

Física

ELETRICIDADE

Carga Elétrica e Lei de Coulomb

1- Introdução	3
2- Condutores e Isolantes	3
3- Carga Elétrica	3
4- Processos de Eletrização	4
5- Eletroscópios	5
6- Lei de Coulomb	6

Campo Elétrico

1- Introdução	7
2- Campo Elétrico	7
3- Definição Matemática	7
4- Campo Elétrico gerado por uma carga puntiforme	8
5- Linhas de Força	9
6- Campo Elétrico Uniforme	9
7- Campo Elétrico gerado por uma Esfera Condutora e Eletrizada	10
8- Blindagem Eletrostática	10

Potencial Elétrico

1- Introdução	11
2- Definição de Potencial Elétrico	11
3- Potencial Elétrico de Cargas Puntiformes	12
4- Superfícies Equipotenciais	12
5- Movimento de Cargas Elétricas em um Campo Elétrico	13
6- Potencial Elétrico de uma Esfera Condutora e Eletrizada	13

A reprodução por qualquer meio, inteira ou em parte, venda, exposição à venda, aluguel, aquisição, ocultamento, empréstimo, troca ou manutenção em depósito sem autorização do detentor dos direitos autorais é crime previsto no Código Penal, Artigo 184, parágrafo 1 e 2, com multa e pena de reclusão de 01 a 04 anos.



Física

Corrente Elétrica, Leis de OHM e Resistores

1- Introdução	14
2- Corrente Elétrica	14
3- Leis de Ohm	16
4- Resistores	17
5- Aparelhos de Medida	20

Geradores e Receptores

1- Introdução	20
2- Geradores	20
3- Receptores	22
4- Lei de Pouillet	23

Eletromagnetismo

1 - Introdução	24
2 - Ímãs	24
3 - Linhas de Indução	25
4 - Experiência de Oersted	25
5 - Campo Magnético Gerado por Correntes Elétricas	26
6 - Força Magnética	27
7 - Indução Eletromagnética	28

FÍSICA MODERNA

A) Física Nuclear	30
B) Física Quântica	32

ELETRICIDADE

CARGA ELÉTRICA E LEI DE COULOMB

1.1 - INTRODUÇÃO

A Eletricidade é a parte da Física que estuda os fenômenos relacionados com a carga elétrica. Ela pode ser dividida em três partes: Eletrostática, Eletrodinâmica e Eletromagnetismo. A primeira estuda os efeitos da carga elétrica em repouso, a segunda se preocupa com a carga elétrica em movimento e a terceira trabalha com o campo magnético.

Estudaremos, inicialmente, a Eletrostática. Neste primeiro capítulo, faremos uma investigação a respeito da origem da carga elétrica, das maneiras de, a partir de um corpo neutro, produzirmos um corpo eletrizado e da força eletrostática. Antes, porém, devemos conhecer alguns conceitos importantes.

1.2 - CONDUTORES E ISOLANTES

a) Condutores

Os materiais são ditos condutores quando permitem, com certa facilidade, o deslocamento de cargas elétricas em seu interior.

Podemos citar como exemplos os metais, o corpo humano e o grafite.

b) Isolantes

Dizemos que um material é isolante se ele apresenta uma grande dificuldade à movimentação das cargas elétricas em seu interior. São também denominados **dielétricos**.

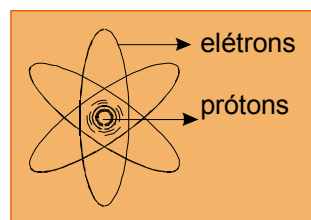
São exemplos: a borracha, a mica e o ar.

Observação:

Existem ainda os semicondutores (de vital importância no desenvolvimento da eletrônica) e os supercondutores (cuja pesquisa vem se desenvolvendo muito nos últimos anos). Não vamos tratar destes dois grupos por não constar no programa de vestibular.

1.3 - CARGA ELÉTRICA

Em um corpo eletricamente neutro, o **número de prótons** é igual ao **número de elétrons**. Esta característica nos faz concluir que cada próton tem seu efeito anulado por um elétron. Logo, a carga elétrica do próton tem o mesmo módulo da carga elétrica do elétron, apresentando, porém, um efeito contrário. Para denotar esta diferença, convencionou-se dizer que **o próton possui carga elétrica positiva**, ao passo que **o elétron possui carga elétrica negativa**.



O módulo da carga do próton ou do elétron representa a menor carga elétrica livre na natureza e é chamada **de carga elétrica elementar** (ou fundamental), cujo símbolo é **e**. Assim:

$$e = |q_p| = |q_e| = 1,6 \times 10^{-19} \text{ coulomb (C)}$$

onde coulomb é
a unidade da
carga elétrica

Um corpo que tenha excesso de prótons estará **eletrizado positivamente**, enquanto que, se o excesso for de elétrons, ele estará **eletrizado negativamente**.

Podemos resumir estas características com o auxílio da tabela ao lado.

$N^\circ p^+ = N^\circ e^-$	$N^\circ p^+ > N^\circ e^-$	$N^\circ p^+ < N^\circ e^-$
NEUTRO	POSITIVO	NEGATIVO

Para que possamos chegar a uma expressão que nos permita calcular a carga elétrica de um corpo em função do número de elétrons em excesso ou falta, vamos considerar a seguinte situação hipotética:

Um corpo, inicialmente neutro, possui 1.000 prótons e 1.000 elétrons.

1 - É retirado um dos elétrons do corpo.

Podemos perceber que a carga dos 1.000 prótons será $Q_{p+} = 1000.e$ e carga dos 999 elétrons, $Q_{e-} = - 999.e$.

Dessa forma, a carga elétrica resultante do corpo como um todo será: $Q = (1000.e) + (- 999) = 1.e$

2 - São retirados dois dos elétrons do corpo.

A carga dos prótons continua a mesma. Porém, a dos elétrons será $Q_{e-} = - 998.e$. Então, a carga do corpo será: $Q = 2.e$

Prosseguindo o raciocínio, podemos chegar à expressão:

$$Q = \pm n.e$$

Onde o sinal $\pm$ aparece pelo fato de a carga elétrica do corpo poder ser positiva ou negativa e a letra n representa o número de elétrons em falta ou em excesso.

Podemos notar que a carga elétrica de um corpo é um múltiplo da carga fundamental. Quando isto acontece com uma grandeza, dizemos que ela é **quantizada**.

1.4 - PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO

São maneiras de, a partir de um corpo neutro, produzir um corpo eletricamente carregado. Estudaremos três processos: atrito, contato e indução

a) Eletrização por Atrito

Como o próprio nome está sugerindo, neste processo vamos esfregar dois corpos para que tenhamos a eletrização. Começaremos o processo com dois corpos neutros. Durante o atrito, o corpo que possuir maior afinidade por elétrons irá “roubar” alguns do outro corpo. Desta forma, após o atrito teremos dois corpos eletrizados com cargas de sinais opostos e mesmo módulo. Repare que o número de elétrons que foi doado por um corpo é igual ao número de elétrons recebido pelo outro.

Este é o processo de eletrização entre uma régua e os nossos cabelos. Ao atritarmos estes dois corpos, haverá um fluxo de elétrons da régua para os fios de cabelo, fazendo com que a primeira fique positiva.

Um outro exemplo deste processo de eletrização é o atrito entre a lataria de um automóvel e as moléculas de ar. Por causa deste atrito, o carro vai absorvendo elétrons do ar, eletrizando-se negativamente. Em dias muito secos, após um passeio, se você tocar a parte externa do automóvel é possível que você “tome” um choque.

b) Eletrização por Contato

Para que possamos efetuar este processo, devemos começar com um corpo já eletrizado e um outro neutro. Encostamos os dois corpos por alguns instantes para que haja um movimento de elétrons. Logo após, separamos novamente os dois corpos. No final do processo, teremos dois corpos eletrizados com cargas de mesmo sinal.

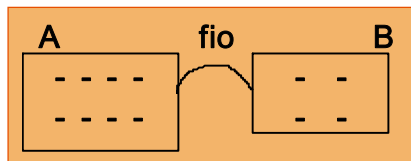
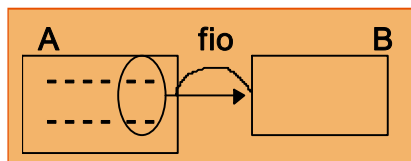
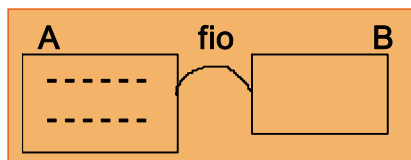
Vamos dar o exemplo do processo considerando que o corpo eletrizado é negativo.

Vamos efetuar o contato através de um fio condutor.

Neste caso, os elétrons em excesso do corpo **A** estarão se repelindo mutuamente. Quando o fio ligar os dois corpos, alguns destes elétrons passarão para o corpo **B**.

Como o corpo **A** perdeu alguns elétrons, sua carga diminui em módulo. Já o corpo **B** ganhando estes elétrons, ficará eletrizado negativamente.

Também neste caso podemos dizer que houve conservação da carga elétrica, uma vez que os elétrons perdidos por **A** foram ganhos por **B**.



No item A desta seção, quando dissemos que uma pessoa pode “tomar” choque ao encostar na lataria de um automóvel eletrizado, estávamos nos referindo exatamente à eletrização por contato.

Após todo o processo, os corpos que estabeleceram o contato somente terão cargas de mesmo módulo se tiverem dimensões idênticas (esferas de mesmo raio, por exemplo). Caso contrário, o corpo de maiores dimensões terá maior carga elétrica em módulo.

Uma situação limite desta propriedade é o contato com a Terra. O tamanho de nosso planeta é infinitamente maior do que o dos corpos sobre ele. O contato entre estes corpos e a Terra conduz sempre à neutralização dos primeiros.

Por este motivo é que motoristas que transportam combustível penduram uma corrente metálica na lataria do caminhão e esta fica em constante contato com o asfalto.

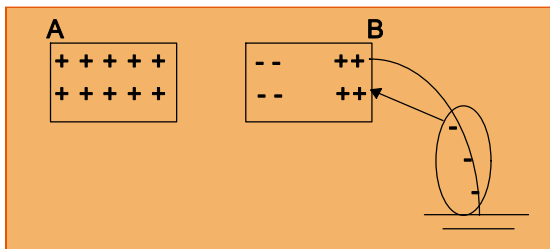
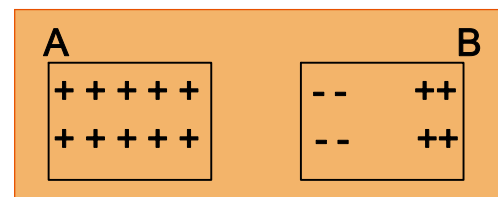
c) Eletrização por Indução

Começaremos este processo com um corpo **A** eletrizado (que será chamado de indutor) e um outro corpo **B** neutro (induzido). Inicialmente iremos aproximar os dois corpos, sem efetuar o contato. Por causa da atração elétrica, haverá um movimento de elétrons dentro de **B**. Logo após, ligaremos o induzido à Terra por alguns instantes. Finalmente, desfazemos este contato e teremos o corpo **B** eletrizado com carga de sinal oposto ao de **A**.

Vamos considerar o indutor positivo.

Ao aproximarmos os corpos, alguns elétrons de **B** migrarão para a sua extremidade mais próxima de **A**.

Nesta situação, o induzido ainda está neutro. Note que ocorreu apenas uma separação de cargas positivas e negativas. Dizemos que, neste caso, o corpo **B** está **polarizado**.



O induzido fica sujeito a uma força de atração em seu pólo negativo e uma de repulsão em seu pólo positivo. A atração é mais intensa do que a repulsão, o que fará com que o corpo **B** seja atraído por **A**.

Fazendo o contato com a Terra, teremos uma corrente de elétrons subindo para **B** para tentar neutralizar o seu pólo positivo.

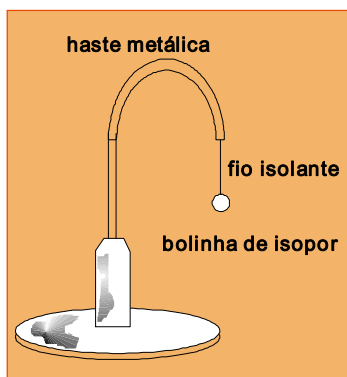
Cortando-se o fio, os elétrons cedidos pela Terra permanecerão no induzido, fazendo com que ele fique eletrizado negativamente.

1.5 - ELETROSCÓPIOS

São aparelhos que nos informam se um determinado corpo está ou não eletrizado. Podem ser de dois tipos:

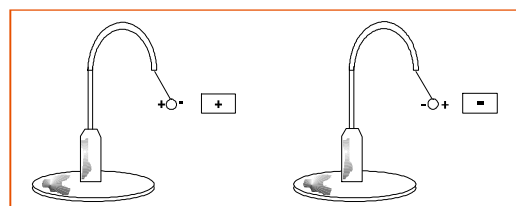
a) Eletroscópios de Pêndulo

A figura a seguir representa uma haste metálica, um fio leve e isolante e uma pequena bolinha de isopor. Este conjunto recebe o nome de eletroscópio de pêndulo.



Quando aproximamos um corpo neutro da bolinha de isopor, ela irá permanecer em repouso.

Se aproximarmos da bolinha um corpo eletrizado, haverá uma força de atração entre os dois. Podemos afirmar que o corpo eletrizado conseguiu polarizar a bolinha.



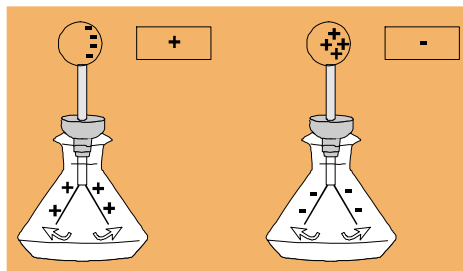
b) Eletroscópios de Folhas

Este aparelho é composto por duas lâminas metálicas delgadas, ligadas por uma haste condutora e uma esfera também metálica. O conjunto é acondicionado em uma garrafa de vidro dentro da qual é feito vácuo.

Quando um corpo neutro é aproximado da esfera metálica, nada irá acontecer com o eletroscópio.



Porém, se o corpo estiver eletrizado, haverá uma polarização do eletroscópio. Isto fará com que a esfera fique com um excesso de cargas de sinal oposto ao do corpo e, por consequência, as lâminas irão adquirir um excesso de cargas elétricas de mesmo sinal. Podemos notar que estas lâminas irão se repelir eletricamente fazendo com que elas se afastem uma da outra.



Observação:

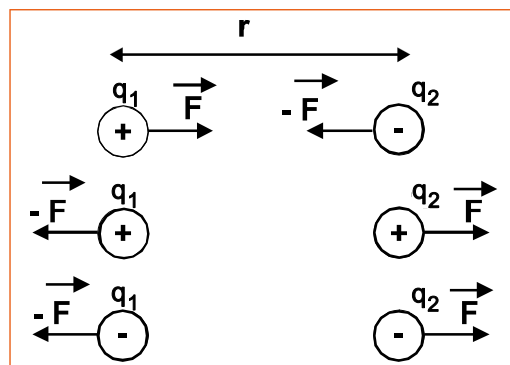
Um eletroscópio (de pêndulo ou de folhas) nos indica se um corpo está ou não eletrizado, sem apontar qual é o sinal de sua carga elétrica.

