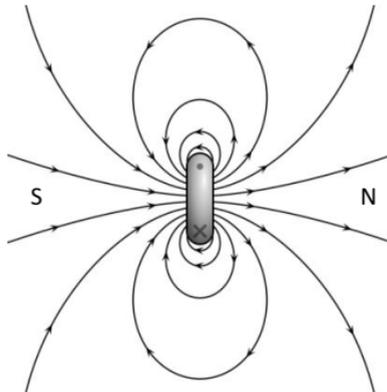
Um fio condutor curvado de modo a formar um anel circular é o que se denomina de espira circular. Quando esse condutor for percorrido por corrente elétrica, certamente será gerado campo magnético no espaço ao seu redor e as linhas de campo magnético tomarão a configuração mostrada na figura abaixo.



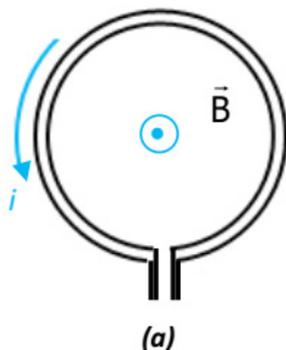
A orientação das linhas de campo magnético ao redor da espira circular também pode ser determinada através da **regra da mão direita**, como mostra a Fig. (a) e (b).



A Figura abaixo mostra, de perfil, uma espira circular percorrida por corrente elétrica e as linhas de campo magnético geradas. Percebe-se que as linhas descrevem uma trajetória fechada, semelhante às de ímã em forma de barra. Dessa forma, podemos inferir que esse condutor se comporta como se possuísse em uma de suas faces um polo magnético norte, e na outra face, um polo magnético sul.

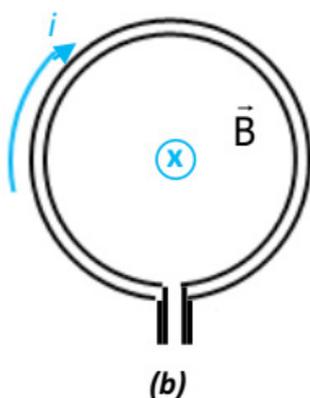


Na figura considerada, a face direita se comporta como polo norte, uma vez que as linhas de campo magnético saem por essa região, enquanto a face da esquerda é a face sul, já que as linhas de campo entram por essa região. Quando o plano da espira está voltado para o observador, pode-se estabelecer a polaridade magnética das faces da espira analisando o sentido da corrente elétrica. A Fig. (a) mostra uma espira circular sendo percorrida por corrente elétrica no sentido anti-horário.



Utilizando a regra da mão direita, percebemos que as linhas de campo magnético estão saindo por essa face da espira, indicando a existência de um polo magnético norte, pois, como foi estudado no capítulo anterior, as linhas de campo magnético saem do polo norte de um ímã, na parte externa desse condutor.

Já na Fig. (b), a situação é oposta. Corrente elétrica percorre a espira no sentido horário, gerando linhas de campo que entram pela face da espira voltada para o observador, indicando a existência de um polo magnético sul.



A intensidade do campo magnético no centro da espira circular é diretamente proporcional à intensidade da corrente elétrica e inversamente proporcional ao raio ( $r$ ) da espira e pode ser

determinada por:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2r}$$

### CAMPO MAGNÉTICO EM UM SOLENOIDE

Quando um fio retilíneo for curvado em forma de hélice ou espiral, adotará a forma de um solenoide. Se passar corrente elétrica por este condutor, o campo magnético apresentará a configuração mostrada na Figura abaixo.



A orientação das linhas de campo magnético também é obtida a partir da regra da mão direita. Ao aplicar a regra, percebe-se que no interior do solenoide as linhas de campo são praticamente paralelas, igualmente espaçadas e de mesmo sentido, caracterizando um campo magnético praticamente uniforme nessa região. Na parte externa do solenoide, o campo é bastante intenso nas extremidades, o que pode ser confirmado pela concentração de linhas de campo nesta região.

Longe das extremidades, o campo magnético é muito fraco se considerarmos um solenoide real; já se estivermos considerando

um solenoide ideal (comprimento muito maior que o diâmetro das espiras), o campo magnético é nulo. O comportamento desse condutor, quando percorrido por corrente elétrica é semelhante a um ímã em forma de barra, possuindo em uma de suas extremidades um polo magnético norte, e na outra extremidade, um polo magnético sul. A extremidade do solenoide que possui linhas de campo entrando nessa região se caracteriza por um polo magnético **sul**, enquanto que a extremidade que possui linhas saindo, se comporta como polo magnético **norte**.

A intensidade do campo magnético no interior do solenoide é diretamente proporcional à intensidade da corrente elétrica ( $i$ ) e ao número ( $n$ ) de espiras que compõem esse condutor, e ainda inversamente proporcional ao comprimento ( $l$ ) do solenoide. Pode-se determinar tal intensidade através de:

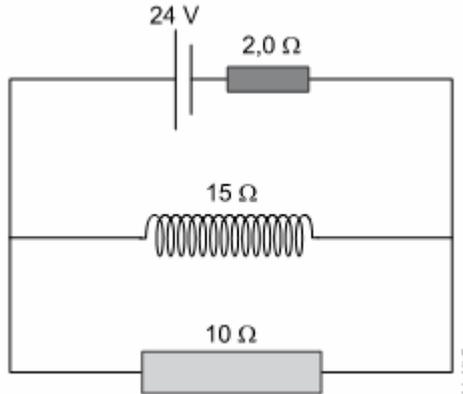
$$B = \frac{\mu_0 \cdot n \cdot i}{l}$$

Podemos, portanto, atingir altos valores de campo magnético com o uso de um solenoide; basta, para isso, utilizar um solenoide com um grande número de espiras e com altos valores de corrente elétrica. Se no interior de um solenoide for inserido um material ferromagnético (podemos considerar um material ferromagnético como um objeto de ferro), constitui-se um eletroímã, e o campo magnético gerado torna-se bem maior. Um eletroímã é bastante utilizado para o transporte e seleção de sucatas de ferro, em disjuntores, amplificadores de música, caixas de som, fechaduras magnéticas, campainhas elétricas, etc.

## EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

A figura e o texto a seguir referem-se à(s) questão(ões) a seguir:



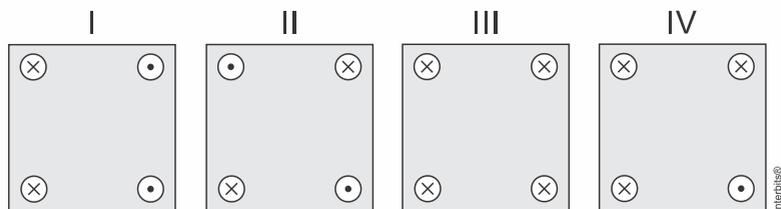
A figura representa um circuito em que consta um gerador de corrente contínua de força eletromotriz  $24\text{ V}$  e resistência interna de  $2,0\ \Omega$ . O gerador alimenta uma associação em paralelo de um resistor ôhmico de  $10\ \Omega$  e um solenoide com certos comprimento e número de espiras, com resistência ôhmica de  $15\ \Omega$ .

1. (Fgv 2018) Se o solenoide for substituído por outro, de comprimento duas vezes maior e com o dobro do número de espiras, mas apresentando a mesma resistência elétrica, o campo magnético no interior do novo solenoide, gerado pela corrente elétrica, terá sua intensidade, em relação ao valor inicial,

- a) quadruplicada.
- b) duplicada.
- c) mantida.
- d) reduzida à metade.
- e) reduzida à quarta parte.

2. (Fuvest 2017) As figuras representam arranjos de fios longos, retilíneos, paralelos e percorridos por correntes elétricas de mesma

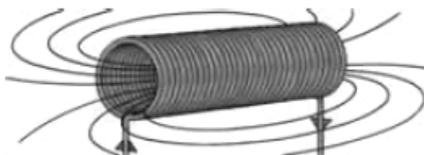
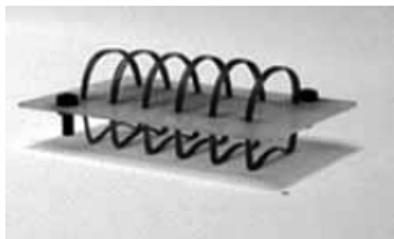
intensidade. Os fios estão orientados perpendicularmente ao plano desta página e dispostos segundo os vértices de um quadrado. A única diferença entre os arranjos está no sentido das correntes: os fios são percorridos por correntes que entram  $\otimes$  ou saem  $\odot$  do plano da página.



O campo magnético total é nulo no centro do quadrado apenas em

- a) I.
- b) II.
- c) I e II.
- d) II e III.
- e) III e IV.

3. (Fgv 2017) As figuras representam dois exemplos de solenoides, dispositivos que consistem em um fio condutor enrolado. Tal enrolamento pode se dar em torno de um núcleo feito de algum material ou, simplesmente, no ar. Cada volta de fio é denominada espira.



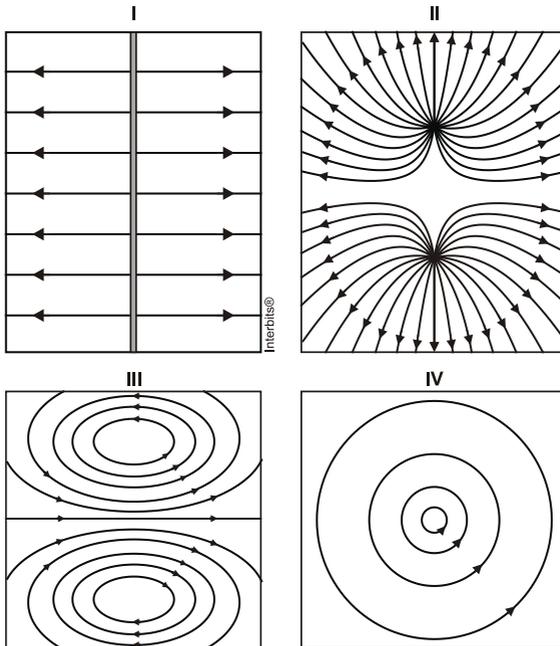
(labdemo.if.usp.br)

A passagem de uma corrente elétrica através desse fio cria, no interior do solenoide, um campo magnético cuja intensidade

- a) é diretamente proporcional ao quadrado da intensidade da corrente elétrica e ao comprimento do solenoide.
- b) é diretamente proporcional à densidade das espiras, ou seja, ao número de espiras por unidade de comprimento.
- c) é diretamente proporcional ao número total de espiras do solenoide e ao seu comprimento.
- d) independe da distância entre as espiras, mas depende do material de que é feito o núcleo.
- e) é a maior possível quando o material componente do núcleo é diamagnético ou paramagnético.