1.6 - LEI DE COULOMB

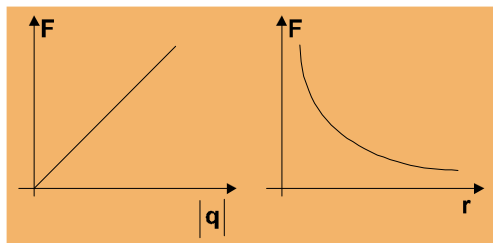
Já sabemos que corpos que possuem cargas elétricas com o mesmo sinal irão se repelir e se possuírem sinais opostos irão se atrair. Coube ao físico Charles de Coulomb mostrar como calcular esta força elétrica.

Através de algumas experiências, Coulomb mostrou que a força elétrica é diretamente proporcional ao módulo de ambas as cargas em questão e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas, ou seja:

$$F_e \propto |q_1| \cdot |q_2| \quad \text{e} \quad F_e \propto \frac{1}{r^2}$$



A partir destas análises, podemos traçar os gráficos da força elétrica em função do módulo de uma das cargas e em função da distância, que são:



A expressão matemática da Lei de Coulomb será, então:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

Onde k representa a constante elétrica e é uma característica do meio em que as cargas estão. O seu valor para o vácuo é:

$$k_0 = 9,0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$

Observação:

- 01) A força elétrica é uma força de campo, ou seja, pode ser aplicada sem que seja necessário haver contato entre os corpos.
- 02) Quando não for mencionado o meio em que as cargas estão, iremos considerar que estamos trabalhando no vácuo.
- 03) Em algumas questões de vestibular, a constante elétrica k é substituída pela expressão:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon}$$

onde ϵ é chamado de permissividade elétrica do meio.

CAMPO ELÉTRICO

2.1 - INTRODUÇÃO

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.

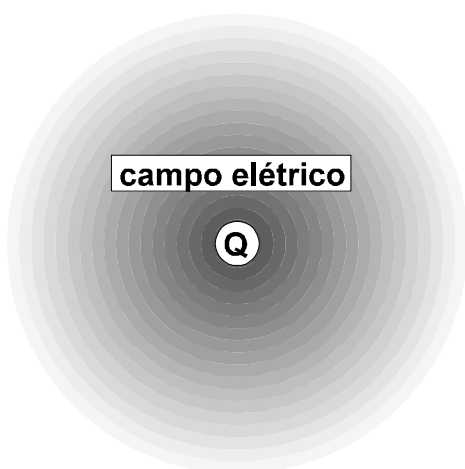
Podemos dizer que uma certa carga elétrica modifica o espaço em torno dela no sentido de ser

capaz de exercer força nas diversas outras cargas presentes neste espaço.

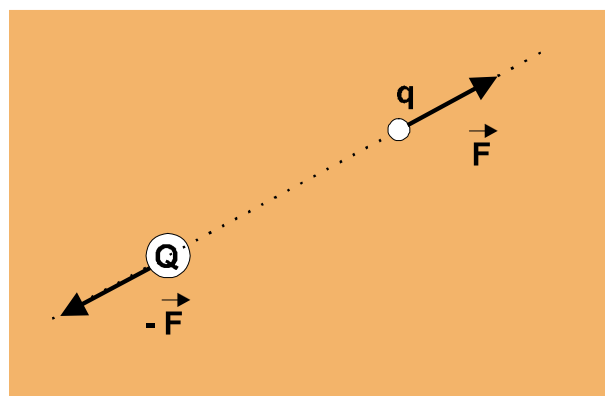
O campo elétrico será estudado, inicialmente, como sendo gerado por uma carga elétrica puntiforme (pequena) e, em seguida, por uma esfera condutora. Logo depois faremos um estudo sobre alguns fenômenos relacionados com o campo elétrico, tais como a blindagem eletrostática e a produção de raios.

2.2 - 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 ($\vec{F}$), aplicada por Q .



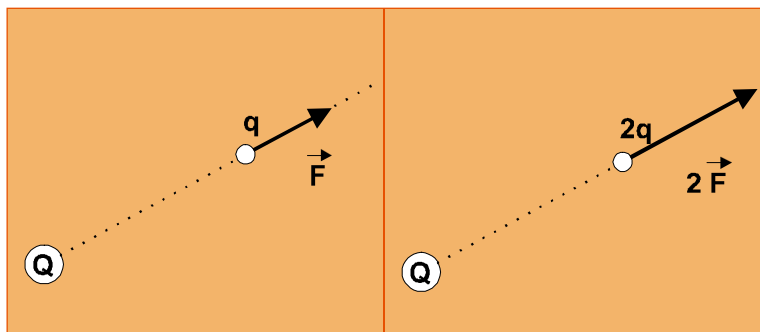
Portanto, o Campo Elétrico está relacionado com o “raio de ação” de uma carga elétrica.

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.

2.3 - 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 no capítulo anterior, 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 ao lado:



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 ($\vec{E}$). Assim:

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

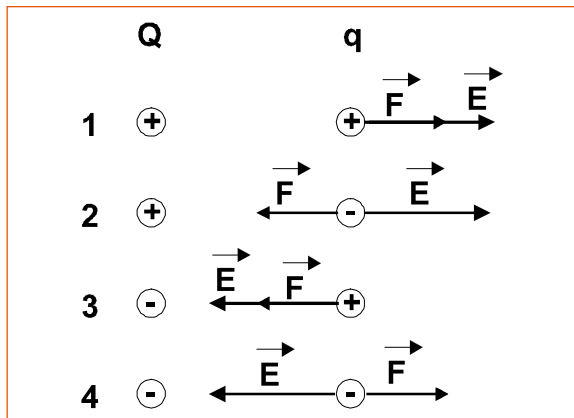
A sua intensidade será dada por: $E = \frac{F}{q}$

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 $\vec{E}$ e $\vec{F}$ 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). Observe os dois primeiros casos.
- Cargas elétricas negativas geram campo elétrico cujo sentido é de aproximação (convergente). Veja os casos 3 e 4.

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.

2.4 - 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:

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

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.

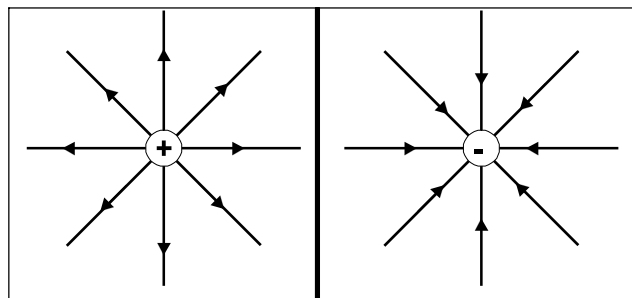
2.5 - LINHAS DE FORÇA

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:

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.

Vamos ver, em seguida, alguns exemplos de linhas de força.

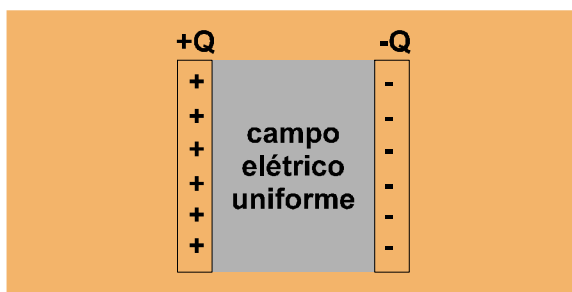
1. Cargas elétricas puntiformes isoladas



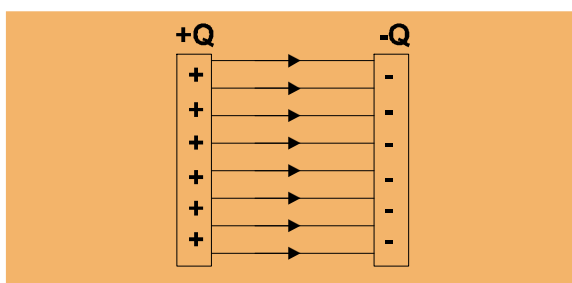
2.6 - CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

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.



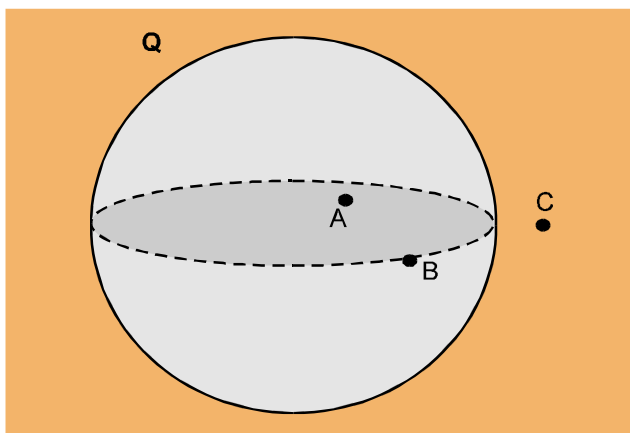
2.7 - CAMPO ELÉTRICO GERADO POR UMA ESFERA CONDUTORA E ELETRIZADA

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 A, interno à esfera, o campo elétrico tem módulo nulo. $E_A = 0$

2. Para o ponto B, na superfície da esfera, o campo elétrico tem módulo dado por:

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

3. Para o ponto C, localizado a uma distância r da **superfície da esfera**, temos:

$$E_C = k \frac{|Q|}{(R + r)^2}$$

2.8 - BLINDAGEM ELETROSTÁTICA

O fenômeno descrito no item anterior é muito mais geral, ou seja, é válido quando o condutor não for esférico.

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**.

POTENCIAL ELÉTRICO

3.1 - INTRODUÇÃO

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.

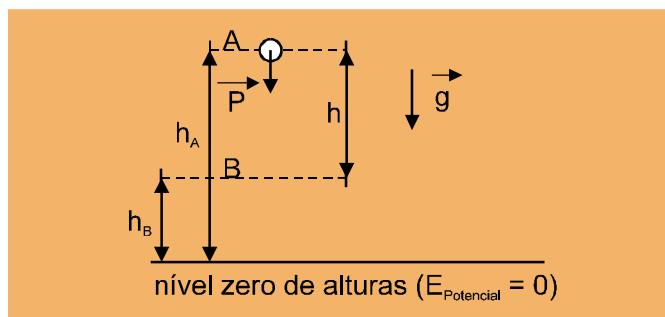
No intuito de se simplificar o estudo da Eletrostática, apareceu a noção de Potencial Elétrico, que representa, conceitualmente, o mesmo que o Campo Elétrico, mas que leva a vantagem de ser uma grandeza escalar.

3.2 - DEFINIÇÃO DE POTENCIAL ELÉTRICO

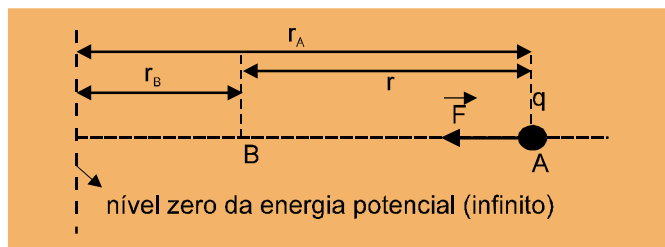
Para que você possa compreender melhor a noção de Potencial Elétrico, vamos traçar um paralelo com a Força Gravitacional.

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 gh 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:

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

$$W_{AB} = q \cdot (Er_A - Er_B)$$

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 $V_A - V_B$ 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 **elétron-volt**, que corresponde ao trabalho realizado sobre um elétron em uma d.d.p. de 1 volt. A relação entre o joule e o elétron-volt é:

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

3.3 - POTENCIAL ELÉTRICO DE CARGAS PUNTIFORMES

No item anterior, vimos que o produto $\mathbf{E} \cdot \mathbf{r}$ é chamado de potencial elétrico ($V = \mathbf{E} \cdot \mathbf{r}$). Sabemos, também, que

o campo elétrico gerado por uma carga elétrica puntiforme é igual a $E = K \frac{Q}{r^2}$. Substituindo esta equação

na primeira, teremos $V = \left(K \frac{Q}{r^2} \right) \cdot r$. Logo:

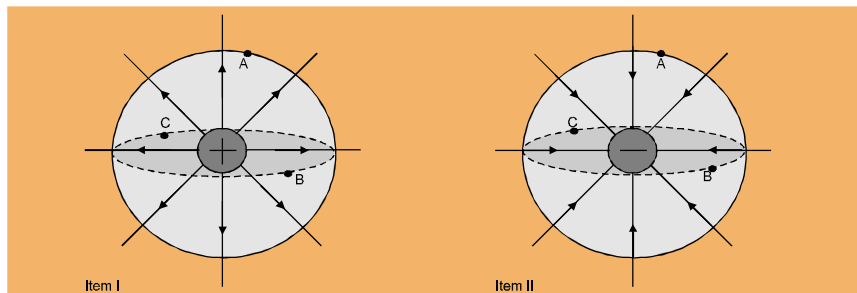
$$V = K \frac{Q}{r}$$

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.

3.4 - 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

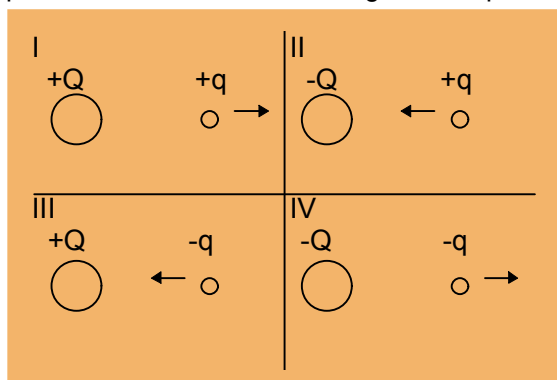
Eqüipotencial. No caso de uma carga puntiforme, as eqüipotenciais serão esferas cujo centro é a própria carga. Em relação a um campo elétrico uniforme, a superfície eqüipotencial é uma superfície plana e paralela às placas, cujo tamanho é aproximadamente igual ao das placas.

Observações:

- 1 - As linhas de força de um campo elétrico são perpendiculares à superfície eqüipotencial 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 eqüipotencial é nulo, uma vez que não há diferença de potencial entre os pontos de saída e de chegada.

3.5 - 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.



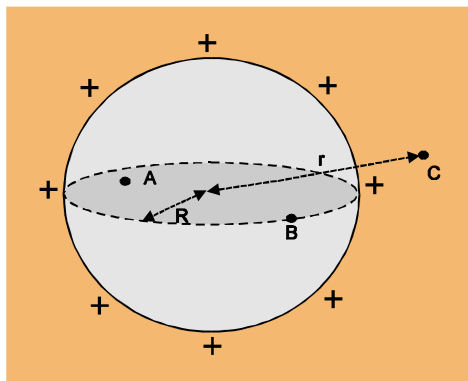
Nos itens I e II, a carga de prova é positiva e se movimenta, espontaneamente, no sentido dos menores potenciais elétricos. Em I, se afasta da carga Q positiva e em II, se aproxima de Q negativa. Nos itens III e IV, a carga de prova é negativa e, espontaneamente, migra para pontos de maior potencial. 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.