### EXERCÍCIOS PROPOSTOS

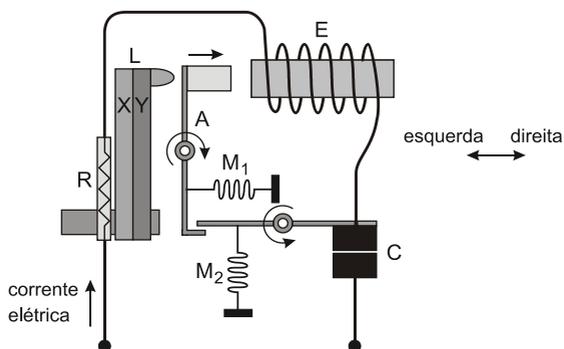
1. (Fuvest 2012) Em uma aula de laboratório, os estudantes foram divididos em dois grupos. O grupo A fez experimentos com o objetivo de desenhar linhas de campo elétrico e magnético. Os desenhos feitos estão apresentados nas figuras I, II, III e IV abaixo.



Aos alunos do grupo B, coube analisar os desenhos produzidos pelo grupo A e formular hipóteses. Dentre elas, a única correta é que as figuras I, II, III e IV podem representar, respectivamente, linhas de campo

- eletrostático, eletrostático, magnético e magnético.
- magnético, magnético, eletrostático e eletrostático.
- eletrostático, magnético, eletrostático e magnético.
- magnético, eletrostático, eletrostático e magnético.
- eletrostático, magnético, magnético e magnético.

2. (Unesp 2014.) A figura é o esquema simplificado de um disjuntor termomagnético utilizado para a proteção de instalações elétricas residenciais. O circuito é formado por um resistor de baixa resistência  $R$ ; uma lâmina bimetálica  $L$ , composta pelos metais  $X$  e  $Y$ ; um eletroímã  $E$ ; e um par de contatos  $C$ . Esse par de contatos tende a abrir pela ação da mola  $M_2$ , mas o braço atuador  $A$  impede, com ajuda da mola  $M_1$ . O eletroímã  $E$  é dimensionado para atrair a extremidade do atuador  $A$  somente em caso de corrente muito alta (curto circuito) e, nessa situação,  $A$  gira no sentido indicado, liberando a abertura do par de contatos  $C$  pela ação de  $M_2$ .



De forma similar,  $R$  e  $L$  são dimensionados para que esta última não toque a extremidade de  $A$  quando o circuito é percorrido por uma corrente até o valor nominal do disjuntor. Acima desta, o aquecimento leva o bimetal a tocar o atuador  $A$ , interrompendo

o circuito de forma idêntica à do eletroímã.

(www.mspsc.eng.br. Adaptado.)

Na condição de uma corrente elevada percorrer o disjuntor no sentido indicado na figura, sendo  $\alpha_x$  e  $\alpha_y$  os coeficientes de dilatação linear dos metais X e Y, para que o contato C seja desfeito, deve valer a relação \_\_\_\_\_ e, nesse caso, o vetor que representa o campo magnético criado ao longo do eixo do eletroímã apontará para a \_\_\_\_\_.

Os termos que preenchem as lacunas estão indicados correta e respectivamente na alternativa

- a)  $\alpha_x > \alpha_y$  ... esquerda.
- b)  $\alpha_x < \alpha_y$  ... esquerda.
- c)  $\alpha_x > \alpha_y$  ... direita.
- d)  $\alpha_x = \alpha_y$  ... direita.
- e)  $\alpha_x < \alpha_y$  ... direita.

3. (Uece 2019) Se um fio metálico retilíneo estiver conduzindo corrente elétrica e for aproximado à parte superior de uma bússola,

- a) o ponteiro da bússola se alinha com a perpendicular do fio.
- b) o ponteiro da bússola se alinha em paralelo ao fio.
- c) o ponteiro da bússola se alinha em uma posição intermediária entre as direções paralela e perpendicular ao fio.
- d) a bússola não é afetada pela corrente elétrica.

4. (Uece 2018) O módulo do vetor campo magnético gerado por uma corrente elétrica constante passando por um fio retilíneo depende da distância do ponto de medição do campo ao fio. Assim, é correto afirmar que a direção desse vetor é

- a) perpendicular ao fio somente para um dos sentidos da corrente.
- b) perpendicular ao fio independente do sentido da corrente.

- c) paralela ao fio independente do sentido da corrente.
- d) paralela ao fio somente para um dos sentidos da corrente.

5. (Ebmsp 2018) Na Antiguidade e na Idade Média, a magnetita o ímã natural, era usada como remédio para várias doenças. A influência de um campo magnético no organismo humano tem sido investigada, sistematicamente, desde 1950. A aplicação principal da magnetita, em medicina, consiste na obtenção de imagens de secções através do corpo, MRI, sem ter de expor o paciente a radiações prejudiciais, tais como raio X.

Disponível em: <<https://donaatraente.wordpress.com>>. Acesso em: ago. 2017.

Sobre o comportamento e a geração de um campo magnético, utilizado na obtenção de imagens, é correto afirmar:

- a) As cargas elétricas em movimento em um meio, cuja permeabilidade magnética é  $\mu_0$ , originam, no seu entorno, exclusivamente campos magnéticos.
- b) As linhas de indução magnética na região interna de um ímã em forma de uma barra orientam-se do polo magnético norte para o polo magnético sul.
- c) A configuração das linhas de indução magnética de um solenoide longo, em forma de uma hélice cilíndrica, quando percorrido por uma corrente, é idêntica à configuração das linhas de força de um dipolo elétrico.
- d) A intensidade do vetor indução magnética no centro de uma bobina chata de N espiras de raio R, quando percorrida por uma

corrente elétrica de intensidade  $i$ , é igual a  $N \frac{\mu_0 i}{2\pi R}$  sendo  $\mu_0$  a permeabilidade magnética do meio.

e) A intensidade do vetor indução magnética no centro de uma espira com a forma de uma semicircunferência de raio R, percorrida por uma corrente elétrica de intensidade  $i$  e imersa em um meio

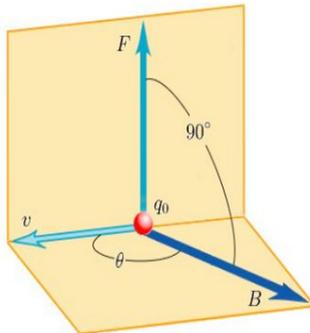
de permeabilidade magnética  $\mu_0$  é igual a  $\frac{\mu_0 i}{4R}$ .

## CAPÍTULO 14 - FORÇA MAGNÉTICA SOBRE CARGAS ELÉTRICAS

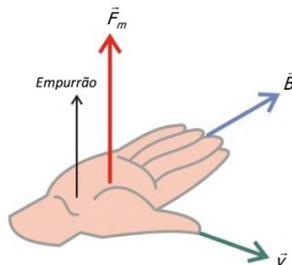


Quando uma carga elétrica se move em uma região do espaço onde existe um campo magnético, uma força magnética passa a atuar sobre ela. A força magnética, assim como todas as forças, só fica completamente especificada quando se conhece sua intensidade e orientação. Ou seja, a força é representada por um vetor e, portanto, possui módulo, direção e sentido.

a) DIREÇÃO: *considere o vetor campo magnético e o vetor velocidade da partícula num mesmo plano. A força magnética é sempre perpendicular a esse plano, como mostra a figura abaixo.*



b) SENTIDO: *o sentido da força magnética pode ser determinado pela regra da mão direita espalmada.*



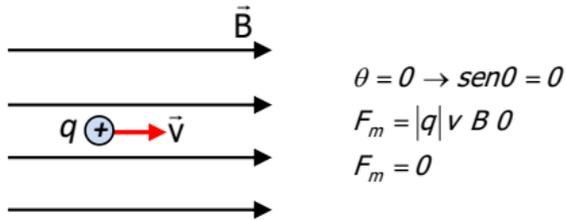
Com a mão direita espalmada, o polegar aponta no sentido da velocidade da carga elétrica e os demais dedos, no sentido do campo magnético. O tapa (ou empurrão) com a palma da mão indica o sentido da força magnética sobre uma carga elétrica **positiva**. Já o tapa com o dorso da mão indica o sentido da força magnética sobre uma carga elétrica **negativa**.

c) INTENSIDADE: *a intensidade da força magnética sobre cargas elétricas é dada por:*

$$F_m = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\theta$$

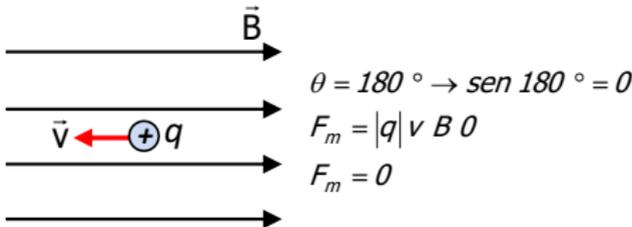
**Casos Particulares:**

A figura abaixo mostra uma carga elétrica positiva, com velocidade no mesmo sentido das linhas de indução do campo magnético. Dessa forma, o ângulo ( $\theta$ ) entre a velocidade ( $v$ ) e o campo magnético ( $B$ ) é igual a zero.