3.6 - 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:



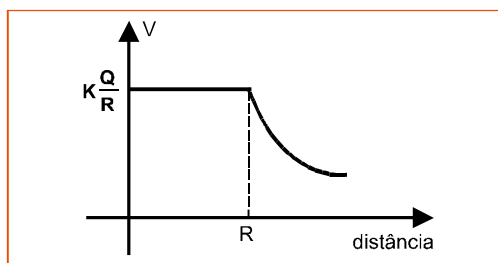
A figura mostra uma esfera de raio R que possui uma carga positiva e três pontos A, B e C. O ponto A está dentro, B está na superfície e C está fora da esfera a uma distância r do seu centro. Os potenciais elétricos de A e B são iguais e valem:

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

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

$$V_C = K \frac{Q}{r}$$

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



CORRENTE ELÉTRICA, LEIS DE OHM E RESISTORES

1 - INTRODUÇÃO

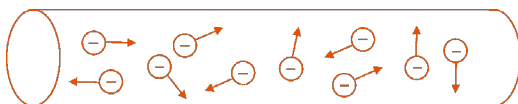
Nos capítulos anteriores, estudamos a Eletrostática. Neles, tivemos a oportunidade de avaliar o comportamento de cargas elétricas em repouso, onde entendemos os processos de eletrização, a Lei de Coulomb, o Campo Elétrico e o Potencial Elétrico.

A partir deste Capítulo, iremos ver a Eletrodinâmica, onde estudaremos os efeitos das cargas elétricas em movimento ordenado. Com este estudo, saberemos um pouco mais a respeito do funcionamento de circuitos elétricos simples e de alguns aparelhos como o chuveiro e as pilhas.

O capítulo é dedicado à corrente elétrica, as leis de Ohm e aos resistores.

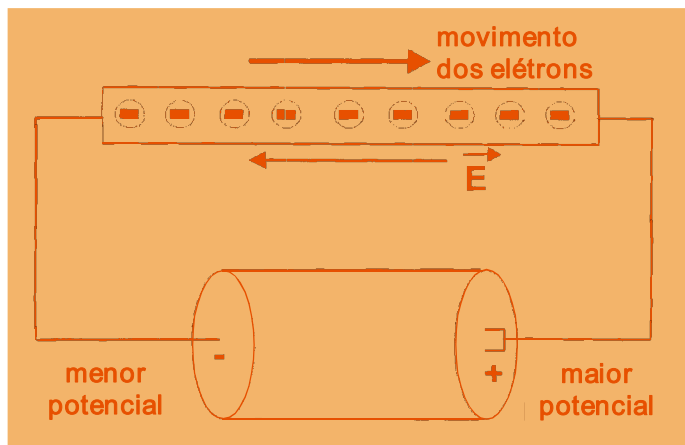
2 - CORRENTE ELÉTRICA

Um fio metálico, por exemplo, possui uma infinidade de elétrons livres em sua estrutura por causa da ligação metálica entre os seus átomos. Naturalmente, estes elétrons apresentam um movimento completamente desordenado chamado de movimento caótico.



Se as extremidades deste fio forem ligadas aos terminais de uma pilha, os elétrons passam a se deslocar, ordenadamente, em direção ao polo positivo desta pilha. Isto se deve ao fato de a pilha gerar, ao longo do fio, um campo elétrico e, portanto uma diferença de potencial (ou tensão elétrica) entre os extremos do fio. Lembre-se de que as cargas negativas se deslocam para pontos de maior potencial elétrico.

Veja a figura.



A este movimento ordenado dos elétrons, motivado pela pilha, denominamos **corrente elétrica**. Note que existem duas condições para que se estabeleça uma corrente elétrica em um condutor:

- 1 - deve existir um percurso fechado para que as cargas se desloquem.
- 2 - deve existir uma diferença de potencial entre as extremidades do condutor.

a) Tipos de Corrente Elétrica

O exemplo mencionado anteriormente serviu para entendermos o que é a corrente elétrica. Porém, não é a única maneira de obtermos um movimento ordenado de cargas elétricas.

Quando a corrente elétrica for composta exclusivamente por elétrons, a chamamos de **corrente eletrônica**. São eletrônicas as correntes geradas em condutores sólidos, onde os elétrons são as partículas que possuem mobilidade. Neste caso, o movimento é sempre no sentido crescente dos potenciais elétricos. A velocidade dos elétrons em fios condutores é muito pequena. No entanto, no instante em que ligamos o interruptor, a lâmpada é acesa. Você saberia explicar o porquê? Por outro lado, em soluções aquosas e em gases ionizados, a corrente elétrica é composta pelo deslocamento de íons positivos em um sentido e íons negativos no sentido contrário. Esta corrente é chamada de **iônica**.

b) Efeitos da Corrente Elétrica

b.1) Efeito Joule: Quando uma corrente elétrica é estabelecida em um certo condutor, parte da energia elétrica das cargas é transformada em energia térmica. Como consequência deste fato, o condutor se aquece. Este é o efeito Joule e acontece devido ao fato de o movimento dos elétrons não ser totalmente desprovido de atritos. Existem certos aparelhos (chuveiro, ferro elétrico, ebulidor, etc.) que são fabricados para produzir o efeito Joule.

b.2) Efeito Magnético: Uma corrente elétrica gera um campo magnético no espaço em torno do condutor que ela atravessa. Este efeito será estudado com mais detalhes no Eletromagnetismo, onde veremos várias aplicações deste fenômeno.

b.3) Efeito Fisiológico: O corpo humano é um condutor de eletricidade. Quando é estabelecida uma diferença de potencial entre dois pontos do nosso corpo, temos uma sensação desagradável que chamamos de **choque elétrico**. Este é o efeito fisiológico.

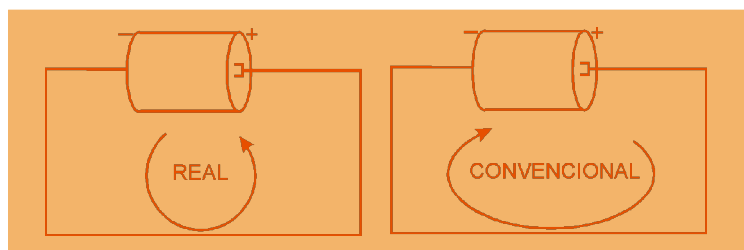
c) Corrente Contínua e Alternada

b.1) Corrente Contínua (Cc): É a corrente gerada por pilhas e baterias. Neste caso, as cargas executam um movimento ao longo de todo o circuito.

c.2) Corrente Alternada (Ca): Neste tipo de corrente, as cargas apenas vibram entre dois extremos, não havendo um deslocamento real. Só para que se tenha uma idéia, a frequência dos elétrons na rede de distribuição elétrica no Brasil é de 60 Hz, ou seja, 60 vibrações por segundo.

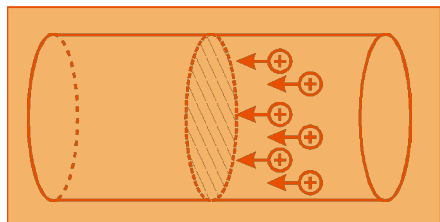
d) Sentido da Corrente Elétrica

Apesar de sabermos que, em fios condutores, são os elétrons que realmente se movimentam, utilizaremos como sentido da corrente elétrica, o sentido do movimento de cargas positivas, mesmo se ele não existir. A este sentido damos o nome de **convencional**. As figuras seguintes mostram o sentido real e o convencional da corrente em um circuito simples.



e) Intensidade da Corrente Elétrica (i):

Considere uma secção reta de um fio retilíneo. Podemos contar a quantidade de carga elétrica que passa por esta secção em um certo intervalo de tempo Δt .



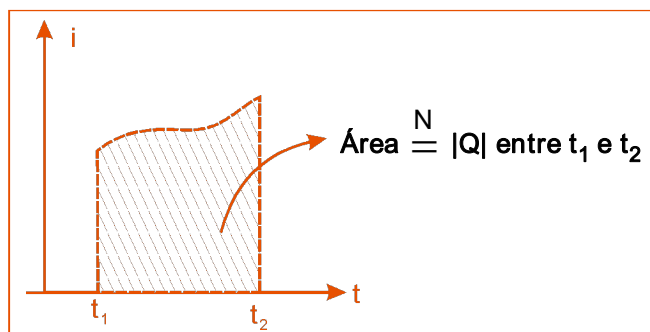
Definimos como **intensidade da corrente elétrica (i)** a relação entre a quantidade de carga elétrica (Q) que passa pela secção reta do fio e o intervalo de tempo (Δt) gasto pelas cargas para passarem por tal secção reta. Matematicamente, temos: $i = \frac{|Q|}{\Delta t}$ ou $i = \frac{n \cdot e}{\Delta t}$

Onde n representa o número de cargas elétricas que passa pela secção reta do fio e representa a carga elétrica elementar.

A unidade da intensidade da corrente elétrica será, no S.I.: $[i] = \frac{|Q|}{\Delta t} = \frac{\text{coulomb}}{\text{segundo}} = \text{ampère (a)}$

1 ampère é a corrente que, estabelecida em um fio, representa a passagem de **1 coulomb** de carga (ou seja, $6,25 \times 10^{18}$ **elétrons**) a cada **1 segundo**.

Observação: Em todo gráfico da intensidade da corrente elétrica em função do tempo, a área sob a curva é numericamente igual à quantidade de carga que atravessa o fio no intervalo de tempo considerado. Veja a figura.

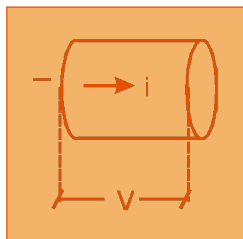


3 - LEIS DE OHM

a) 1ª Lei de Ohm

Já sabemos que é necessária a aplicação de uma diferença de potencial (V) entre dois pontos de um circuito para que se estabeleça uma corrente elétrica de intensidade I. O físico George Simon Ohm estudou alguns condutores e percebeu que **a diferença de potencial aplicada a um condutor é diretamente proporcional à intensidade da corrente elétrica produzida neste condutor.**

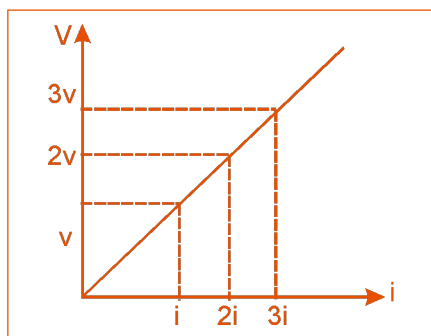
Seja o condutor mostrado na figura seguinte.



Como existe proporcionalidade entre V e i, podemos tirar as seguintes conclusões:

$$1) \frac{V}{i} = \frac{2V}{2i} = \frac{3V}{3i} = \dots = \frac{nV}{ni} = \text{constante}$$

2) O gráfico V x i será uma reta que parte da origem e aponta para cima.



A partir da 1ª conclusão, podemos definir uma grandeza muito importante no estudo da eletrodinâmica: **Resistência Elétrica (R)**.
Veja:

Vamos imaginar dois condutores, **A** e **B**. No primeiro, uma tensão $V_A = 20 \text{ V}$ produz uma corrente elétrica $i_A = 2,0 \text{ A}$. No segundo, a mesma tensão $V_B = 20 \text{ V}$ gera uma corrente elétrica $i_B = 5,0 \text{ A}$. Note que, por algum motivo, o condutor A é *mais resistente* à passagem de corrente pois, para mesma diferença de potencial, a corrente nele é menos intensa ($i_A < i_B$)

Aplicando-se a 1ª Lei de Ohm, podemos observar que:

condutor A: $\frac{V_A}{i_A} = \frac{20}{2} = 10 \text{ V/A} \Rightarrow$ é necessária uma diferença de potencial de 10 V para se produzir 1,0 A de corrente.

condutor B: $\frac{V_B}{i_B} = \frac{20}{5} = 4,0 \text{ V/A} \Rightarrow$ são necessários apenas 4,0 V para se produzir a mesma corrente elétrica de 1,0 A.

A constante obtida pela relação $\frac{V}{i}$ irá nos informar a tensão necessária para se produzir uma corrente elétrica de 1 ampère em um condutor. Note que esta informação está relacionada com a oposição que o condutor oferece à passagem da corrente elétrica. A esta característica damos o nome de Resistência Elétrica. Dessa forma:

$$R = \frac{V}{i}, \text{ onde a unidade } \frac{\text{volt (V)}}{\text{ampère}} = \text{ohm } (\Omega)$$

Observações:

1) Existem condutores em que a resistência não é constante. Eles são chamados de condutores não-ôhmicos. Aqueles condutores que obedecem a 1ª lei de Ohm são denominados condutores ôhmicos.

2) Mesmo para os condutores não-ôhmicos é válida a relação $R = \frac{V}{i}$. Nestes, porém, a razão entre a diferença de potencial e a intensidade da corrente, ou seja, a resistência elétrica do condutor, varia. Note que se a resistência elétrica variar, o gráfico da tensão em função da corrente não será uma reta pois estas grandezas não serão diretamente proporcionais.

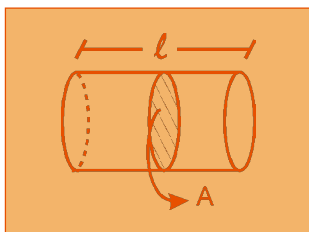
b) 2ª Lei de Ohm:

A 1ª Lei de Ohm nos fornece uma definição macroscópica da resistência elétrica. Isto significa que podemos calcular a resistência elétrica de um condutor sem nos preocuparmos com a sua constituição interna. Em um laboratório, basta efetuarmos uma série de medidas da diferença de potencial aplicada ao condutor e as respectivas intensidades da corrente elétrica, que temos condições de determinar a resistência elétrica deste condutor.

Porém, pelo fato de haver a proporcionalidade entre a tensão e a intensidade da corrente elétrica, o valor da resistência elétrica de um condutor não depende das duas grandezas citadas (se, por exemplo, duplicarmos a tensão, a intensidade da corrente será, também, duplicada). De que forma deveremos proceder se quisermos modificar a resistência elétrica de um condutor?

A 2ª Lei de Ohm irá nos mostrar os fatores que efetivamente influenciam na resistência de um condutor.

Seja um pedaço de um condutor metálico, de comprimento ℓ e área da secção reta constante e igual a A .



A resistência elétrica do fio é diretamente proporcional ao comprimento e inversamente proporcional à área da sua secção reta. Matematicamente, a 2ª lei de Ohm pode ser expressa da seguinte forma:

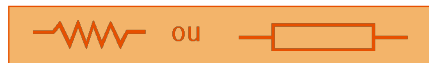
$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

Onde ρ é chamado de **resistividade** e representa uma característica de cada substância. Na verdade, a resistividade varia em função da temperatura do condutor. Porém, quando estivermos estudando um condutor ôhmico, consideraremos esta grandeza constante para o intervalo de temperaturas que este condutor pode atingir. No Sistema Internacional de Unidades, a unidade da resistividade é o $\Omega \cdot m$.

4 - RESISTORES:

O primeiro aparelho de um circuito elétrico que iremos estudar é o resistor. Em linhas gerais, podemos dizer que a sua função básica é promover a transformação de energia elétrica em energia térmica (efeito Joule). Um resistor, quando inserido em um circuito elétrico, irá dissipar uma certa quantidade de energia elétrica e, por isso, irá criar uma **queda de tensão** (diminuição do potencial elétrico) entre os seus terminais.