Como sabemos que  $\text{sen } 0^\circ = 0$ , concluímos que a força magnética sobre a partícula será nula.

A figura abaixo mostra uma carga elétrica em movimento no sentido contrário às linhas de campo magnético. Com isso, o ângulo  $\theta$  será igual a  $180^\circ$  e o  $\text{sen } \theta$ , portanto, será igual a zero. Sendo assim, mais uma vez a força magnética sobre a partícula será nula.



- Carga elétrica: somente partículas eletrizadas sofrem ação de força magnética. Um nêutron, por exemplo, lançado em direção a um campo magnético, nunca sofrerá ação de força magnética, pois possui carga elétrica igual a zero.

- Velocidade: se as cargas elétricas estão em repouso ou se movem na direção do campo magnético não sofrem ação de força magnética.

- Campo magnético: se o campo magnético deixar de atuar sobre a carga elétrica, ou se ele estiver alinhado com a direção do movimento, deixa de existir força magnética sobre ela.

- Direção de movimento: se a carga elétrica se movimentar na mesma direção do campo magnético, não haverá força magnética atuando sobre ela.

## MOVIMENTO DE CARGAS ELÉTRICAS EM CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME

***Dependendo da direção da velocidade de uma carga elétrica em relação ao campo magnético uniforme, podemos destacar três diferentes trajetórias para o movimento dessas cargas, para valores fixos de  $q$ ,  $v$  e  $B$ .***

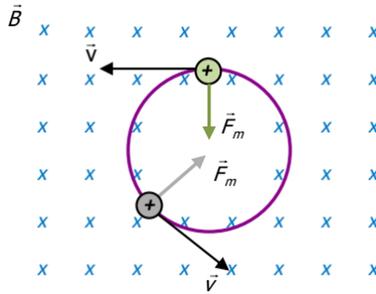
a) Velocidade paralela ao campo magnético

***Demonstramos anteriormente que uma carga elétrica não sofre ação de força magnética quando sua velocidade for paralela ao campo magnético. Dessa forma*** sem ação de forças sobre a partícula no interior do campo magnético, ela descreverá um movimento retilíneo uniforme.

b) Velocidade perpendicular ao campo magnético

Quando a velocidade da carga elétrica for perpendicular ao campo magnético ( $\theta = 90^\circ \rightarrow \text{sen } 90^\circ = 1$ ), a força magnética terá valor máximo, expresso por:  $F_m = qvB$ , impondo à partícula uma trajetória circular.

A força magnética estará sempre voltada para o centro da trajetória curvilínea, por isso se constituirá na força centrípeta do movimento circular uniforme, tendo o papel de alterar a direção do movimento, enquanto que o módulo da velocidade permanecerá constante. Veja figura abaixo:



Nessas condições, compreendendo que a força magnética será igual à força centrípeta, podemos escrever:  $F_m = F$

Conhecendo as equações da força magnética sobre cargas elétricas e da força centrípeta, podemos escrever:

$$|q|.v.B = m.\frac{v^2}{R}$$

Isolando o raio da trajetória circular, obteremos:

$$R = \frac{m.v}{|q|.B}$$

Portanto, percebemos que o raio da trajetória circular descrita por uma carga elétrica depende diretamente da massa e do módulo da velocidade da partícula, e inversamente do módulo da carga e do módulo do campo magnético em que ela está inserida.

Exemplo: Um próton e um elétron lançados com a mesma velocidade em direção perpendicular no campo magnético, sofrem desvios em sentidos opostos, já que essas partículas possuem sinais opostos. Em relação ao raio da trajetória circular, o próton apresenta raio bem maior, pois sua massa é 1836 vezes maior do que a massa do elétron.

O tempo necessário para uma partícula carregada completar uma volta (período do movimento) pode ser encontrado a partir do seguinte raciocínio:

- O módulo da velocidade de uma partícula em movimento circular é dado pela razão entre a distância que ela percorre em uma volta completa ( $2\pi R$ ) e o tempo gasto em percorrê-la, ou seja, seu período T:

$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{v}$$

Ou

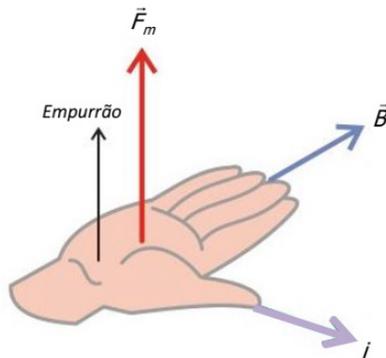
$$T = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{|q| \cdot B}$$

## FORÇA MAGNÉTICA SOBRE FIOS

Estudamos a força magnética exercida sobre uma carga elétrica em movimento no interior de um campo magnético. Neste capítulo, estenderemos nossos estudos à força magnética exercida sobre um fio condutor percorrido por corrente elétrica. De estudos anteriores, sabemos que corrente elétrica é formada por cargas elétricas em movimento ordenado num condutor. Sabemos também que cargas elétricas ao se movimentarem no interior de um campo magnético podem sofrer ação de força magnética. Dessa forma, esse raciocínio nos leva a conclusão de que um fio condutor percorrido por corrente elétrica (cargas elétricas em movimento) e imerso numa região onde existe um campo magnético, também poderá sofrer ação de força magnética.

***As principais características da força magnética exercida em fios percorridos por corrente elétrica são:***

- **DIREÇÃO:** a força magnética exercida sobre fios percorridos por corrente elétrica tem direção perpendicular ao plano formado pela direção do campo magnético e pelo fio que conduz a corrente elétrica, como representado na Fig.



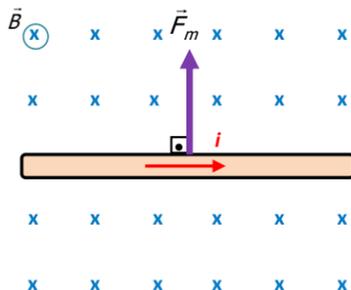
Essa figura já foi apresentada no capítulo anterior, mas consideramos anteriormente que para aplicação da regra do polegar deve apontar no sentido da velocidade de uma carga elétrica no interior de um campo magnético, e agora estamos considerando que o polegar deve apontar no sentido convencional da corrente elétrica (sentido contrário ao movimento de cargas elétricas negativas ou sentido igual ao movimento de cargas elétricas positivas).

**ATENÇÃO:** Apesar de atribuirmos um sentido para a corrente elétrica e a representarmos por uma seta, ela não é uma grandeza vetorial.

- **SENTIDO:** para determinar o sentido da força magnética, usa-se a regra da mão direita espalmada, ilustrada.

A figura abaixo mostra o sentido da força magnética exercida sobre um fio percorrido por corrente elétrica, imerso numa região de

campo magnético uniforme e perpendicular ao plano da página. Confira o sentido da força magnética utilizando a regra da mão direita espalmada.

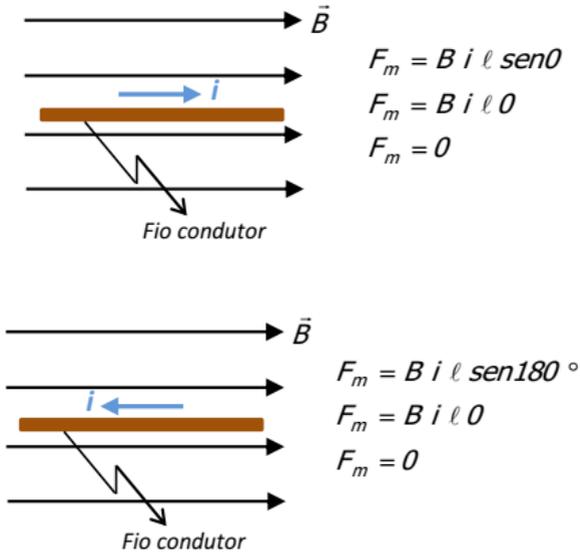


• **INTENSIDADE:** a intensidade da força magnética sobre condutores é expressa por:

$$F = B \cdot i \cdot l \cdot \text{sen}\theta$$

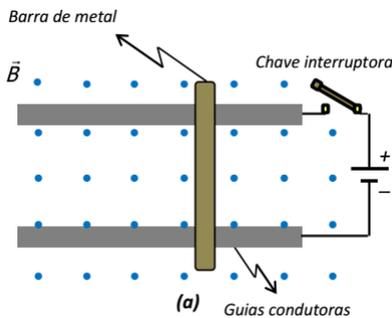
Onde  $B$  é a intensidade do campo magnético,  $i$  é a intensidade da corrente elétrica,  $l$  é o comprimento do condutor e  $\theta$  é o ângulo formado entre o campo magnético e a corrente elétrica. É importante ressaltar que  $B$  é a intensidade do campo magnético externo, e não a intensidade do campo magnético gerado pela corrente no fio.

**OBSERVAÇÃO:** Se as linhas de campo magnético estiverem na mesma direção da corrente elétrica, a força magnética sobre o fio será nula, como mostra a Fig. (a) e (b). Se o campo magnético for perpendicular à corrente elétrica ( $\theta = 90^\circ$ ), a força magnética sobre o fio condutor terá valor máximo, pois  $\text{sen}90^\circ = 1$ .



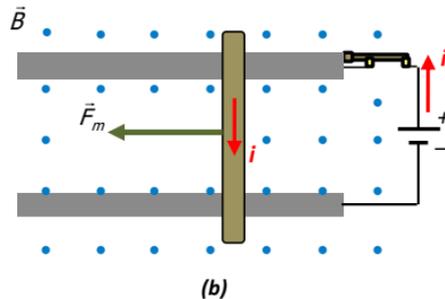
**EXEMPLO:**

Uma barra de metal está apoiada sobre um par de guias condutoras longas, separadas por uma determinada distância e imersas numa região onde existe um campo magnético uniforme, conforme a Fig. (a).



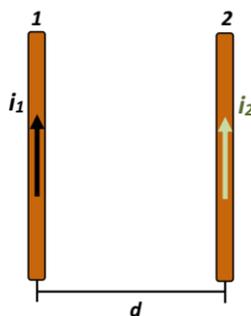
Quando a chave interruptora for ligada fazendo corrente elétrica percorrer o condutor, a força magnética sobre a barra de metal fará com que ela se movimente para direita ou para a esquerda?