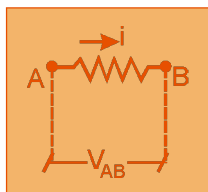
Podemos representar um resistor através dos seguintes símbolos:



A principal característica de um resistor é a sua resistência elétrica (R).

Encontramos resistores em chuveiros, ebulidores, ferros de passar roupa e na maioria dos circuitos elétricos. Os resistores podem ser utilizados para controlar a intensidade da corrente elétrica.

Imagine um resistor sendo percorrido por uma corrente elétrica de intensidade i , no sentido de A para B da figura.



Como o resistor consome energia elétrica, podemos afirmar que as cargas elétricas terão menor potencial elétrico em B do que em A. A esta queda de tensão, relacionamos uma diferença de potencial $V_{AB} = V_A - V_B$.

Pela 1ª Lei de Ohm: $R = \frac{V_{AB}}{i} \Rightarrow V = Ri$, que é a equação dos resistores.

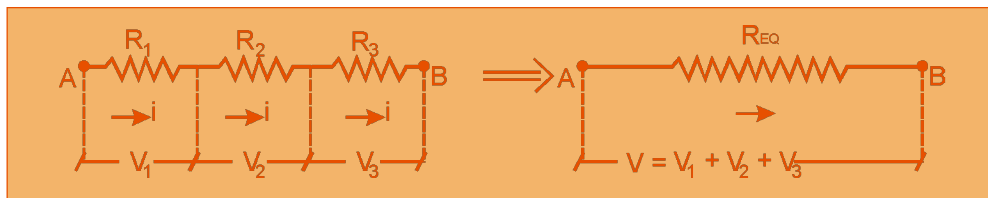
a) Associação de Resistores:

Na construção de um circuito elétrico, nem sempre teremos à mão um resistor cuja resistência é a necessária para o seu perfeito funcionamento.

Entretanto, é possível associarmos resistores para produzirmos o mesmo efeito da resistência desejada. Ao resistor que, sozinho, faria o mesmo papel de todos os associados damos o nome de RESISTOR EQUIVALENTE (R_{EQ}). Basicamente, há duas maneiras de associarmos resistores: em SÉRIE e em PARALELO.

a.1) Associação em Série:

É quando a extremidade de um resistor está ligada à origem do seguinte, formando um trajeto único para a corrente elétrica. Neste tipo de ligação, a intensidade da corrente elétrica é a mesma em todos os resistores.



Veja:

Como $V = Ri$, podemos estabelecer que a diferença de potencial em cada resistor será proporcional aos valores das resistências dos resistores associados. Assim:

$$V_1 = R_1 i; \quad V_2 = R_2 i \quad \text{e} \quad V_3 = R_3 i \quad (01)$$

O resistor equivalente é aquele que, percorrido pela mesma corrente elétrica i , fica submetido a uma tensão

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (02)$$

Note que $V = R_{EQ} i$ (03).

Substituindo (01) e (03) em (02), temos: $R_{EQ} i = R_1 i + R_2 i + R_3 i$

$$R_{EQ} = R_1 + R_2 + R_3$$

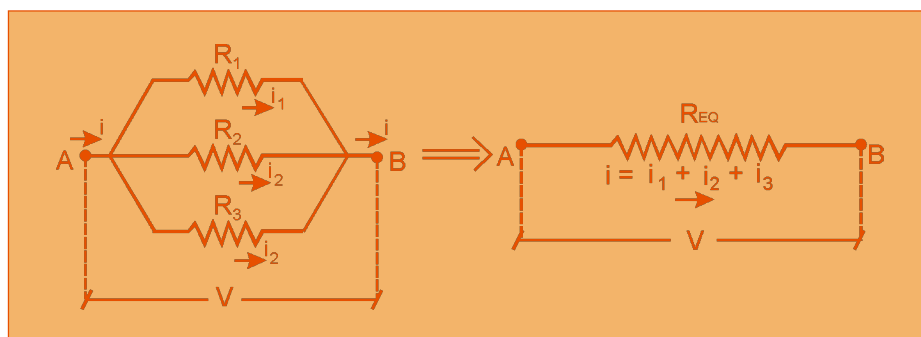
que é a maneira de calcularmos a resistência equivalente na associação em série.

Observações:

- 1) O valor da resistência equivalente é **maior** do que o valor de cada resistência associada. Além disso, quanto mais resistores estiverem associados em série, maior será a resistência equivalente e, portanto, menor será a intensidade da corrente elétrica.
- 2) Em uma ligação em série, se um dos resistores for desligado, todos os outros deixarão de funcionar pois o circuito estará interrompido.

a.2) Associação em Paralelo:

Este tipo de ligação é feito, conectando-se os resistores entre os mesmos pontos de um circuito, de tal forma que podemos submetê-los a uma mesma diferença de potencial. Veja:



A corrente elétrica, ao chegar no ponto A, irá se dividir, de tal forma que, quanto maior a resistência de um ramo, menor será a intensidade da corrente elétrica neste ramo.

O resistor equivalente é aquele que, submetido à mesma tensão V , é percorrido pela corrente elétrica total $i = i_1 + i_2 + i_3$ (01)

Como $V = Ri \Rightarrow i = \frac{V}{R}$. Assim: $i = \frac{V}{R_{EQ}}$; $i_1 = \frac{V}{R_1}$; $i_2 = \frac{V}{R_2}$ e $i_3 = \frac{V}{R_3}$ (02)

Substituindo as equações (02) em (01), temos: $\frac{V}{R_{EQ}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

que é a maneira de calcularmos a resistência equivalente na associação em paralelo.

Observações:

- 1) O valor da resistência equivalente é menor do que o de cada resistência associada. Quanto mais resistores forem ligados em paralelo, menor será a resistência equivalente e maior a intensidade da corrente elétrica.
- 2) Quando tivermos somente dois resistores, R_1 e R_2 , associados em paralelo, a resistência equivalente pode ser determinada pela seguinte regra prática.

$$R_{EQ} = \frac{\text{produto}}{\text{soma}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

- 3) No caso de termos uma associação de N resistores iguais a R , a resistência equivalente pode ser determinada da seguinte forma:

$$R_{EQ} = \frac{R}{N}$$

b) Potência Elétrica

Quando as cargas elétricas atravessam um resistor, ocorre uma transformação de energia. A esta transformação podemos associar um trabalho realizado. A potência elétrica relacionada a este trabalho é:

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{q \cdot (V_A - V_B)}{\Delta t}; \quad \text{mas } \frac{q}{\Delta t} = i. \quad \text{Assim } P = V \cdot i$$

Esta é uma expressão geral para o cálculo da potência elétrica, seja para resistores ou para outros aparelhos que ainda serão estudados.

Quando trabalharmos com um resistor, especificamente, além da expressão anterior, existem duas outras. Veja:

$$P = V \cdot i \quad \text{mas } V = R \cdot i; \quad \text{Assim, } P = (R \cdot i) \cdot i \quad P = R \cdot i^2$$

Esta expressão pode ser utilizada facilmente quando os aparelhos estiverem ligados em série pois, neste tipo de associação, a corrente elétrica é a mesma em todos eles. Neste caso, quanto maior a resistência de um resistor, maior será a potência por ele dissipada.

$$P = V \cdot i \quad \text{mas } i = \frac{V}{R}; \quad \text{Assim, } P = V \cdot \frac{V}{R} \quad P = \frac{V^2}{R}$$

Quando os aparelhos estiverem ligados em paralelo, a tensão elétrica é a mesma sobre eles. Assim, podemos perceber que, neste caso, a potência dissipada por um resistor é inversamente proporcional à sua resistência elétrica. Esta situação é de muito interesse para nós pois, em nossas residências, a ligação é feita em paralelo, basicamente. Assim, quando mudamos a posição de um chuveiro de verão para inverno, estamos aumentando a sua potência. Para isto ocorrer devemos, portanto, diminuir a sua resistência elétrica.

5 - APARELHOS DE MEDIDA

Em um laboratório, é muito útil a utilização de aparelhos que possam medir os valores de algumas grandezas físicas envolvidas na experiência.

Na Mecânica, temos o cronômetro, a balança e o dinamômetro, por exemplo.

Iremos estudar dois aparelhos mais úteis à Eletrodinâmica: o Amperímetro e o Voltímetro.

a) Amperímetro

É o aparelho destinado a medição da intensidade da corrente elétrica. Ele deve ser **ligado em série** ao ramo do circuito onde queremos saber esta intensidade. Além disso, para que o amperímetro forneça uma leitura o mais precisa possível, a sua resistência elétrica deve ser muito pequena pois, dessa forma, ele não irá alterar sensivelmente o valor da resistência equivalente.

Na grande maioria dos exercícios, estaremos considerando o **amperímetro ideal**, ou seja, aquele que possui resistência elétrica nula.

O seu símbolo em um circuito elétrico é: 

b) Voltímetro

Como o próprio nome sugere, este aparelho mede a diferença de potencial entre os pontos do circuito em que ele for ligado. Para tanto, ele deve possuir resistência elétrica muito grande pois a corrente elétrica que o atravessa não pode ser significativa. Além disso, o Voltímetro é ligado em paralelo. O Voltímetro ideal é aquele que possui resistência elétrica infinita. A sua representação esquemática em um circuito é:



Observação:

Existem outros aparelhos de medida na Eletrodinâmica como, por exemplo, o Ohmímetro (destinado a medir resistência elétrica). Porém, iremos nos preocupar apenas com os dois anteriores. Existe um aparelho, chamado Multímetro, que engloba as funções do Amperímetro, do Voltímetro e do Ohmímetro.

GERADORES E RECEPTORES

1 - INTRODUÇÃO

No **capítulo** anterior, iniciamos o estudo dos circuitos elétricos. Em vários exercícios, foi mencionado que havia uma bateria ou uma pilha. Consideramos, nestes casos, que a tensão elétrica fornecida pela bateria ou pela pilha era constante e, por causa desta diferença de potencial, uma corrente elétrica poderia ser estabelecida no circuito.

Neste **capítulo** estudaremos os geradores (as baterias e as pilhas são exemplos) mais aprofundadamente. Teremos a oportunidade de conhecer a equação e o gráfico de um gerador. Veremos, também, que o gerador é um dos aparelhos fundamentais para a existência de um circuito elétrico pois é ele o responsável pela manutenção da ddp necessária à existência da corrente elétrica.

Logo a seguir, estaremos trabalhando com um outro aparelho do circuito elétrico chamado de receptor (os motores elétricos são exemplos deste tipo de aparelho).

Por último, trataremos dos circuitos elétricos de maneira mais geral, onde podem aparecer resistores, aparelhos de medida, geradores e receptores.

2 - GERADORES

Já sabemos que uma pilha, por exemplo, tem a capacidade de gerar um campo elétrico ao longo do circuito e, por isso, ela pode promover uma ordenação ao movimento dos elétrons em um fio metálico. Esta característica nos indica que a pilha cria uma diferença de potencial entre os pontos do circuito, o que faz com que haja uma corrente elétrica.

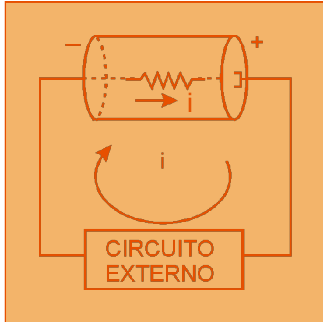
A pilha é um exemplo de um tipo de aparelho **cujas funções básicas são transformar uma forma qualquer de energia em energia elétrica**. Este aparelho recebe o nome de GERADOR.

a) Características de um Gerador:

Todo gerador possui duas características principais: a sua **força eletromotriz** e a sua **resistência interna**.

a.1) Força Eletromotriz (fem ou ϵ):

Um gerador sempre possui dois pólos com sinais opostos. Pensando no sentido convencional da corrente, as cargas positivas do circuito se movimentam, ordenadamente, no sentido do seu pólo negativo. A tendência é que, ao chegarem neste pólo, estas cargas permaneçam lá. É neste instante que entra o papel do gerador, propriamente dito. Através do consumo de uma forma qualquer de energia (no caso de uma pilha, a energia consumida é elétrica), o gerador realiza um trabalho sobre as cargas no sentido de levá-las até o pólo positivo. Veja:



Este deslocamento é, obviamente, forçado. Quando estas cargas chegam ao pólo positivo, elas iniciam um novo deslocamento ao longo do circuito externo.

Chamamos de força eletromotriz de um gerador à razão entre o módulo do trabalho por ela realizado sobre as cargas elétricas e a quantidade de carga que o atravessa. Matematicamente, temos:

$$\epsilon = \frac{W_{AB}}{q}$$

Note que a unidade da força eletromotriz é o **joule/coulomb**, que recebe o nome de **volt**. Assim, a fem é uma diferença de potencial e não uma força, como o seu nome pode, a princípio, sugerir. Quando dizemos que uma pilha tem fem de 1,5 V, estamos falando que ela fornece 1,5 J de energia elétrica para cada 1,0 C de carga que a atravessa.

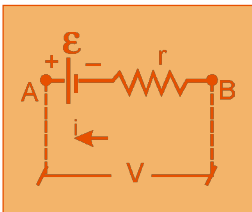
A força eletromotriz é a diferença de potencial total criada pelo gerador em um circuito.

a.2) Resistência Interna (r):

As cargas elétricas que atravessam o gerador recebem uma certa quantidade de energia elétrica. Este fato pode ser comprovado pois o gerador realiza sobre estas cargas um trabalho. Porém, parte desta energia já é gasta no deslocamento que é feito dentro do próprio gerador (uma pilha, após um certo tempo de funcionamento, tem a sua temperatura aumentada). Isto nos sugere que os geradores possuam, internamente, alguma resistência elétrica. A esta resistência damos o nome de Resistência Interna.

b) Representação de um Gerador:

O gerador é representado em um circuito da seguinte forma:



Onde a barra maior é o seu pólo positivo e a menor, o pólo negativo. O resistor desenhado ao lado das barras representa a sua resistência interna. Note que estão representados no esquema a força eletromotriz e a diferença de potencial (V) efetivamente liberada para o circuito externo. Esta é ddp é menor do que a força eletromotriz pois as cargas gastam energia dentro do gerador.

c) Equação do Gerador:

Note que as cargas elétricas recebem uma quantidade de energia do gerador (total) e dissipam parte desta energia (perdida) durante o deslocamento dentro dele. A energia (útil) que estas cargas terão, ao abandonar o gerador, será, portanto, a diferença entre as quantidades de energia recebida e dissipada.

Podemos utilizar também a noção de potência elétrica. Desta forma, a potência útil (P_u) é igual à diferença entre as potências total (P_T) e dissipada (P_D). Assim: $P_u = P_T - P_D$

Onde: $P_u = V \cdot i$; $P_T = \epsilon \cdot i$; $P_D = r \cdot i^2$

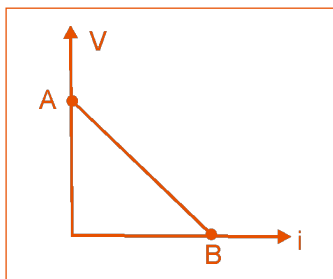
Substituindo as expressões na equação da potência, temos: $V \cdot i = \epsilon \cdot i - r \cdot i^2$

E dividindo os termos por i.

$$V = \epsilon - r \cdot i$$

que é a equação do gerador.