Resposta: Aplicando a regra da mão direita espalmada, devemos apontar o polegar para baixo (sentido convencional da corrente elétrica) e os demais dedos saindo perpendicularmente do plano da figura (sentido do campo magnético). Com isso, perceberemos que o tapa com a palma da mão é dado para a esquerda, indicando o sentido da força magnética e, conseqüentemente, o sentido de movimento da barra de metal. Veja a Fig. (b).



### FORÇA MAGNÉTICA ENTRE DOIS FIOS PARALELOS

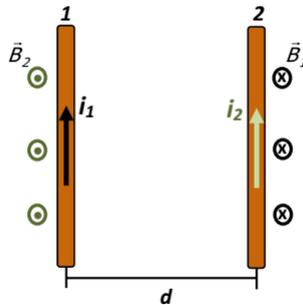
A figura abaixo mostra dois fios retilíneos, longos, paralelos, separados por uma determinada distância e percorridos por corrente elétrica.



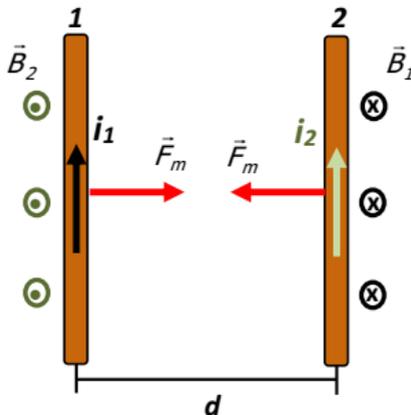
*Como já estudamos anteriormente, passagem de corrente elétrica por um condutor gera campo magnético no espaço ao seu redor. Sendo assim, podemos considerar que o campo magnético gerado pela corrente elétrica que passa pelo fio condutor 1 atua sobre o fio 2 e vice-versa. Se utilizarmos a regra da mão direita,*

perceberemos que o campo magnético gerado pela corrente que passa pelo fio 1 é perpendicular ao plano da página e entrando ao redor do fio 2.

Utilizando o mesmo procedimento para o fio 2, perceberemos que o campo magnético gerado pela corrente que circula por ele é perpendicular ao plano da página e saindo ao redor do fio 1, como representado na figura abaixo,



Adotando agora a regra da mão direita espalmada para determinar o sentido da força magnética que é exercida em cada um dos fios, percebemos que ocorre atração entre eles, como mostra a figura abaixo.



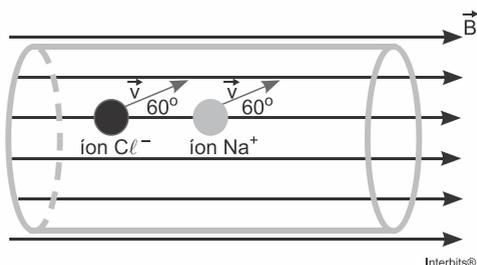
Sendo assim, podemos concluir que:

**QUANDO DOIS FIOS PARALELOS FOREM PERCORRIDOS POR CORRENTE ELÉTRICA DE MESMO SENTIDO, SURGIRÁ ENTRE ELES FORÇA MAGNÉTICA ATRATIVA. JÁ SE OS SENTIDOS DAS CORRENTES ELÉTRICAS FOREM CONTRÁRIOS, SURGIRÁ ENTRE OS FIOS FORÇA MAGNÉTICA REPULSIVA.**

As forças magnéticas exercidas nos fios 1 e 2 formam par ação-reação, já estudado nas leis de Newton. Portanto, a força magnética exercida sobre o fio 1 sempre possui a mesma intensidade, mesma direção, porém sentido contrário à força magnética exercida sobre o fio 2.

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

1. (Ebmsp 2016)



A figura representa o trecho de uma artéria de formato cilíndrico, em perspectiva longitudinal, na qual fluem plasmas sanguíneos que contêm, predominantemente, os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  imersos na região de um campo magnético uniforme de intensidade  $B$ .

Desprezando-se a força de resistência viscosa do plasma sanguíneo e admitindo-se que as velocidades dos íons têm módulos iguais

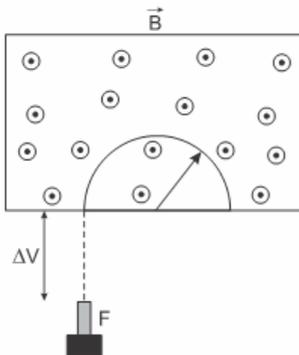
a v e que as direções formam um ângulo de  $60^\circ$  com as linhas de indução magnética, é correto afirmar que os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , submetidos à ação de uma força magnética descrevem

- a) movimentos circulares de raios iguais.
- b) movimentos espirais de sentidos opostos.
- c) trajetórias helicoidais uniformes de raios iguais.
- d) trajetórias helicoidais uniformes, de sentidos opostos, com respectivos raios de, aproximadamente,  $R_{\text{Na}^+}$  e  $1,6 R_{\text{Na}^+}$  e os respectivos passos de, aproximadamente,  $p_{\text{Na}^+}$  e  $1,6 p_{\text{Na}^+}$ .
- e) trajetórias helicoidais uniformes, de mesmo sentido, com respectivos raios de, aproximadamente,  $1,6 R_{\text{Cl}^-}$  e  $R_{\text{Cl}^-}$  e os respectivos passos de, aproximadamente,  $1,6 p_{\text{Cl}^-}$  e  $p_{\text{Cl}^-}$ .

2. (Ebmsp 2018) A espectrometria de massas é uma poderosa ferramenta física que caracteriza as moléculas pela medida da relação massa/carga de seus íons. Ela foi usada, inicialmente, na determinação de massas atômicas e vem sendo empregada na busca de informações sobre a estrutura de compostos orgânicos, na análise de misturas orgânicas complexas, na análise elementar e na determinação da composição isotópica dos elementos. A espectrometria de massas acoplada, MS/MS, é uma técnica analítica poderosa, usada para identificar compostos desconhecidos, quantificar compostos conhecidos e auxiliar na elucidação estrutural de moléculas. A MS/MS apresenta uma vasta gama de aplicações, como por exemplo: na ecologia, na toxicologia, na geologia, na biotecnologia, e na descoberta e desenvolvimento de fármacos.

Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/uniprote-ms/Content/02PrincipiosDeAnalise/espectrometria.html>>.

Acesso em: set. 2017.



Considere a figura que representa, na forma de um esquema simplificado, um espectrômetro de massa, sendo F a fonte de íons, que são acelerados pela diferença de potencial  $\Delta V$  entram na região onde existe o campo magnético B e descrevem uma trajetória semicircular.

Sabendo que os íons são compostos de partículas idênticas, cada uma eletrizada com a carga igual a  $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  e com massa,  $1,0 \cdot 10^{-14} \text{ kg}$  que penetram, perpendicularmente, na região do campo magnético uniforme com velocidade de módulo  $10^6 \text{ m/s}$  e descrevem trajetória semicircular de raio  $1,0 \text{ mm}$ ,

Determine a intensidade do campo magnético.

- a) 10
- b) 20
- c) 30
- d) 40
- e) 50

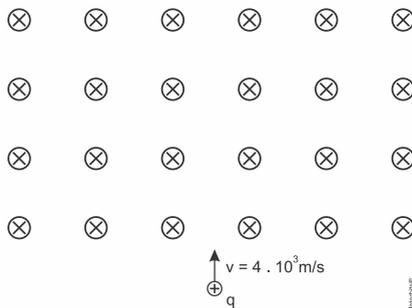
3. (Uefs 2017) Magnetismo é o fenômeno de atração ou repulsão observado entre determinados corpos, chamados ímãs, entre ímãs e certas substâncias magnéticas, tais como ferro, cobalto ou níquel, e também entre ímãs e condutores que estejam conduzindo correntes elétricas.

Com base nos conhecimentos sobre Eletromagnetismo, é correto afirmar:

- a) A força magnética é uma interação de contato entre um fio longo condutor e uma carga elétrica em movimento.
- b) Quando um ímã é aquecido, suas propriedades magnéticas são aumentadas significativamente.
- c) Uma bússola sempre tende a orientar-se perpendicularmente ao campo magnético aplicado sobre ela, com o polo sul da bússola apontando no sentido do campo.
- d) Sempre que uma carga se movimenta na mesma direção do campo magnético, sendo no seu sentido ou contrário, ocorre o aparecimento de uma força eletromagnética que atua sobre ela.
- e) Todo ímã apresenta duas regiões distintas, em que a influência magnética se manifesta com maior intensidade, e essas regiões são chamadas de polos do ímã.

### EXERCÍCIO PROPOSTOS

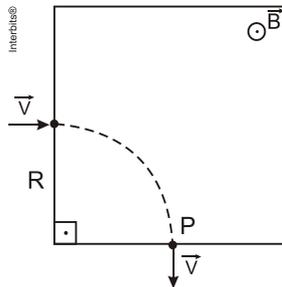
1. (Uern 2015) Numa região em que atua um campo magnético uniforme de intensidade  $4\text{ T}$  é lançada uma carga elétrica positiva conforme indicado a seguir:



Ao entrar na região do campo, a carga fica sujeita a uma força magnética cuja intensidade é de  $3,2 \cdot 10^{-2} \text{ N}$ . O valor dessa carga e o sentido do movimento por ela adquirida no interior do campo são, respectivamente:

- a)  $1,6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  e horário.  
 b)  $2,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  e horário.  
 c)  $2,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  e anti-horário.  
 d)  $1,6 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  e anti-horário.

2. (Uesc 2011)

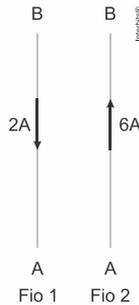


A figura representa uma partícula eletrizada, de massa  $m$  e carga  $q$ , descrevendo um movimento retilíneo e uniforme, com velocidade de módulo  $v$ , que penetra e sai da região onde existe um campo magnético uniforme de módulo  $B$ .