Utilizando a equação do gerador podemos esboçar a sua curva característica. A função deduzida é do 1º grau, o que sugere que o gráfico $V \times i$ seja uma reta (inclinada para baixo).



Os pontos A e B do gráfico são de fundamental importância para nós. O ponto A corresponde a uma corrente elétrica nula, ou seja, o gerador não está ligado a um circuito (gerador em aberto). Substituindo $i = 0$ na equação do gerador, temos: $V = \varepsilon - r \cdot i \Rightarrow V = \varepsilon - r \cdot 0 \Rightarrow V = \varepsilon$.

Este ponto representa, portanto, o valor da força eletromotriz do gerador.

Já o ponto B é o ponto em que $V = 0$. Isto significa que as cargas elétricas consomem toda a energia dentro do próprio gerador e, portanto, o circuito externo não funciona. Para tal fato acontecer, devemos ligar um fio de

resistência muito baixa aos pólos do gerador, promovendo um curto-circuito. A corrente elétrica terá sua intensidade máxima e poderá ser calculada por: $V = \varepsilon - r \cdot i \Rightarrow 0 = \varepsilon - r \cdot i_{cc} \Rightarrow i_{cc} = \frac{\varepsilon}{r}$.

Observações:

1) Um gerador é chamado de ideal quando sua resistência interna for nula. Neste caso, a tensão (V) fornecida ao circuito será a sua própria força eletromotriz e o seu gráfico será uma reta paralela ao eixo horizontal. Na prática, não existem geradores dessa forma.

2) Os geradores podem ser associados da mesma forma que os resistores. Isto é verificado, por exemplo, com as pilhas em um rádio.

Podemos associar em paralelo somente geradores que possuam a mesma força eletromotriz. Neste caso, o gerador equivalente terá a mesma força eletromotriz daqueles associados e uma resistência interna equivalente que é calculada da maneira que aprendemos no estudo dos resistores.

Quando a associação de geradores for feita em série, o equivalente terá uma força eletromotriz que é a soma das fem dos geradores associados. Também neste caso, calculamos a resistência equivalente tal qual o fazemos para resistores em série.

3 - RECEPTORES

Existem aparelhos em um circuito elétrico, chamados receptores, cuja função é transformar a energia elétrica que recebem em uma forma qualquer de energia que não seja térmica. Os motores elétricos (encontrados em ventiladores, carrinhos elétricos, secadores de cabelo, etc.) são exemplos deste tipo de aparelho.

De uma certa maneira, portanto, podemos dizer que o receptor é o oposto do gerador.

a) Características de um Receptor:

Um receptor possui, da mesma forma que um gerador, dois pólos, um positivo e outro negativo. Além disso, há uma resistência interna, responsável por uma certa dissipação de energia elétrica.

a.1) Força Contra-Eletromotriz (f_{cem} ou ε'):

Quando uma corrente elétrica atravessa um receptor, parte da energia elétrica que as cargas possuem é transformada em uma forma qualquer de energia (exceto térmica). A esta transformação de energia podemos relacionar um trabalho útil realizado pelas cargas. Denominamos de força contra-eletromotriz à razão entre o trabalho realizado pelas cargas e a quantidade de carga que atravessa o receptor. Matematicamente:

$$\varepsilon' = \frac{W}{q}$$

A f_{cem} é uma diferença de potencial (medida em volts no S.I.) e não uma força como o nome sugere.

Na verdade, podemos definir como força contra-eletromotriz à tensão útil que é aproveitada pelo receptor.

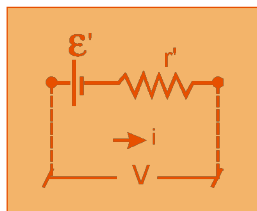
a.2) Resistência Interna (r'):

Qualquer receptor, após um certo tempo de funcionamento, sofre um certo aquecimento, o que sugere que parte da energia elétrica foi transformada em energia térmica. Acontece, porém, que o receptor não é produzido para esquentar. Logo, podemos concluir que esta energia térmica representa uma energia perdida, que não foi efetivamente utilizada pelo aparelho.

O fato descrito no parágrafo anterior é devido ao fato de o receptor possuir, internamente uma resistência elétrica que promove o efeito Joule quando a corrente elétrica o atravessa.

b) Representação de um Receptor:

A representação esquemática de um receptor em um circuito elétrico é a seguinte:



Note que é uma representação idêntica ao do gerador. A característica que nos faz diferenciar estes dois aparelhos é o sentido da corrente elétrica. Internamente ao receptor, a corrente se orienta do pólo positivo para o negativo (lembre-se que, no gerador, é o contrário).

Na figura anterior, a tensão V é a diferença de potencial total a que o receptor está sujeito. Deste valor, uma parte é aproveitada (que está relacionada com a fcm) e uma outra parcela é dissipada (que está relacionada com a resistência interna).

c) Equação de um Receptor:

A relação de potência elétrica utilizada para se deduzir a equação do gerador será mais uma vez utilizada para a dedução da equação do receptor. Sabemos que a potência total recebida pelo receptor é igual à soma do que foi aproveitado e o que foi dissipado. Assim: $P_T = P_U + P_D$

Onde: $P_T = V \cdot i$; $P_U = \varepsilon' \cdot i$; $P_D = r' \cdot i^2$

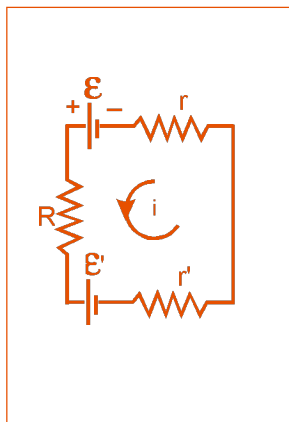
Substituindo as expressões na equação da potência, temos: $V \cdot i = \varepsilon' \cdot i + r' \cdot i^2$. E dividindo os termos por i .

$$V = \varepsilon' + r' \cdot i$$

Que é a equação do gerador

4 - LEI DE POUILLET

Vamos imaginar o circuito simples representado na figura seguinte:



Neste circuito, o resistor R representa o equivalente de todas as resistências que podem existir no circuito e está em série com as resistências internas do gerador e do receptor. O mesmo podemos dizer para o gerador e o receptor representados.

Se subtrairmos a fcm ε do gerador pela fcm ε' do receptor teremos a tensão elétrica que o resistor R e as resistências internas dispõem para consumir. Utilizando a 1ª Lei de Ohm, $V = R \cdot i$, podemos deduzir que $V = \varepsilon - \varepsilon'$. Assim, a corrente elétrica total que passa pelo circuito pode ser dada por:

$$I_{\text{total}} = \frac{\varepsilon - \varepsilon'}{R + r + r'}$$

que é a expressão matemática da Lei de Pouillet

Note que esta lei é uma consequência da 1ª Lei de Ohm.

ELETROMAGNETISMO

1 - INTRODUÇÃO

O nome Magnetismo se refere ao fato de as primeiras observações dos fenômenos relacionados aos ímãs terem acontecido numa região chamada Magnésia. Nesta região, notava-se que algumas pedras (formadas por um óxido de ferro chamado de magnetita) tinham a capacidade de atrair pedaços de ferro.

Neste capítulo, trabalharemos com os fenômenos magnéticos naturais e artificiais. Iremos estudar o campo magnético gerado por ímãs e por correntes elétricas. Logo em seguida, verificaremos a existência da força magnética, que possui uma larga aplicação prática. Por fim, veremos uma das mais importantes descobertas já feitas pelo homem: a indução eletromagnética, que tornou possível a utilização doméstica da energia elétrica e toda a evolução da indústria eletrônica.

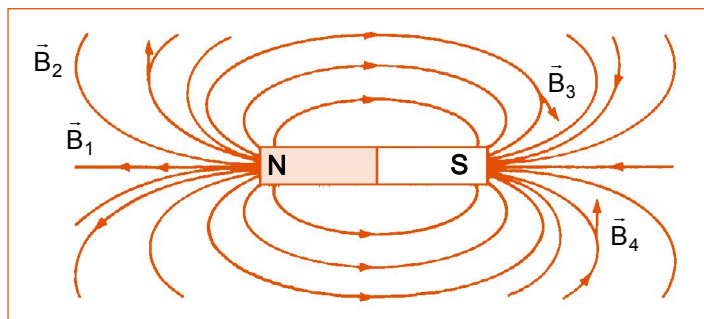
2 - ÍMÃS

Ímãs são corpos que possuem a capacidade de atrair substâncias tais como o ferro. Como já foi mencionado, os ímãs são compostos por um óxido de ferro.

Os ímãs são os responsáveis pelo aparecimento do campo magnético que, a exemplo do campo elétrico da eletricidade, permite a aplicação de uma força. Representaremos o campo magnético por B . A unidade de campo magnético no Sistema Internacional é o **tesla (T)**.

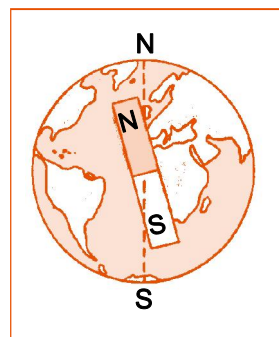
Veremos, logo a seguir, as principais propriedades dos ímãs.

A) Atividade magnética: Um ímã possui as extremidades ativas magneticamente, enquanto que a sua região central é neutra. As extremidades de um ímã recebem o nome de pólos.

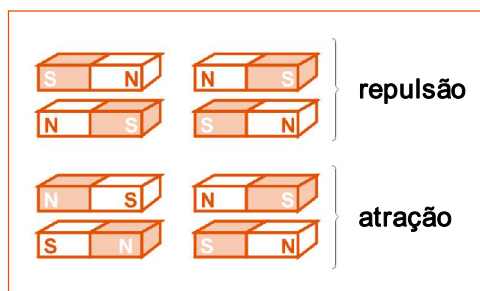


B) Orientação em relação à Terra: Quando um ímã está livre para girar em torno de seu eixo, ele se orienta aproximadamente na direção norte-sul terrestre. O pólo do ímã que aponta para o norte geográfico da Terra recebe o nome de pólo norte do ímã. O pólo que aponta para o sul geográfico é chamado de pólo sul do ímã.

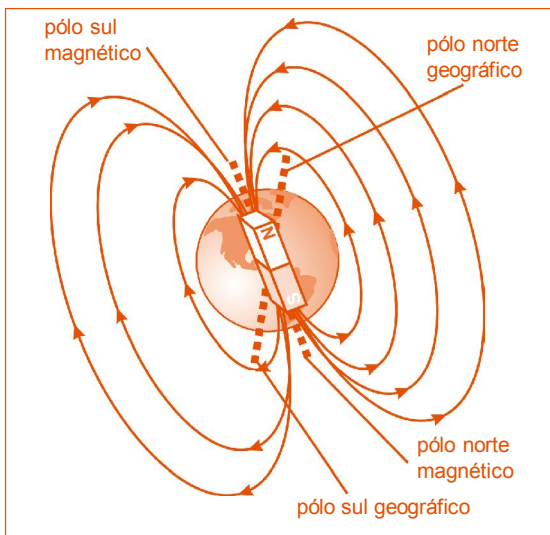
A **bússola** é uma aplicação desta propriedade, pois ela é composta por uma agulha imantada que pode girar livremente em torno de seu eixo. Desta forma, esta agulha estará orientada na direção norte-sul terrestre (desde que não haja outros campos magnéticos externos).



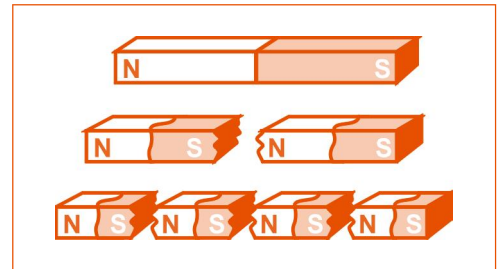
C) Atração e Repulsão: Pólos de mesmo nome se repelem e de nomes diferentes se atraem.



Através desta propriedade, podemos concluir que a Terra se comporta como um grande ímã, sendo que o pólo norte geográfico funciona como um pólo sul magnético e o pólo sul geográfico é um pólo norte magnético.



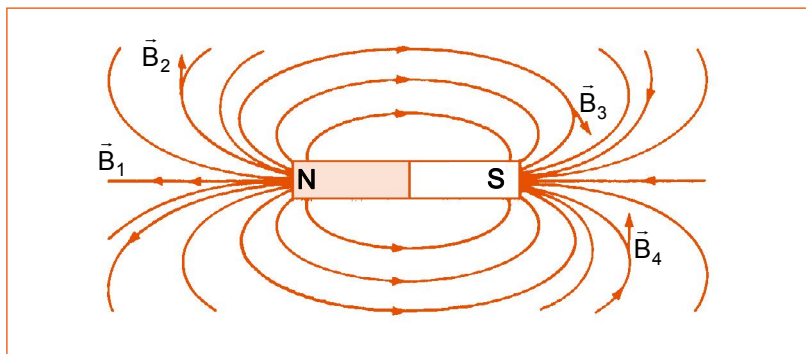
D) Inseparabilidade dos pólos: É impossível separarmos um pólo norte de um pólo sul. Quando um ímã é dividido em vários pedaços, cada parte apresenta um pólo norte e um pólo sul.



3 - LINHAS DE INDUÇÃO

Estudamos, na eletrostática, as chamadas linhas de força que representam um campo elétrico qualquer. Estas linhas devem ser desenhadas de tal forma que o vetor campo elétrico seja tangente a elas em todos os pontos.

No magnetismo, existe uma representação para o campo magnético, que chamamos de linhas de indução. Vamos considerar que uma linha de indução, externamente ao ímã, “nasce” no pólo norte e se dirige para o pólo sul. A figura seguinte mostra as linhas de indução do campo magnético gerado por um ímã em forma de barra.

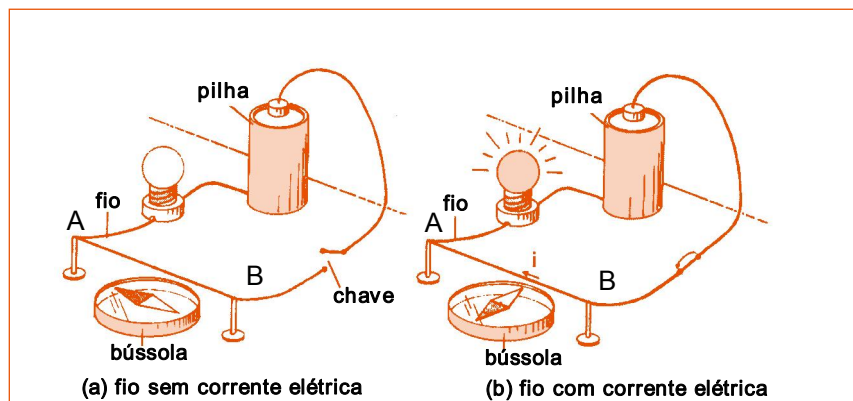


Observações:

- 1) A densidade de linhas de indução é proporcional à intensidade do campo magnético.
- 2) O vetor campo magnético é tangente às linhas de indução em todos os seus pontos.
- 3) As linhas de indução, ao contrário das linhas de força, são, sempre, fechadas.

4 - EXPERIÊNCIA DE OERSTED

O físico H. C. Oersted queria estabelecer uma profunda relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos. Para isso, ele montou um circuito elétrico muito simples, como o da figura ao lado.



Próximo ao fio AB, ele colocou uma bússola. Quando o circuito era ligado, Oersted percebeu que esta bússola sofria um deflexão, o que indicava uma influência da corrente elétrica gerada no circuito sobre os fenômenos magnéticos. Oersted concluiu, então, que uma corrente elétrica gera, em torno do fio no qual ela circula, um campo magnético.

A partir desta experiência, estava inaugurado o **Eletromagnetismo**, ou seja, os fenômenos elétricos e magnéticos podiam ser estudados em uma só ciência.

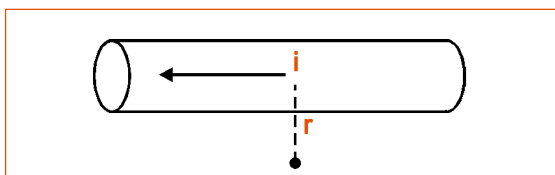
Observação:

Para o estudo do eletromagnetismo, iremos utilizar as 3 dimensões. Como, na folha de papel, só dispomos de duas, estabeleceremos a seguinte convenção:

- × - Vetor perpendicular ao plano, “entrando” nele.
- - Vetor perpendicular ao plano, “saindo” dele.

5 - CAMPO MAGNÉTICO GERADO POR CORRENTES ELÉTRICAS

A) 1º caso: fio retilíneo de comprimento muito grande. A figura seguinte mostra um fio retilíneo de grande comprimento e que é atravessado por uma corrente elétrica.

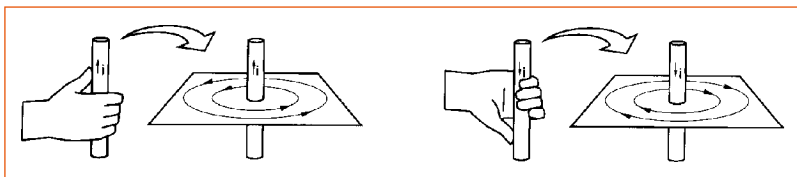


O módulo do campo magnético gerado pela corrente elétrica a uma distância r do fio pode ser dada por:

$$B = \frac{\mu i}{2\pi r}$$

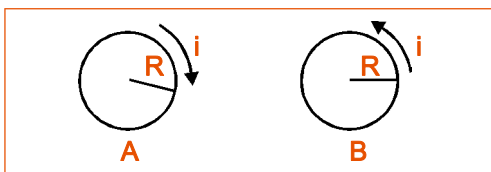
Onde : μ é a permissividade magnética, uma característica do meio.

Para que possamos compreender a direção e o sentido do campo magnético, temos que utilizar a chamada “regra da mão direita nº 1”. Veja.

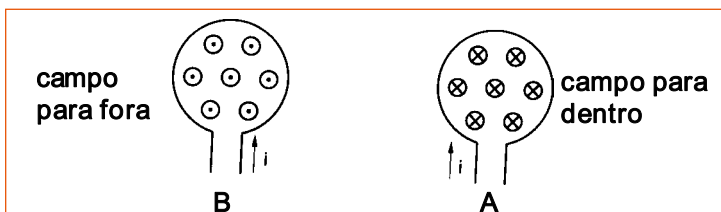


Devemos orientar o polegar direito no sentido da corrente elétrica. Com os outros dedos, devemos tentar “pegar” o fio. O movimento executado pelos dedos nos dá o sentido das linhas de indução do campo magnético gerado pelo condutor.

B) 2º caso: campo magnético gerado no centro de uma espira circular: Damos o nome de espira a qualquer forma geométrica que produzimos com um fio. A figura seguinte mostra duas espiras circulares de raio R , percorridas por uma corrente elétrica de intensidade i .



Utilizando a regra da mão direita nº 1, podemos obter o sentido do campo magnético no centro de cada espira.

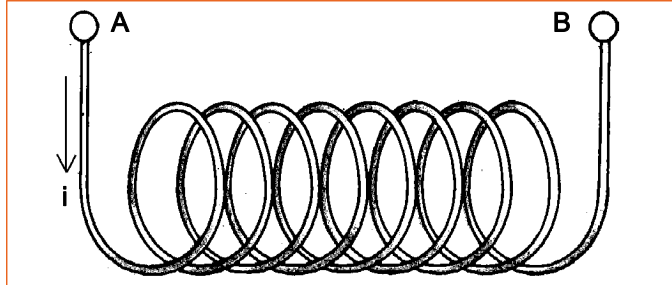


Através desta regra, percebemos que na espira A o campo magnético está orientado para dentro da folha, o que se assemelha com um pólo Sul. Já na espira B, o campo magnético está “saindo”, o que no faz lembrar do pólo Norte. Uma espira percorrida por uma corrente elétrica se comporta, portanto, como um pequeno ímã.

O módulo do campo magnético no centro de cada espira é dado pela seguinte expressão.

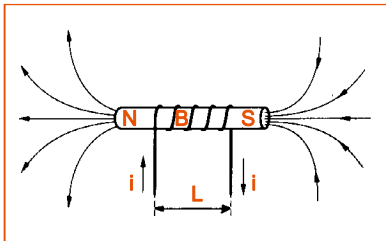
$$B = \frac{\mu}{2R} i$$

C) 3º caso: campo magnético no interior de um solenóide. Um solenóide pode ser construído quando damos a um fio uma forma helicoidal (a mesma forma de uma mola, por exemplo). A figura seguinte mostra um solenóide de comprimento L sendo percorrido por uma corrente de intensidade i .



Ao longo do comprimento L , podemos contar que existe um número N de espiras.

Pode-se demonstrar que o campo magnético no interior do solenóide é uniforme e sua orientação pode ser dada, também, pela regra da mão direita nº 1.

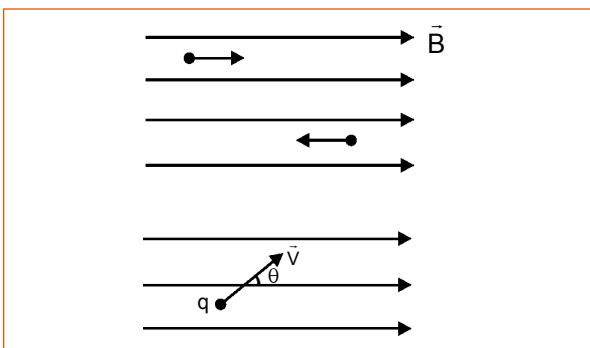


A intensidade deste campo magnético uniforme é dada por: $B = \frac{\mu N i}{L}$

6 - FORÇA MAGNÉTICA

A) sobre cargas: Quando uma carga elétrica é abandonada em um campo magnético, não atua sobre ela força magnética alguma, pois uma carga elétrica em repouso não cria campo magnético.

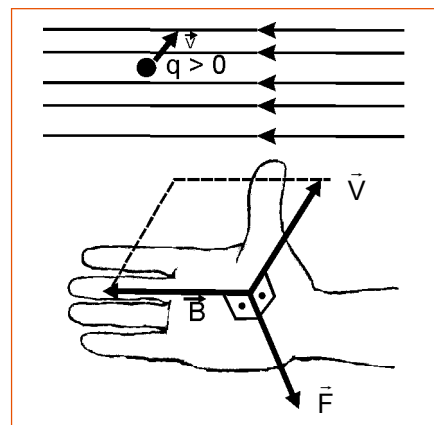
Porém, se imprimirmos uma velocidade a esta carga, haverá o aparecimento de uma força de origem magnética sobre ela. A figura seguinte mostra as duas situações.



Esta força magnética que atua sobre uma carga elétrica é dada por:

$$F = B \cdot q \cdot v \cdot \sin\theta$$

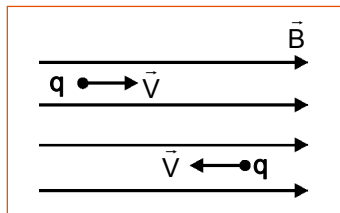
Podemos encontrar a direção e o sentido da força magnética através da regra da mão direita nº 2. Veja:



Em relação ao ângulo θ entre a velocidade e as linhas de indução, podemos estabelecer as seguintes situações:

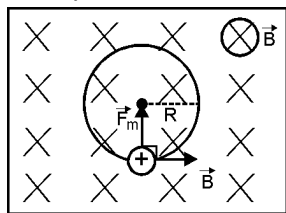
A.1) $\theta = 0^\circ$ ou $\theta = 180^\circ$

Como o seno destes dois ângulos é zero, não há a aplicação de força magnética sobre a carga, quando ela for lançada na mesma direção do campo. Nestes dois casos, a carga elétrica irá executar um movimento retilíneo uniforme.



A.2) $\theta = 90^\circ$

O seno de 90° é máximo (e igual a 1). Verifica-se que, para este ângulo de lançamento, a carga elétrica executa um movimento circular uniforme de raio R e, portanto, a força magnética funciona como força centrípeta.



Igualando-se as expressões da força magnética e centrípeta, temos:

$$F_c = F_{MAG} \Rightarrow m \frac{v^2}{R} = B \cdot q \cdot v \cdot \sin 90^\circ$$

$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

Observando a expressão acima, verificamos que o raio da trajetória circular é diretamente proporcional à massa da partícula e à sua velocidade e inversamente proporcional à carga da partícula e ao campo magnético.

A.3) outros valores de θ

Para ângulos de lançamento diferentes de 0° , 90° e 180° , a carga elétrica irá descrever uma trajetória helicoidal (hélice cilíndrica).

B) sobre fios: Imagine um fio retilíneo de comprimento L , conduzindo uma corrente elétrica de intensidade i . Se este fio for colocado em uma região do espaço onde existe um campo magnético B , as cargas elétricas que se movimentam em seu interior ficarão sujeitas a uma força de natureza magnética. Podemos concluir que, assim sendo, o fio como um todo sofrerá a ação desta força magnética cuja expressão é: $F = B \cdot i \cdot L \cdot \sin \theta$

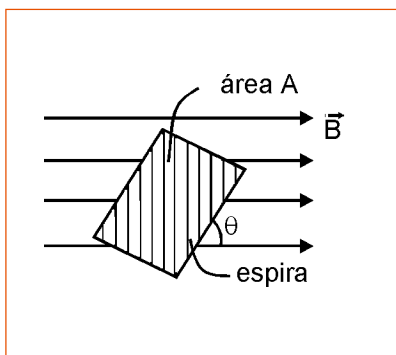
Onde θ é o ângulo formado entre as linhas de indução e o sentido da corrente elétrica.

Como o sentido da corrente elétrica corresponde ao movimento de cargas positivas, teremos que utilizar a regra da mão direita nº 2, dando um tapa sempre com a palma da mão.

7 - INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

A) Fluxo Magnético (ϕ)

A figura seguinte representa várias linhas de indução de um campo magnético uniforme de intensidade B e uma espira quadrada de área A imersa neste campo.



Note que o plano da espira faz um ângulo θ com as linhas de indução.

Quando contamos o número de linhas de indução que atravessam a área da espira, estamos medindo o fluxo magnético através desta espira.

O fluxo magnético depende de 3 fatores:

1. Da intensidade do campo magnético. Quanto maior a intensidade, maior será o fluxo.
2. Da área da espira. Quanto maior a área, maior o fluxo.
3. Da inclinação da espira em relação às linhas de indução. Quando o plano da espira for perpendicular às linhas de indução, o fluxo magnético será máximo. Se o plano da espira for paralelo às linhas de indução, o fluxo será nulo.

Ajustando estas características em uma expressão matemática, temos: $\phi = B.A.\text{sen}\theta$

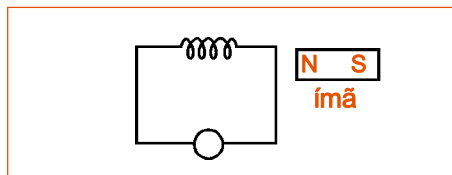
Observação:

Na verdade, a definição de fluxo magnético leva em consideração o ângulo entre as linhas de indução e um vetor perpendicular ao plano da espira, sendo que a expressão é: $\phi = B.A.\cos\alpha$.

Porém, o ângulo α é o complemento de θ , o que nos leva a concluir que $\cos\alpha = \text{sen}\theta$.

B) Experiência de Faraday

No século passado, o físico Michael Faraday realizou uma experiência que revolucionou a humanidade. Em linhas gerais, Faraday criou um circuito contido por uma bobina e um galvanômetro. Este circuito era movimentado nas imediações de um ímã. Quando o circuito permanecia fixo em relação ao ímã, não havia indicação de corrente elétrica no galvanômetro. Porém, quando o circuito era movimentado em relação ao ímã, o galvanômetro acusava uma corrente elétrica que era tanto mais intensa quanto mais rápido se movimentava o circuito.



É fácil perceber que a movimentação do circuito em relação ao ímã faz com que o fluxo magnético através da bobina varie com o tempo. A variação do fluxo magnético induz o aparecimento de uma corrente elétrica, ou seja, cria uma força eletromotriz no circuito (que iremos chamar de força eletromotriz induzida, ($\mathcal{E}$)). Quanto mais rápida for a variação do fluxo, mais intensa será a força eletromotriz induzida e, portanto, mais intensa a corrente elétrica induzida.

A variação do fluxo magnético em uma certa região funciona como um gerador, pois faz aparecer uma tensão elétrica, que por sua vez é responsável pelo aparecimento de uma corrente elétrica. Este fenômeno é conhecido por indução eletromagnética e foi após a sua descoberta que a eletricidade se popularizou, permitindo o avanço de ciências como a eletrônica. As usinas hidroelétricas, termoelétricas e nucleares se baseiam na lei de Faraday para a obtenção de energia elétrica a partir de uma outra forma de energia.

Matematicamente, podemos escrever a lei da Faraday da seguinte forma:

$$\mathcal{E} = - \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

onde o sinal negativo será explicado mais adiante.

C) Lei de Lenz

Até agora aprendemos que uma variação do fluxo magnético faz aparecer uma força eletromotriz induzida e uma corrente elétrica induzida. No entanto, não conhecemos o sentido desta corrente elétrica. A lei de Lenz é a ferramenta que temos que utilizar toda vez que quisermos descobrir o sentido da corrente induzida. Ela nos afirma o seguinte:

“A corrente elétrica induzida em um circuito tem o sentido tal que se opõe à sua causa.”

FÍSICA MODERNA

A) FÍSICA NUCLEAR

Os núcleos atômicos podem ser estáveis (quando possuem pouca energia) ou instáveis (quando possuem muita energia). Os núcleos instáveis recebem o nome de radioativos e tendem a emitir radiação sob a forma de partículas ou de ondas eletromagnéticas, a fim de diminuir a sua quantidade de energia e tornarem-se estáveis. Esse processo denomina-se decaimento radioativo. O núcleo emissor é chamado de **núcleo pai** e o resultante, **núcleo filho**.