Sabendo-se que a partícula abandona a região do campo no ponto  $P$ , é correto afirmar:

- a) A partícula atravessa a região do campo magnético em movimento retilíneo uniformemente acelerado.  
 b) A partícula descreve movimento circular uniformemente acelerado sob a ação da força magnética.  
 c) O espaço percorrido pela partícula na região do campo magnético é igual a  $\frac{\pi m v}{2qB}$ .  
 d) O tempo de permanência da partícula na região do campo magnético é de  $\frac{\pi m}{qB}$ .  
 e) O módulo da aceleração centrípeta que atua sobre a partícula é igual a  $\frac{qB}{mv}$ .

3. (Fac. Albert Einstein - Medicina 2018) Dois fios condutores retos, muito compridos, paralelos e muito próximos entre si, são percorridos por correntes elétricas constantes, de sentidos opostos e de intensidades 2 A e 6 A, conforme esquematizado na figura.



A razão entre os módulos das forças magnéticas de um fio sobre o outro e o tipo de interação entre essas forças é igual a:

- a) 1, repulsiva
- b) 3, atrativa
- c) 12, atrativa
- d) a resultante das forças será nula, portanto, não haverá interação entre elas.

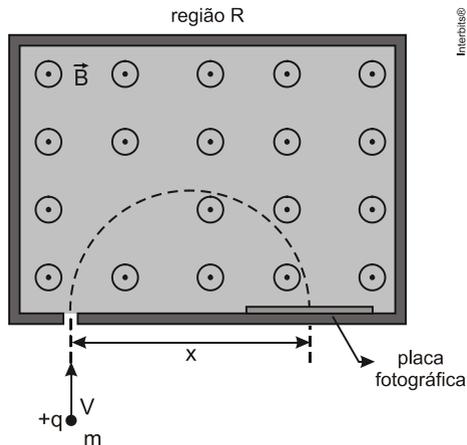
4. (Unesp 2014) Espectrometria de massas é uma técnica instrumental que envolve o estudo, na fase gasosa, de moléculas ionizadas, com diversos objetivos, dentre os quais a determinação da massa dessas moléculas. O espectrômetro de massas é o instrumento utilizado na aplicação dessa técnica.

(www.em.iqm.unicamp.br. Adaptado.)

A figura representa a trajetória semicircular de uma molécula de massa  $m$  ionizada com carga  $+q$  e velocidade escalar  $V$ , quando penetra numa região  $R$  de um espectrômetro de massa.

Nessa região atua um campo magnético uniforme perpendicular ao plano da figura, com sentido para fora dela, representado pelo símbolo  $\odot$ . A molécula atinge uma placa fotográfica, onde deixa uma

marca situada a uma distância  $x$  do ponto de entrada.

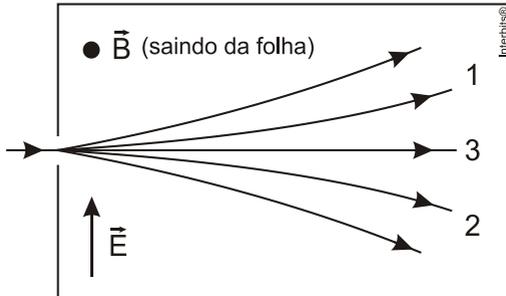


Considerando as informações do enunciado e da figura, é correto afirmar que a massa da molécula é igual a

- a)  $\frac{q \cdot V \cdot B \cdot x}{2}$   
 b)  $\frac{2 \cdot q \cdot B}{V \cdot x}$   
 c)  $\frac{q \cdot B}{2 \cdot V \cdot x}$   
 d)  $\frac{q \cdot x}{2 \cdot B \cdot V}$   
 e)  $\frac{q \cdot B \cdot x}{2 \cdot V}$

5. (Fuvest 2014) Partículas com carga elétrica positiva penetram em uma câmara em vácuo, onde há, em todo seu interior, um campo elétrico de módulo  $E$  e um campo magnético de módulo  $B$ , ambos uniformes e constantes, perpendiculares entre si, nas direções e sentidos indicados na figura. As partículas entram na câmara com velocidades perpendiculares aos campos e de módulos  $v_1$  (grupo 1),  $v_2$  (grupo 2) e  $v_3$  (grupo 3). As partículas do

grupo 1 têm sua trajetória encurvada em um sentido, as do grupo 2, em sentido oposto, e as do grupo 3 não têm sua trajetória desviada. A situação está ilustrada na figura abaixo.



Considere as seguintes afirmações sobre as velocidades das partículas de cada grupo:

- I.  $v_1 > v_2$  e  $v_1 > E/B$
- II.  $v_1 < v_2$  e  $v_1 < E/B$
- III.  $v_3 = E/B$

Está correto apenas o que se afirma em

**Note e adote:**

Os módulos das forças elétrica ( $F_E$ ) e magnética ( $F_M$ ) são:

$$F_E = qE$$

$$F_M = qvB$$

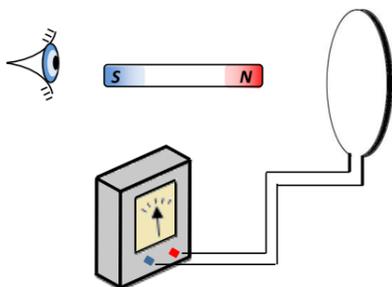
- a) I.
- b) II.
- c) III.
- d) I e III.
- e) II e III.

## CAPÍTULO 15 - INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA



Após Oersted descobrir que corrente elétrica gera campo magnético, os cientistas passaram a se questionar se o inverso seria possível, ou seja, se campo magnético poderia gerar corrente elétrica. Em 1831, Michael Faraday descobriu que esse fenômeno era possível. Ele conseguiu estabelecer corrente elétrica em um condutor com a variação do campo magnético através de sua superfície.

A mostra esquematicamente uma das experiências realizadas por Faraday. Uma espira está conectada a um galvanômetro (equipamento destinado a medição de baixas intensidades de corrente elétrica), e como não há nenhuma fonte para criar força eletromotriz espera-se que o medidor não detecte nenhuma corrente elétrica no condutor.



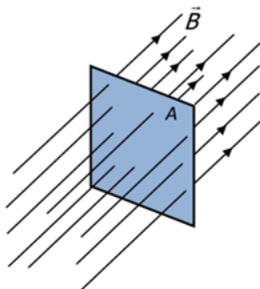
No entanto, movimentando um dos polos de um ímã em relação à espira, seja aproximando ou afastando, verifica-se que ocorre deflexão do ponteiro do amperímetro, o que indica que corrente elétrica surgiu no condutor. No momento em que o ímã é colocado em repouso em relação à espira, o galvanômetro não indica mais existência de corrente elétrica.

Percebe-se ainda que ao aproximar da espira o polo norte do ímã em forma de barra, por exemplo, o ponteiro do galvanômetro é defletido num sentido, e quando o polo norte se afasta da espira, o ponteiro é defletido no sentido contrário. Quanto mais rápida for a aproximação ou o afastamento entre ímã e espira, mais intensidade de corrente elétrica é gerada. Esse fenômeno é chamado de indução eletromagnética, e as correntes e força eletromotriz geradas, são chamadas de corrente elétrica induzida e força eletromotriz induzida. A seguir, discutiremos mais detalhadamente o fenômeno da indução eletromagnética.

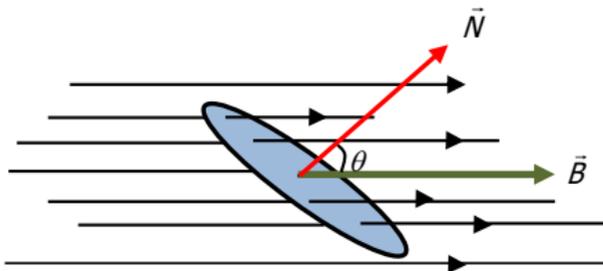
## FLUXO MAGNÉTICO

O fluxo magnético é uma grandeza que está relacionada ao número de linhas de campo magnético que atravessam a área de uma superfície, como representado na figura abaixo. Isso significa dizer que quanto maior for o número de linhas que atravessam essa

superfície, maior será o fluxo magnético através dela.



A figura abaixo mostra uma espira circular inserida numa região com campo magnético. O vetor  $\vec{N}$ , que chamaremos de normal, é perpendicular à superfície da espira e forma um ângulo  $\theta$  com as linhas de campo magnético.



Matematicamente, podemos definir fluxo magnético como:

$$\phi = B.A.\cos \theta$$

Onde  $B$  é a intensidade do campo magnético,  $A$  é a área da superfície e  $\theta$  é o ângulo entre as linhas de campo magnético e o vetor normal.

A unidade de fluxo magnético no Sistema Internacional é  $T \cdot m^2$ , que recebe o nome de weber, cujo símbolo é Wb.

a) Variação do fluxo magnético

O fluxo magnético através de uma superfície pode variar de acordo com:

**Intensidade do campo magnético:** quanto mais intenso se torna um campo magnético, mais linhas de campo atravessam a área de uma superfície, aumentando o fluxo magnético através dela. Um aumento de fluxo magnético pode ser atingido aproximando-se de uma espira circular o polo norte de um ímã em forma de barra, por exemplo, pois durante a aproximação, cada vez mais linhas de campo magnético, que saem do polo norte, atravessam na área de superfície da espira. Se agora afastarmos da espira o polo norte do ímã haverá diminuição do fluxo magnético, já que o número de linhas de campo magnético que atravessam a área de superfície da espira torna-se cada vez menor.

**Área da superfície:** quanto maior a área da superfície de uma espira, por exemplo, maior será o número de linhas de campo magnético que a atravessa, aumentando, dessa forma, o fluxo magnético.

**Ângulo:** toda vez que houver variação no ângulo entre as linhas de campo magnético e o vetor normal, o fluxo magnético sofrerá variação. Isso pode ser alcançado girando-se uma espira no interior de um campo magnético constante.