Essa radiação pode ser de três tipos: α (alfa), β (beta) ou γ (gama).

- 1) Radiação ALFA (α):** É formada por dois prótons (p^+) e por dois nêutrons (n^0), ou seja, é um núcleo de hélio. Possui velocidade relativamente baixa – é a mais lenta das três emissões – cerca de 20.000 km/s, com conseqüente pequeno poder de penetração. Essa radiação mal consegue penetrar na epiderme humana, não causando sérios danos ao nosso organismo. Após o decaimento, o núcleo filho terá um número atômico duas unidades menor e número de massa quatro unidades menor. Alguns exemplos de α -emissores: ^{234}U , ^{232}Th e ^{212}Po .
- 2) Radiação BETA (β):** É formada por um elétron nuclear. Em um núcleo radioativo pode acontecer de um nêutron sofrer uma fissão (quebra) e se transformar em um próton, um elétron e um neutrino. O próton resultante continua no núcleo e o elétron é emitido, constituindo-se em uma radiação β . A radiação beta possui uma velocidade em torno de 99% da velocidade da luz no vácuo (c) e apresenta um poder médio de penetração, podendo atravessar a camada mais superficial da pele. O núcleo filho apresentará um número atômico uma unidade maior que o núcleo pai, mas com o mesmo número de massa. São β -emissores: ^{210}Bi , ^3H e ^{60}Co .
- 3) Radiação GAMA (γ):** É uma onda eletromagnética de grande frequência e pequeno comprimento de onda, de grande energia. Sua velocidade no vácuo é a mesma a de toda onda eletromagnética, ou seja, ' c '. Possui grande poder de penetração, conseguindo atingir órgãos internos do nosso organismo. É a forma de radiação mais perigosa, podendo desencadear processos cancerígenos. O núcleo filho continua com a mesma constituição que o núcleo pai, somente terá menor energia e portanto tende a ser mais estável. Alguns γ -emissores: ^{191}I , ^{235}U e ^{60}Co .

Observe a tabela comparativa entre as três radiações:

Emissão	Constituição	Velocidade	Poder de penetração	Núcleo filho
α	$2 p^+ + 2 n^0$	20.000 km/s	pequeno	$Z - 2 ; A - 4$
β	$1 e^-$ (nuclear)	99% de c	médio	$Z + 1 ; A$
γ	onda eletromagnética	c	grande	$Z ; A$

Um núcleo pai ao decair pode passar por vários núcleos filhos instáveis até que chegue a um estável. A sequência de decaimentos de um núcleo radioativo é chamada de **série radioativa**.

- 4) Tempo de Meia-Vida:** É o tempo gasto para que metade da amostra radioativa se desintegre. É também chamado de Período de semidesintegração. Vamos representar o Tempo de meia-vida por $t_{1/2}$ ou T .

Ex.: O tempo de meia-vida do Carbono-14 é de 5.670 anos. Imagine que tenhamos, hoje, 2,0 g desse material. Passados 5.670 anos teremos somente 1,0 g de carbono-14. Após mais 5.670 anos teremos 0,5 g e assim sucessivamente.

Acompanhe o raciocínio acima através do diagrama a seguir:



Hoje
2,0 g de C - 14

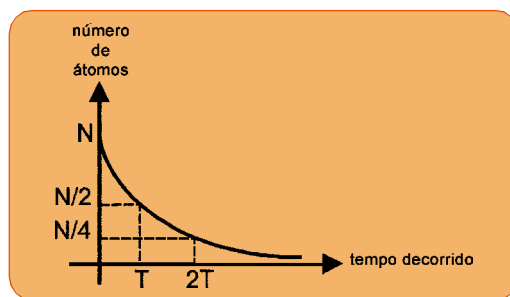


Daqui a 5760 anos
1,0 g de C - 14



Daqui a 11.340 anos
0,5 g de C - 14

Veja agora o gráfico da atividade radioativa de uma amostra em função do tempo:



5) Fissão Nuclear: É o tipo de reação nuclear que pode ocorrer com núcleos relativamente grandes (de elevado número atômico) quando bombardeados com um feixe de nêutrons. O núcleo original se fragmenta, dando origem a pelo menos dois outros núcleos e liberando uma grande quantidade de energia. A mais famosa reação de fissão nuclear é a do isótopo $^{235}_{92}\text{U}$ do Urânio, que é o processo que ocorreu na bomba lançada em Hiroshima. Acompanhe a reação:

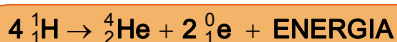


Os dois nêutrons resultantes irão colidir com mais dois núcleos de Urânio, produzindo, então, quatro nêutrons que irão colidir com mais quatro núcleos e assim por diante, em processo conhecido por reação em cadeia. Neste processo, a soma das massas do Bário, do Criptônio e dos dois nêutrons é ligeiramente menor que a soma das massas do Urânio e do nêutron originais. Essa diferença entre as massas está relacionada com a energia liberada. A relação matemática é a famosa equação de Einstein: $E = m \cdot c^2$.

A quantidade de energia produzida em uma reação de fissão de um bloco de Urânio que se “quebra” completamente é cerca de 10^6 vezes maior que a queima de um bloco de carvão de mesma massa que a do Urânio.

No reator de uma usina nuclear (como a usina de Angra dos Reis - RJ) ocorre uma reação de fissão nuclear. Porém, essa reação é controlada por moderadores que “absorvem” alguns nêutrons não deixando que a liberação de energia seja tão violenta quanto no caso da bomba.

6) Fusão Nuclear: Ao contrário da fissão, a fusão representa a união de dois núcleos leves para a formação de outro núcleo maior massa. É o tipo de reação nuclear que ocorre no Sol, onde o “combustível” são átomos de Hidrogênio que se fundem para a formação de átomos de Hélio, com a conseqüente liberação de energia. Para que essa reação ocorra, são necessárias grandes temperaturas e pressões. No núcleo do Sol, a temperatura atinge cerca de $14.000.000^\circ \text{C}$. A reação de fusão do Hidrogênio pode ser da seguinte forma:



Também neste processo, a soma das massas após a reação é menor que a soma das massas antes. A diferença entre as massas nos dá o equivalente transformado em energia através da equação de Einstein.

O Sol perde cerca de 300 milhões de toneladas a cada segundo, mas como a sua massa é da ordem de 3×10^{27} toneladas, estima-se que desde o seu surgimento (a cerca de 4 bilhões de anos atrás) a nossa estrela tenha perdido somente 2% de sua massa original.

7) Aplicações dos fenômenos radioativos:

São muitas as aplicações da radioatividade hoje em dia, dentre elas, destaca-se:

I - Como a taxa de decaimento radioativo é independente de fatores externos, podemos estabelecer que em qualquer lugar do mundo a proporção entre dois isótopos (por exemplo o Carbono-12 e o Carbono-14) pode nos dar a idade de uma amostra em função da meia vida do material.

II - O Cobalto-60 é muito usado na radioterapia, na luta contra o câncer.

III - Usa-se em usinas nucleares o processo da fissão nuclear para produção de energia elétrica. A energia obtida na quebra do Urânio é utilizada para aquecer uma certa massa de água. Quando essa massa de água se transforma em vapor, ela movimenta o dínamo, gerando uma corrente elétrica.

IV - Algumas empresas de laticínios e alimentação em geral utilizam a radiação gama (γ) para purificar os seus produtos de bactérias, por exemplo.

V - A radiação alfa (α) é utilizada como auxílio nas pesquisas sobre a estrutura da matéria.

B) FÍSICA QUÂNTICA

1) Quantização da Energia: Alguns anos antes do início do nosso século, algumas previsões teóricas a respeito da emissão térmica dos irradiadores de cavidade¹ não foram verificadas experimentalmente. De acordo com a teoria clássica, essa emissão deveria depender unicamente da temperatura (T) na qual este corpo está, sendo que a energia emitida viajaria no espaço de maneira contínua.

Em um obscuro artigo de dezembro de 1900, Max Planck supôs que a energia emitida pelos irradiadores não pudesse assumir qualquer valor, mas somente valores discretos (descontínuos), múltiplos de um valor fundamental, que seria proporcional à frequência da onda eletromagnética emitida. Hoje consideramos que a expressão matemática da energia é:

$$E = h \cdot f$$

onde: E → Energia fundamental

h → Constante de Planck ($h = 6,63 \times 10^{-34}$ J.s)

f → Frequência da onda eletromagnética

De acordo com a teoria de Planck, a energia não se espalha no espaço como um contínuo. Na verdade, a energia é transportada em pequenos **PACOTES DE ENERGIA** denominados **QUANTA DE ENERGIA**.

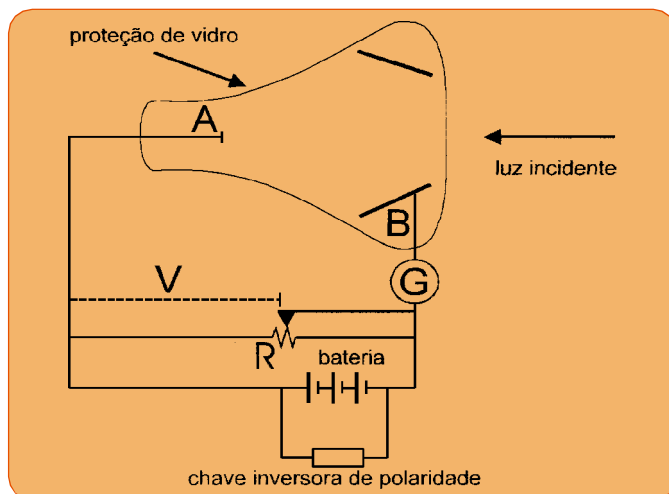
A energia total emitida por um irradiador de cavidade (que emite uma única frequência) é então:

$$E = n \cdot h \cdot f$$

Onde o número 'n' representa o número de quanta que são emitidos e se chama número quântico. Como a energia total emitida só pode assumir valores que satisfaçam a equação acima, dizemos que ela é quantizada. No seu curso de Física certamente você já teve contato com algumas grandezas que são quantizadas, dentre elas: a carga elétrica de um corpo eletrizado e as frequências naturais de uma corda tensionada, na qual pode-se gerar uma onda estacionária.

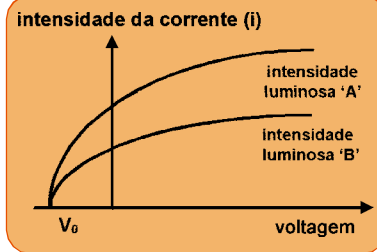
Como os quanta são numerosos e extremamente pequenos, não podemos detectá-los através dos nossos sentidos. A comparação que aqui se pode fazer é a seguinte: Ao olhar para o oceano você não consegue distinguir as inúmeras moléculas de água e tem a impressão de que o mar é um contínuo apesar de saber que ela não é correta. Nesta analogia, as moléculas de água seriam os "quanta" do oceano.

2) Efeito Fotoelétrico: Nos anos de 1886 e 1887, Hertz confirma a existência das ondas eletromagnéticas e logo após, ele e Lenard descobrem que a radiação ultravioleta **facilita** descargas elétricas pois faz com que alguns elétrons livres sejam emitidos pela superfície de metais. A emissão de elétrons livres de uma superfície metálica devida à incidência de radiação eletromagnética é chamada de **EFEITO FOTOELÉTRICO**. Veja a figura seguinte:



¹ Um irradiador dessa forma pode ser obtido construindo um cubo metálico no qual se faz uma cavidade esférica interna. Ao serem aquecidos, os elétrons da superfície da cavidade passam a emitir energia térmica que, pela teoria clássica, deveria ser um contínuo a se espalhar pelo espaço.

O circuito elétrico anterior é composto por uma bateria que possui uma chave inversora de polaridade, um reostato R, um galvanômetro G e duas placas, A e B colocadas dentro de um invólucro de vidro onde se faz vácuo. Entre as placas existe uma tensão elétrica V. Elétrons serão ejetados em A e coletados em B. O galvanômetro acusa a passagem de elétrons. Inicialmente a tensão elétrica é favorável ao movimento dos elétrons ejetados – chamados **fotolétrons**. À medida em que se faz variar a voltagem V, o galvanômetro acusa diferentes correntes fotoeletrônicas. Verificou-se que existe uma frequência mínima (chamada **frequência de corte**) abaixo da qual o efeito fotoelétrico não ocorre. Essa frequência de corte é uma característica do metal. O gráfico seguinte mostra como varia a intensidade da corrente fotoeletrônica em função da voltagem aplicada.



Observações:

- A) quando se inverte a polaridade do circuito, a corrente não cai instantaneamente a zero, o que demonstra que os elétrons são ejetados com alguma energia cinética.
- B) existe um potencial mínimo chamado de Potencial de Corte (V_0) que é independente da intensidade luminosa abaixo do qual o efeito fotoelétrico não ocorre.
- C) para uma dada intensidade luminosa existe um potencial acima do qual a corrente elétrica se torna constante.

Existem três fatos que a teoria clássica não consegue explicar:

- I Era de se esperar que a energia dos fotolétrons crescesse com o aumento da intensidade luminosa, pois um feixe mais intenso poderia fornecer mais energia aos elétrons. No entanto, a experiência mostrou que a energia máxima dos fotolétrons é independente da intensidade luminosa e só é alterada quando se altera a frequência da luz
- II Qual o motivo de existir uma frequência de corte? A teoria clássica apregoa que qualquer frequência poderia produzir o efeito fotoelétrico, desde que a luz emitida fosse bastante intensa.
- III Deveria haver um intervalo de tempo mensurável entre a absorção da luz e a ejeção do fotolétron, pois a energia radiante se espalharia no espaço. No entanto, nenhum atraso foi verificado em laboratório.

3) A Explicação de Einstein: Em 1905, o alemão Albert Einstein publica uma teoria a respeito do efeito fotoelétrico mostrando quais eram as falhas do modelo clássico e que estava em perfeita harmonia com os resultados experimentais. Essa teoria lhe rendeu o Prêmio Nobel de Física anos mais tarde.

O modelo proposto por Einstein se baseava no trabalho de Planck descrito anteriormente e pode ser resumido da seguinte forma:

- 1 - A energia radiante está concentrada em pequenos pacotes concentrados chamados **fótons**, cuja energia é $E = h \cdot f$ ('f' é a frequência da luz)
- 2 - Um elétron no metal pode absorver apenas 1 único fóton e ser ejetado.
- 3 - Quando um elétron é ejetado, sua energia cinética será: $E_c = h \cdot f - w$, onde **w** é o trabalho necessário para "arrancar" esse elétron.
- 4 - A máxima energia cinética de um fotolétron está relacionada com o menor gasto de energia na ejeção, chamado "**função trabalho**" (w_0), que é uma característica de cada metal.

Vamos ver como a teoria de Einstein explica as dúvidas levantadas anteriormente:

- I A intensidade da luz representa apenas o número de fótons emitidos e não a energia de cada um deles. Dobrar a intensidade luminosa, por exemplo, significa simplesmente dobrar o número de fótons emitidos. Logo, a energia cinética de cada elétron emitido não depende da intensidade luminosa.
- II Já que a energia do fóton é determinada pela frequência da luz emitida, é bastante lógico supor que se o elétron absorver um fóton cuja energia seja menor do que a função trabalho, não irá ocorrer o efeito fotoelétrico. A menor energia de um fóton necessária para arrancar um elétron é w_0 . Logo, a menor frequência da luz deve ser: $f_0 = w_0/h$
- III Não existe um intervalo de tempo entre a absorção do fóton e a ejeção do elétron porque a energia não viaja dispersa pelo espaço como apregoa a teoria clássica. Como a energia de uma onda eletromagnética é transmitida através de "pacotes" concentrados, o elétron pode absorvê-lo instantaneamente e ser ejetado logo após.