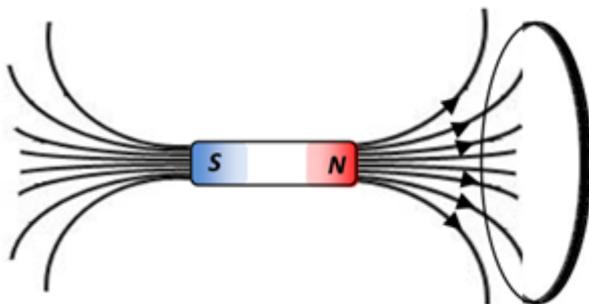
**LEI DE FARADAY**

Michael Faraday constatou através de experimentos que uma força eletromotriz é induzida, gerando corrente elétrica induzida, mediante variação do fluxo magnético por entre a superfície da espira, ou seja, sempre que o número de linhas de campo magnético através da superfície do condutor variar (aumentando ou

diminuindo), uma força eletromotriz (que simbolizaremos por  $f_{em}$  e que é responsável pela geração de corrente elétrica) será induzida nesse condutor.

A figura abaixo mostra uma espira circular e um ímã em forma de barra. Aproximando-se da espira o polo norte do ímã, por exemplo, aumentará o fluxo magnético através de sua superfície e poderá ser verificado o surgimento de corrente elétrica induzida na espira, justamente porque houve variação do número de linhas de campo magnético.

Se o polo norte do ímã agora fosse afastado da espira, também ocorreria variação do fluxo magnético e uma corrente elétrica induzida, uma vez que o afastamento entre ímã e espira provoca diminuição do número de linhas de campo magnético que atravessam a área da espira (variação do fluxo magnético).



O que difere de uma situação para outra é que no movimento de aproximação do polo norte, a corrente elétrica induzida é gerada num determinado sentido, enquanto no seu movimento de afastamento, a corrente elétrica induzida é gerada no sentido contrário. É importante que fique claro que não é apenas aproximando ou afastando um ímã de uma espira condutora que ocorre geração de corrente elétrica induzida. Basta que ocorra variação de fluxo magnético através da área da superfície da espira, o que pode ser conseguido de várias maneiras,

conforme foi discutido na seção anterior, para que corrente elétrica induzida seja gerada num condutor.

A lei da indução eletromagnética de Faraday afirma que:

**A INTENSIDADE DA FEM INDUZIDA EM UMA ESPIRA CONDUTORA É PROPORCIONAL À VARIAÇÃO DO NÚMERO DE LINHAS DE CAMPO MAGNÉTICO QUE ATRAVESSA A ESPIRA EM FUNÇÃO DO TEMPO.**

Isso significa dizer que:

1º. Quanto maior for a variação do fluxo magnético, maior será a intensidade da  $f_{em}$  induzida.

2º. Quanto mais rápida for a variação do fluxo magnético (menor intervalo de tempo), maior será a intensidade da fem induzida e, conseqüentemente, maior a intensidade da corrente elétrica induzida. Atingimos essa situação, por exemplo, aproximando ou afastando rapidamente uma espira de um polo magnético de um ímã.

Matematicamente a lei de Faraday é representada por:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Onde  $\varepsilon$  representa a  $f_{em}$  induzida,  $\Delta\phi$  representa a variação do fluxo magnético e  $\Delta t$  representa o intervalo de tempo.

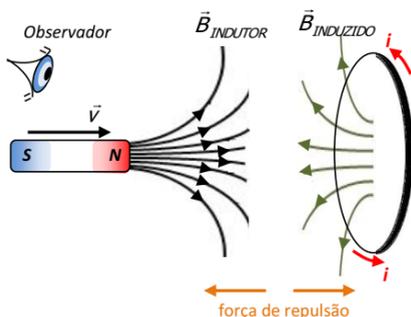
Para uma bobina com n espiras, o fluxo magnético é diretamente proporcional ao número de espiras. Portanto, uma bobina com 800 espiras, por exemplo, terá o dobro de fluxo magnético e de corrente elétrica induzida do que uma bobina com 400 espiras. No Sistema Internacional, a unidade de  $f_{em}$  é volt (V).

## LEI DE LENZ

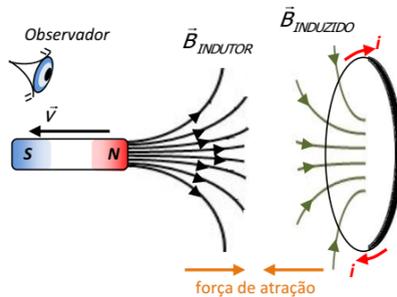
A lei de Lenz nos permite determinar o sentido da corrente elétrica induzida num condutor. Ela afirma que:

***A FORÇA ELETROMOTRIZ INDUZIDA NUM CONDUTOR É NUM SENTIDO TAL QUE SE OPÕE À VARIAÇÃO QUE A INDUZIU.***

A figura abaixo mostra mais uma vez um ímã em forma de barra e uma espira circular. Aproximando-se da espira o polo norte do ímã aumenta o fluxo magnético através da superfície da espira.

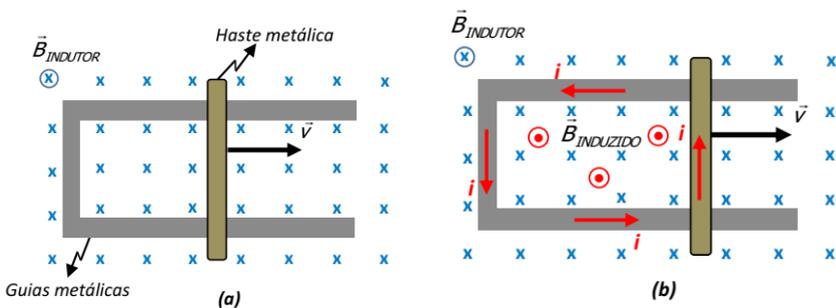


A variação do fluxo magnético na espira induz nesta uma corrente elétrica. O sentido dessa corrente é tal que o campo magnético da espira sempre fará oposição ao movimento do ímã, repelindo-o quando ele se aproxima e atraindo-o quando ele se afasta. Um agente externo realiza um trabalho para empurrar o ímã em direção à espira e vencer a força de repulsão que surge entre o ímã e a espira. Essa energia fornecida pelo agente da força na aproximação entre ímã e espira se converte em  $f_{em}$  induzida e, conseqüentemente, em corrente elétrica. A figura abaixo mostra agora o polo norte do ímã em forma de barra se afastando da espira circular. Podemos imaginar que o número de linhas de campo magnético que atravessam a área da espira diminui, provocando diminuição do fluxo magnético.



Da mesma forma que no exemplo anterior, a corrente elétrica induzida é gerada num sentido tal que se opõe a essa variação. Surge entre o ímã e a espira, força de atração, com a face da espira voltada para o ímã comportando-se como polo magnético sul. Para isso, é preciso que a corrente elétrica induzida esteja no sentido horário. Portanto, aproximando da espira o polo norte do ímã, a corrente induzida tem sentido anti-horário. Se aproximássemos da espira o polo sul do ímã, o sentido da corrente induzida seria contrário: horário. Da mesma forma, afastando da espira o polo norte do ímã, o sentido da corrente induzida é horário. Se afastássemos da espira o polo sul do ímã, o sentido da corrente seria anti-horário.

Com o auxílio da figura (a) e (b) apresentaremos uma forma alternativa de discutirmos a lei de Lenz.



Uma haste condutora está em contato e pode deslizar sobre guias metálicas, imersas numa região com campo magnético uniforme, entrando perpendicularmente no plano da figura. Empurrando a haste para a direita, aumenta o número de linhas de campo magnético que atravessam a área formada pelas guias metálicas e pela haste, variando, assim, o fluxo magnético através dessa superfície. Com a variação do fluxo magnético, aparece uma corrente elétrica induzida, que por sua vez, gera um campo magnético induzido, que se opõe à variação do campo magnético indutor.

Considere o seguinte exemplo: inicialmente 9 linhas de campo magnético atravessam a área da superfície formada pela haste e pelas guias metálicas. Aumentando a área da superfície com o deslocamento da haste para a direita, mais 3 linhas de campo magnético passam a atravessar a superfície, totalizando 12. A corrente induzida é gerada num sentido tal que cria um campo magnético induzido com 3 linhas de campo magnético saindo do plano da página, com o “objetivo” de anular a variação do fluxo magnético. Utilizando a regra da mão direita podemos verificar que a corrente elétrica induzida possui sentido anti-horário nessa situação.

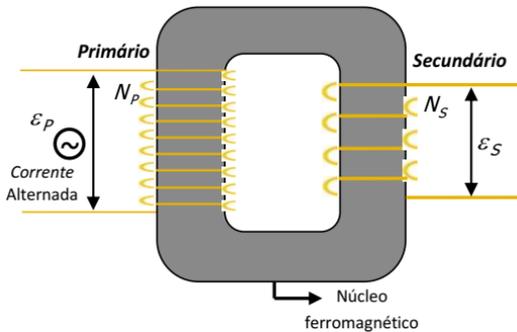
Portanto, outra forma de enunciar a lei de Lenz é:

***A CORRENTE ELÉTRICA INDUZIDA POSSUI SENTIDO TAL QUE GERA UM CAMPO MAGNÉTICO INDUZIDO QUE SE OPÕE À VARIAÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO INDUTOR***

## **TRANSFORMADOR**

Transformador é um dispositivo cuja função é transformar um valor de força eletromotriz alternada em outro. A figura abaixo representa esquematicamente as principais partes

de um transformador. O enrolamento de espiras  $N_p$ , chamado de primário, é conectado a uma fonte de força eletromotriz alternada (a  $f_{em}$  alternada gera corrente elétrica alternada). Primeiramente, devemos lembrar que a intensidade e o sentido da corrente elétrica alternada variam com o tempo. Enquanto a corrente elétrica no primário aumenta sua intensidade, até um valor máximo, aumenta também o campo magnético gerado ao seu redor e ainda o fluxo magnético desse campo através do enrolamento de espiras  $N_s$ , chamado de secundário.



A variação do fluxo magnético em  $N_s$  faz com que apareça uma  $f_{em}$  induzida e, conseqüentemente, uma corrente elétrica induzida nesse enrolamento de espiras. A partir da diminuição da intensidade da corrente elétrica no primário, diminui o fluxo magnético no secundário, gerando  $f_{em}$  induzida e corrente elétrica induzida, uma vez que houve variação do fluxo magnético. É importante destacar que a variação do fluxo magnético também é causada pela mudança de sentido da corrente elétrica variável, e não só pela variação de sua intensidade.

Se o primário for conectado a uma fonte de  $f_{em}$  contínua, como por exemplo, uma pilha ou uma bateria, não haverá variação do fluxo magnético através do secundário e, conseqüentemente não surgirá nenhuma  $f_{em}$  induzida neste último enrolamento de

espiras. Para maior rendimento do transformador, utiliza-se um núcleo de material ferromagnético, a fim de concentrar o campo magnético nos dois enrolamentos e influenciar que praticamente todo o campo magnético gerado no primário vá para o secundário.

Embora fosse desejável que não houvesse perdas de energia eletromagnética nos transformadores, alguma perda sempre há. Por isso, dizemos que é ideal um transformador em que não há perdas de energia. Para um transformador ideal, é válida a seguinte relação:

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{\varepsilon_P}{\varepsilon_S}$$

Onde:

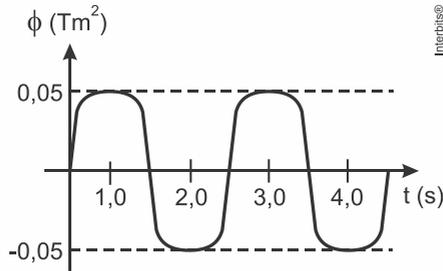
$N_p$  é o número de espiras do primário,  $N_s$  é o número de espiras do secundário,  $\varepsilon_p$  é a  $f_{em}$  do primário e  $\varepsilon_s$  é a fem induzida no secundário. Quando o número de espiras no primário for maior que no secundário ( $N_p > N_s$ ), dizemos que o transformador é rebaixador de tensão, pois a  $f_{em}$  induzida no secundário ( $\varepsilon_s$ ) torna-se menor que a  $f_{em}$  do primário ( $\varepsilon_p$ ). Já se  $N_p$  for menor do que  $N_s$ , dizemos que o transformador é elevador de tensão, já que a  $f_{em}$  induzida no secundário ( $\varepsilon_s$ ) torna-se maior que a  $f_{em}$  do primário.

Para o transformador ideal, consideramos que a potência de entrada do gerador ( $i_p \cdot \varepsilon_p$ ) é igual à potência de saída ( $i_s \cdot \varepsilon_s$ ). Portanto, é válida a seguinte relação:

$$i_p \cdot \varepsilon_p = i_s \cdot \varepsilon_s$$

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

1. (Upe-ssa 3 2018) Uma espira condutora, de resistência elétrica  $R$ , está sendo rotacionada em torno de um eixo perpendicular a um campo magnético constante externo. O giro promove uma variação periódica no fluxo magnético, através da espira que está representado no gráfico a seguir.



No gráfico, o fluxo se anula nos instantes de tempo  $t = 0$ ;  $1,5$ ;  $2,5$ ;  $3,5$  e  $4,5$  e atinge valores constantes nas proximidades dos instantes  $t = 1,0$ ;  $2,0$ ;  $3,0$  e  $4,0$ . Nessa perspectiva, assinale a alternativa CORRETA.

- A carga total que flui através de uma seção transversal da espira entre  $0$  e  $3,5$  segundos é zero.
- O trabalho de girar a espira nesse campo é zero.
- Se a área da espira vale  $50 \text{ cm}^2$  o campo magnético que produz esse fluxo tem módulo igual a  $1,0 \text{ mT}$ .
- Se o fluxo é constante em torno de  $t = 2,0$  segundos, a carga total que atravessou a espira até esse instante é zero.
- Nas proximidades dos instantes  $1,0$ ;  $2,0$ ;  $3,0$  e  $4,0$ , ou seja, onde o fluxo é constante, a corrente induzida na espira é máxima.

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Nas questões com respostas numéricas, considere o módulo da aceleração da gravidade como  $g = 10,0 \text{ m/s}^2$ , o módulo da carga

do elétron como  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ , o módulo da velocidade da luz como  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$  e utilize  $\pi = 3$ .

2. (Upe-ssa 3 2017) *Em 1859 aconteceu uma erupção solar, e, na Terra, os fios soltaram faíscas, que deram choques nos operadores de telégrafo, botando fogo no papel. Foi a maior tempestade geomagnética de que há registros históricos. O Sol arremessou bilhões de toneladas de elétrons e prótons para a Terra, e, quando essas partículas bateram no campo magnético do planeta, criaram auroras espetaculares nas cores vermelho, verde e roxo no céu noturno – além de correntes poderosas de eletricidade, que saltaram do chão para os fios, sobrecarregando os circuitos. Se uma tempestade dessas acontecesse no século XXI, muito mais que fios e papel estaria em risco. Alguns satélites de telecomunicação muito acima da Terra seriam desligados. Os sinais do GPS ficariam misturados. E o surto de eletricidade, vindo do chão, ameaçaria as redes elétricas, quem sabe deixando um continente ou dois nas trevas. (...) O exemplo mais estudado e inequívoco de a capacidade solar prejudicar redes elétricas aconteceu em 13 de março de 1989, na província canadense do Quebec. Nas primeiras horas da manhã, uma tempestade solar gerou correntes nos fios de transmissão, desligando disjuntores. Em questão de minutos, um apagão tomou conta da província, fechando empresas, escolas, aeroportos e metrô até a energia ser religada no fim daquele dia. (...)*

Fonte: <http://ultimosegundo.ig.com.br/ciencia/2013-03-30/cientistas-avaliam-consequencias-das-tempestades-solares.html>, acessado em: 14 de julho de 2016. (Adaptado)

Considerando-se o trecho acima e os conhecimentos básicos acerca do eletromagnetismo, é **CORRETO** afirmar que

- o campo elétrico terrestre é o principal responsável por repelir os elétrons arremessados pelo Sol, criando os efeitos de luz denominados de auroras boreais.
- a baixa função trabalho, característica do material utilizado nos fios metálicos de transmissão, ocasionou o desligamento dos disjuntores em Quebec.

- c) o tempo entre a observação de uma atividade anormal na superfície do Sol e a chegada da tempestade solar à Terra é nulo, uma vez que as partículas arremessadas pelo astro viajam na velocidade da luz.
  - d) uma possível explicação é que as correntes nos fios de transmissão, que desligaram os disjuntores em Quebec, foram criadas por indução magnética, por causa dos efeitos da tempestade solar sobre o campo magnético terrestre.
  - e) as auroras espetaculares relatadas podem ser explicadas pelo efeito fotoelétrico.
3. (Uefs 2016) Os ímãs, naturais ou artificiais, apresentam determinados fenômenos denominados de fenômenos magnéticos.

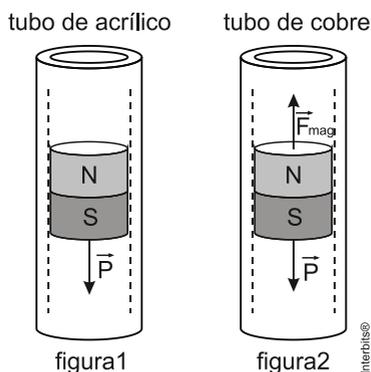
Sobre esses fenômenos, é correto afirmar:

- a) A Lei de Lenz estabelece que o sentido da corrente induzida é tal que se opõe à variação de fluxo magnético através de um circuito que a produziu.
- b) Os pontos da superfície terrestre que possuem inclinação magnética máxima pertencem a uma linha chamada Equador Magnético.
- c) Sob a ação exclusiva de um campo magnético, o movimento de uma carga elétrica é retilíneo e uniformemente acelerado.
- d) Nas regiões em que as linhas de indução estão mais próximas, o campo magnético é menos intenso.
- e) As linhas de indução são, em cada ponto, perpendiculares ao vetor indução magnética.

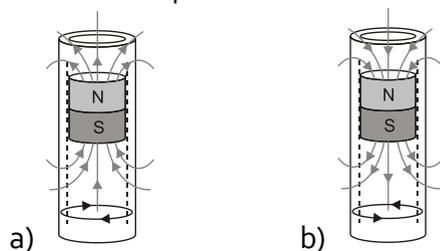
## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

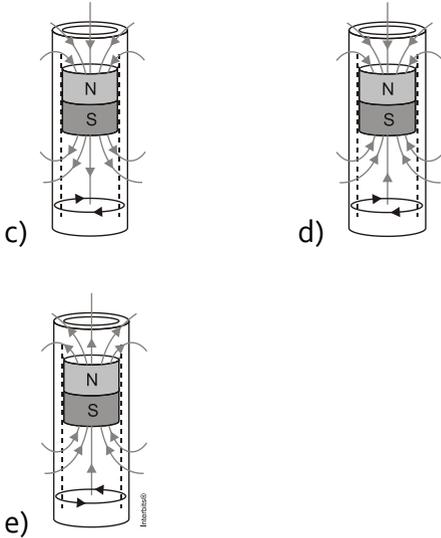
1. (Unesp 2012) O freio eletromagnético é um dispositivo no qual interações eletromagnéticas provocam uma redução de velocidade num corpo em movimento, sem a necessidade da atuação de forças de atrito. A experiência descrita a seguir ilustra o funcionamento de um freio eletromagnético.

Na figura 1, um ímã cilíndrico desce em movimento acelerado por dentro de um tubo cilíndrico de acrílico, vertical, sujeito apenas à ação da força peso. Na figura 2, o mesmo ímã desce em movimento uniforme por dentro de um tubo cilíndrico, vertical, de cobre, sujeito à ação da força peso e da força magnética, vertical e para cima, que surge devido à corrente elétrica induzida que circula pelo tubo de cobre, causada pelo movimento do ímã por dentro dele. Nas duas situações, podem ser desconsiderados o atrito entre o ímã e os tubos, e a resistência do ar

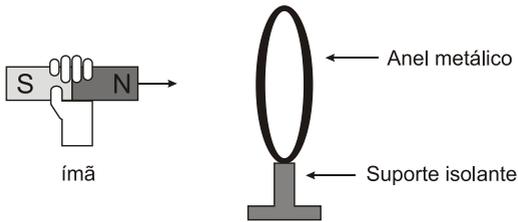


Considerando a polaridade do ímã, as linhas de indução magnética criadas por ele e o sentido da corrente elétrica induzida no tubo condutor de cobre abaixo do ímã, quando este desce por dentro do tubo, a alternativa que mostra uma situação coerente com o aparecimento de uma força magnética vertical para cima no ímã é a indicada pela letra





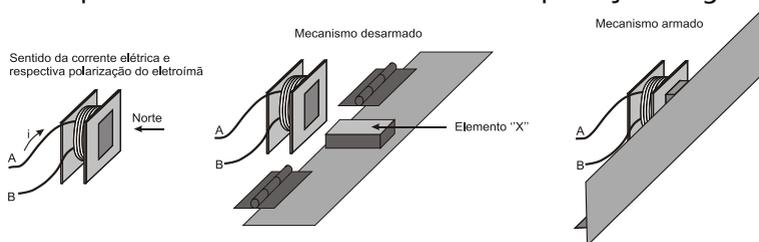
2. (Fuvest 2010) Aproxima-se um ímã de um anel metálico fixo em um suporte isolante, como mostra a figura. O movimento do ímã, em direção ao anel,



- a) não causa efeitos no anel.
- b) produz corrente alternada no anel.
- c) faz com que o polo sul do ímã vire polo norte e vice versa.
- d) produz corrente elétrica no anel, causando uma força de atração entre anel e ímã.
- e) produz corrente elétrica no anel, causando uma força de repulsão entre anel e ímã.

3. (Fgv 2010) Grandes relógios, que também indicam a temperatura, compõem a paisagem metropolitana. Neles, cada

dígito apresentado é formado pela combinação de sete plaquetas móveis. Ao observar um desses relógios, uma pessoa constata que cada plaqueta está próxima de um eletroímã, mas, não consegue descobrir qual seria o elemento "X" presente em uma plaqueta para que essa pudesse ser armada ou desarmada por ação magnética.



Pensando nas possíveis configurações para que, na inexistência de molas, uma plaqueta arme ou desarme adequadamente, essa pessoa imaginou que o elemento "X" pudesse ser:

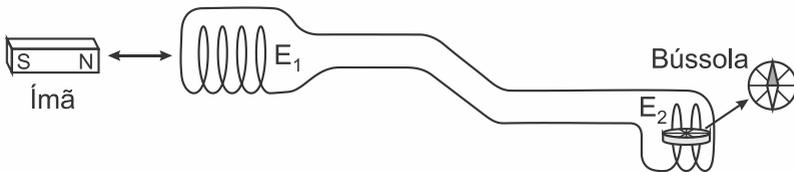
- I. Um corpo feito de um material ferromagnético. Quando a corrente elétrica flui de A para B, o mecanismo é armado e, quando a corrente elétrica flui de B para A, o mecanismo é desarmado;
- II. Um ímã permanente, com seu polo Norte voltado para o eletroímã, quando a plaqueta está "em pé", como no momento em que está armada. Quando a corrente elétrica flui de A para B, o mecanismo é armado e, quando a corrente elétrica flui de B para A, o mecanismo é desarmado;
- III. Um ímã permanente com seu polo Norte voltado para o eletroímã, quando a plaqueta está "em pé", como no momento em que está armada. Quando a corrente elétrica flui de B para A, o mecanismo é armado e, quando a corrente elétrica flui de A para B, o mecanismo é desarmado;
- IV. Outra bobina, idêntica e montada na mesma posição em que se encontra a primeira quando a plaqueta está "em pé", como no momento em que está armada, tendo seu terminal A, unido ao terminal A da bobina do eletroímã, e seu terminal B, unido ao

terminal B da bobina do eletroímã. Quando a corrente elétrica flui de A para B, o mecanismo é armado e, quando a corrente elétrica flui de B para A, o mecanismo é desarmado.

Das suposições levantadas por essa pessoa, está correto o indicado por

- a) I, apenas.
- b) III, apenas.
- c) II e IV, apenas.
- d) I, III e IV, apenas.
- e) I, II, III e IV.

4. (Fuvest 2009) Em uma experiência, um longo fio de cobre foi enrolado, formando dois conjuntos de espiras,  $E_1$  e  $E_2$  ligados entre si e mantidos muito distantes um do outro. Em um dos conjuntos,  $E_2$  foi colocada uma bússola, com a agulha apontando para o Norte, na direção perpendicular ao eixo das espiras.



A experiência consistiu em investigar possíveis efeitos sobre essa bússola, causados por um ímã, que é movimentado ao longo do eixo do conjunto de espiras  $E_1$ .

Foram analisadas três situações:

- I. Enquanto o ímã é empurrado para o centro do conjunto das espiras  $E_1$ .
- II. Quando o ímã é mantido parado no centro do conjunto das espiras  $E_1$ .
- III. Enquanto o ímã é puxado, do centro das espiras  $E_1$  retornando à sua posição inicial.

Um possível resultado a ser observado, quanto à posição da agulha da bússola, nas três situações dessa experiência, poderia ser representado por:

	(situação inicial) Ímã muito afastado	(situação I) Ímã sendo empurrado	(situação II) Ímã parado dentro	(situação III) Ímã sendo puxado
a)				
b)				
c)				
d)				
e)				

O eixo do conjunto de espiras  $E_2$  tem direção leste-oeste.

5. (Fatec 2008) Em qualquer tempo da história da Física, cientistas buscaram unificar algumas teorias e áreas de atuação. Hans Christian Oersted, físico dinamarquês, conseguiu prever a existência de ligação entre duas áreas da física, ao formular a tese de que quando duas cargas elétricas estão em movimento, manifesta-se entre elas, além da força eletrostática, uma outra força, denominada força magnética.

Este feito levou a física a uma nova área de conhecimento denominada:

- a) eletricidade.      b) magnetostática.      c) eletroeletrônica.  
d) eletromagnetismo.      e) indução eletromagnética.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Maria José; Costa, Maria Margarida - Fundamentos de Física. 3ª Edição. Edições Almedina, 2012.

CABRAL, F. Física. São Paulo: Harbra, 2002. v. 1.

GASPAR, A. Física. São Paulo: Ática, 2000. v. 1.

GONÇALVES FILHO, A. Física para o ensino médio. São Paulo: Scipione, 2002.

GRAF, Física. 4. ed. São Paulo: Edusp, 1998. v. 1.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2009 vol 1; vol 2; e vol 3;

HEWITT, P. G. Física conceitual. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

JUNIOR, Francisco; Soares, Paulo; Ferraro, Nicolau - Os Fundamentos da Física 1-Mecânica. 8ª Edição. Moderna, 2003.

Junior, Francisco; Soares, Paulo; Ferraro, Nicolau - Os Fundamentos da Física 2-Termologia, óptica e ondas. 8ª Edição. Moderna, 2003.

LINS, L.D. Interculturalidade no Ensino de Física na Educação Escolar Indígena: A construção do Livro Didático para uma aprendizagem Significativa. UNEB, Salvador, 2019. (Tese de Doutorado em Educação)

PARANÁ, D. N. Física. São Paulo: Ática, 1998. v. 1.

YOUNG, Hugh; FREEDMAN, Roger - Física I-Mecânica. 12ª Edição. Pearson Education Limited, 2008.

YOUNG, Hugh; FREEDMAN, Roger - Física II-Termodinâmica e Ondas. 12ª Edição. Pearson, 2008.

YOUNG, Hugh; FREEDMAN, Roger - Física III-Eletromagnetismo. 12ª Edição. Pearson Higher Education, 2010.

Young, Hugh; FREEDMAN, Roger - Física IV-Ótica e Física Moderna. 12ª Edição. Pearson, 2009.

TIPLER, Paul; Mosca, Gene - Física (Volume 1)-Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica. Livros Técnicos e Científicos, 2009.

TIPLER, Paul; Mosca, Gene - Física (Volume 2)-Eletricidade & Magnetismo e Ótica. Livros Técnicos e Científicos, 2009.

## POSFÁCIO

Esta obra foi escrita tendo como alvo principal estudantes e professores do ensino médio em comunidades indígenas. Conceitos fundamentais de Eletricidade e Magnetismo são trabalhados de forma clara e completa, e que leva ao leitor compreender a importância desta área da Física no cotidiano.

Apesar do público alvo para a qual a obra é dedicada, **ABC da Física III: Eletrostática, Eletrodinâmica e Eletromagnetismo** mostra-se um excelente leitura para *todos* estudantes do ensino médio que desejam compreender fenômenos eletromagnéticos e se prepararem para vestibulares e o Exame Nacional do Ensino Médio, uma vez que a linguagem científica é universal e os fenômenos físicos atraem a humanidade desde os tempos mais remotos, inclusive antes do desenvolvimento dos primeiros estudos científicos realizados sobre eletricidade por William Gilbert, Augustin Coulomb, Michael Faraday, André-Marie Ampère, etc.

Os conteúdos são amplamente discutidos com exemplos, figuras e exercícios, tornando os conceitos de Eletricidade e Magnetismo simples e de fácil compreensão pelos estudantes. Isto deve-se há mais de uma década de dedicação e experiência do autor na área de Ensino de Física, sobretudo sendo uma referência em pesquisas área de Educação Indígena.

**Dr. Bruno Gomes da Costa**

Instituto Federal de Educação Ciência  
e Tecnologia do Sertão Pernambucano

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECOLOGIA HUMANA



E-mail: [editora.sabeh@gmail.com](mailto:editora.sabeh@gmail.com)