Caderno de Exercícios

Carga Elétrica, Lei de Coulomb, Campo Elétrico e Potencial Elétrico

- 1) (PUC-MG) Não é possível eletrizar uma barra metálica segurando-a com a mão, porque:
 - a) a barra metálica é isolante e o corpo humano bom condutor.
 - b) a barra metálica é condutora e o corpo humano isolante.
 - c) tanto a barra metálica quanto o corpo humano são bons condutores.
 - d) a barra metálica é condutora e o corpo humano semicondutor.
 - e) tanto a barra metálica como o corpo humano são isolantes.
- 2) (UFV) Dizer que a carga elétrica é quantizada significa:
 - a) que ela só pode ser positiva ou negativa.
 - b) que ela só pode assumir valores múltiplos da carga fundamental.
 - c) que ela existe livre na natureza.
 - d) que ela sempre existe em quantidades positivas.
 - e) que ela é sempre negativa.
- 3) (UNIFOR) Três corpos, A, B e C, inicialmente neutros, foram eletrizados. Após a eletrização verifica-se que A e B têm cargas positivas e C tem carga negativa. Assinale a alternativa que apresenta uma hipótese possível a respeito dos processos utilizados para eletrizar esses corpos.
 - a) A e B são eletrizados por contato e, em seguida, C é eletrizado por atrito com B.
 - b) A e B são eletrizados por atrito e, em seguida, C é eletrizado por contato com B.
 - c) B e C são eletrizados por atrito e, em seguida, A é eletrizado por contato com B.
 - d) B e C são eletrizados por contato e, em seguida, A é eletrizado por atrito com B.
 - e) os três corpos foram eletrizados por contato.
- 4) (UFV) Três bolinhas de isopor estão próximas de um bastão carregado. Uma está carregada positivamente, outra negativamente, e a última está eletricamente neutra.
Quantas bolinhas o bastão atrairá?
 - a) Duas bolinhas.
 - b) Apenas uma bolinha.
 - c) Três bolinhas.
 - d) Nenhuma bolinha.
 - e) Depende da carga do bastão.
- 5) (FATEC) Atritado com seda, o vidro fica positivo e o enxofre fica negativo. Atritado com um material X, o enxofre fica positivo. Atritado com o mesmo material X:
 - a) o vidro fica positivo.
 - b) o vidro fica negativo.
 - c) a seda fica negativa.
 - d) nenhum material fica negativo.
- 6) (UFMG) Um estudante atrita uma barra de vidro com um pedaço de seda e uma barra de borracha com um pedaço de lã. Ele nota que a seda e a lã se atraem, o mesmo acontecendo com o vidro e a borracha. O estudante conclui que esses materiais se dividem em dois pares que têm cargas do mesmo tipo. Com base nestes dados, pode-se afirmar que
 - a) a conclusão do estudante está errada.
 - b) esses pares são o vidro com a borracha e a seda com a lã.
 - c) esses pares são o vidro com a lã e a seda com a borracha.
 - d) esses pares são o vidro com a seda e a borracha com a lã.

7) (PUC-MG) Considere três esferas condutoras, idênticas, A, B e C. A esfera A tem carga $18Q$, a esfera B está carregada com $-6Q$ e a terceira esfera está neutra. Inicialmente, toca-se a esfera A na esfera B e, separado-as, toca-se a esfera B com a C. As cargas finais dessas esferas são, respectivamente:

- a) $6Q, 6Q, 6Q$
- b) $4Q, 4Q, 4Q$
- c) $12Q, 6Q, 3Q$
- d) $6Q, 3Q, 3Q$
- e) $12Q, 6Q, -6Q$

8) (CESCEM) Dispõe-se de três esferas metálicas idênticas e isoladas uma da outra. Duas delas, A e B, estão descarregadas, enquanto que a esfera C contém uma carga elétrica Q . Faz-se a esfera C tocar primeiro a esfera A e depois a esfera B. No final deste procedimento, qual a carga elétrica das esferas A, B e C, respectivamente?

- a) $Q/2, Q/2$ e nula
- b) $Q/4, Q/4$ e $Q/2$
- c) Q , nula e nula
- d) $Q/2, Q/4$ e $Q/4$
- e) $Q/3, Q/3$ e $Q/3$

9) (UFMG) Uma bolinha I carregada positivamente atrai duas outras bolinhas, II e III. As bolinhas II e III também se atraem. A alternativa que melhor explica esses fatos é a seguinte:

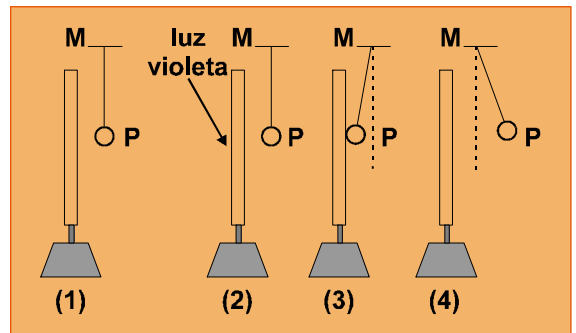
- a) as bolinhas II e III têm cargas negativas.
- b) as bolinhas II e III têm cargas positivas.
- c) a bolinha II tem carga negativa e a III, carga positiva.
- d) a bolinha II tem carga positiva e a III, carga negativa.
- e) a bolinha II estava neutra e a III, com carga negativa.

10) (UFPA) Um corpo A, eletricamente positivo, eletriza um corpo B que inicialmente estava eletricamente neutro, por indução eletrostática. Nessas condições, pode-se afirmar que o corpo B ficou eletricamente:

- a) positivo, pois prótons da Terra são absorvidos pelo corpo.
- b) positivo, pois elétrons do corpo foram para a Terra.
- c) negativo, pois prótons do corpo foram para a Terra.
- d) negativo, pois elétrons da Terra são absorvidos pelo corpo.
- e) negativo, pois prótons da Terra são absorvidos pelo corpo.

11) (FUVEST) Dispõe-se de uma placa metálica M e de uma esfera metálica P, suspensas por um fio isolante, inicialmente neutras e isoladas. Um feixe de luz violeta é lançado sobre a placa retirando partículas elementares da mesma.

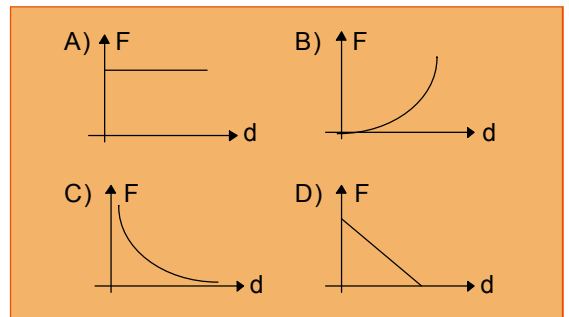
As figuras (1) a (4) ilustram o desenrolar dos fenômenos ocorridos.



Podemos afirmar que na situação (4)

- a) M e P estão eletrizadas positivamente
- b) M está negativa e P neutra
- c) M está neutra e P positiva
- d) M e P estão eletrizadas negativamente
- e) M e P foram eletrizadas por indução

12) (VUNESP) Qual dos gráficos representa a maneira como varia a força elétrica entre duas cargas pontuais em função da distância que as separa, quando são aproximadas ou afastadas uma da outra?



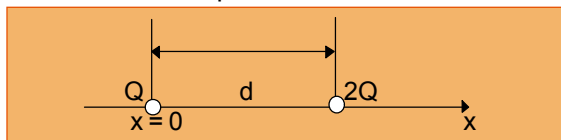
13) (UFMG) Duas cargas elétricas positivas estão apoiadas em uma superfície horizontal sem atrito. Inicialmente, as cargas estão em repouso e separadas por uma distância d , no vácuo. À medida em que as cargas se afastam, os módulos da velocidade e da aceleração de cada carga terão as seguintes modificações:

- a) velocidade aumenta, aceleração diminui.
- b) velocidade e aceleração aumentam.
- c) velocidade e a aceleração diminuem.
- d) velocidade diminui, aceleração aumenta.
- e) velocidade aumenta, aceleração permanece constante.

14) (UFJF) Duas esferas igualmente carregadas, no vácuo, se repelem mutuamente quando separadas a uma certa distância. Triplicando-se a distância entre as esferas, a força de repulsão entre elas torna-se:

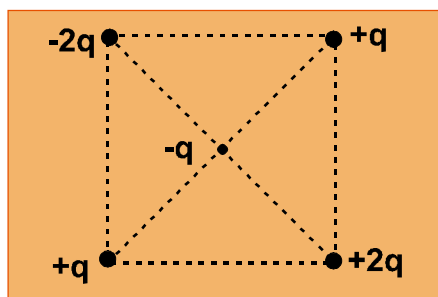
- a) 3 vezes menor
- b) 6 vezes menor
- c) 9 vezes menor
- d) 12 vezes menor
- e) n.r.a.

15) (FAU) Duas cargas elétricas puntiformes Q e $2Q$ estão fixadas a uma certa distância d (ver figura). Considerando-se uma 3ª carga, a força elétrica sobre ela será nula quando ela for colocada em um determinado ponto:



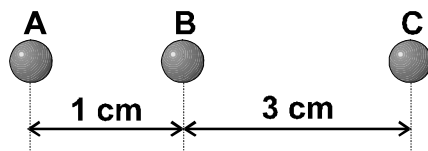
- a) do eixo e de $x < 0$.
- b) do eixo e de $0 < x < d$.
- c) do eixo e de $x > d$.
- d) fora do eixo.
- e) depende do sinal dessa 3ª carga.

16) (PUC-MG) Quatro cargas elétricas fixas estão dispostas nos vértices de um quadrado, conforme a figura abaixo. Uma carga $-q$ colocada no centro C do quadrado fica sujeita a uma força de interação eletrostática resultante, com a seguinte orientação:



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

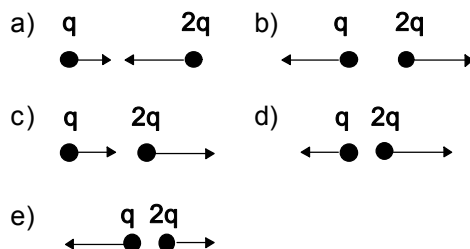
17) (FUVEST) Três objetos com cargas elétricas idênticas estão alinhados como mostra a figura. O objeto C exerce sobre B uma força igual a $3,0 \times 10^{-6}$ N.



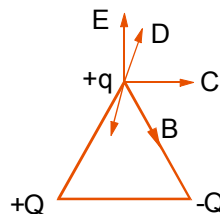
A força elétrica resultante dos efeitos de A e C sobre B é:

- a) $2,0 \times 10^{-6}$ N
- b) 12×10^{-6} N
- c) 30×10^{-6} N
- d) 24×10^{-6} N
- e) $6,0 \times 10^{-6}$ N

18) (CESGRANRIO) Duas partículas livres de mesma massa têm cargas respectivas q e $2q$. Qual das seguintes figuras representa as acelerações das partículas sabendo-se que a interação gravitacional é desprezível em comparação com a interação elétrica?



19) (PUC-MG) Nos vértices da base de um triângulo localizam-se as cargas elétricas $+Q$ e $-Q$. No terceiro vértice se encontra uma carga $+q$.



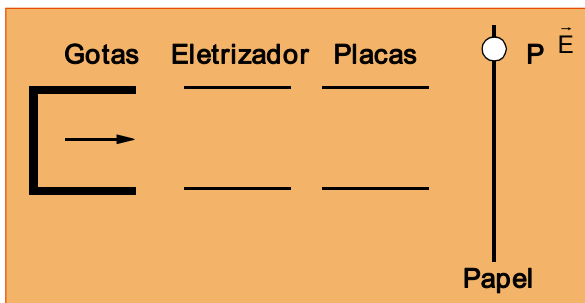
A carga $+q$ apresenta tendência de movimento na direção e sentido melhor representados pela seta:

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

20) (FM - Itajubá) Assinale a afirmativa **FALSA**, dentre as seguintes, relativas a um campo elétrico:

- a) Diz-se que, numa região do espaço existe um campo elétrico quando uma carga elétrica colocada nessa região fica sujeita a uma força elétrica.
- b) A intensidade de um campo elétrico em um ponto é numericamente igual à força exercida sobre uma carga unitária nesse ponto.
- c) Uma unidade de intensidade de campo elétrico é a relação entre uma força de 1,0 newton sobre uma carga de 1,0 coulomb.
- d) A intensidade de campo elétrico é um vetor.
- e) A força exercida sobre uma carga elétrica colocada em um campo elétrico é igual ao produto da intensidade de campo pela carga.

21) (UFMG) A figura mostra, esquematicamente, as partes principais de uma impressora a jato de tinta. Durante o processo de impressão, um campo elétrico é aplicado nas placas defletoras de modo a desviar as gotas eletrizadas. Dessa maneira, as gotas incidem exatamente no lugar programado da folha de papel onde se formará, por exemplo, parte de uma letra.



Considere que as gotas são eletrizadas negativamente. Para que elas atinjam o ponto P da figura, o vetor campo elétrico entre as placas defletoras é melhor representado por:

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

24) (UCS-RS) Uma carga elétrica q fica sujeita a uma força elétrica de 4,0mN ao ser colocada num campo elétrico de $2,0 \frac{\text{kN}}{\text{C}}$. O valor da carga elétrica q em microcoulombs é de:

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

22) (UFMG) Na figura abaixo, Q é uma carga puntual positiva e $\vec{V}$ representa a velocidade de um elétron ao passar pelo ponto P, situado a uma certa distância de Q. Seja $\vec{E}$ o campo elétrico estabelecido por Q em P e $\vec{F}$ a força que este campo exerce sobre o elétron ao passar por P. Que alternativa melhor representa os vetores $\vec{E}$ e $\vec{F}$ em P?



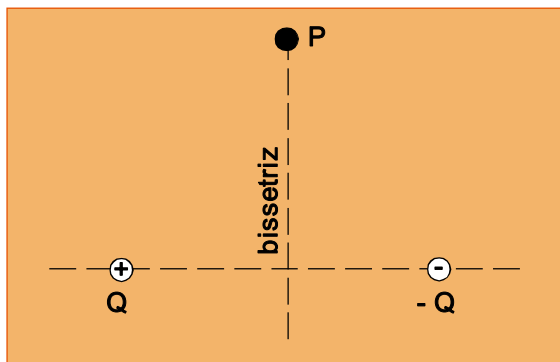
- a) $\vec{F}$ ← ● → $\vec{E}$
- b) $\vec{E}$ ← ● → $\vec{F}$
- c) $\vec{E}$ ← ●
 $\vec{F}$ ← ●
- d) ● → $\vec{E}$
● → $\vec{F}$

23) (Med. Catanduva-SP) Um campo elétrico produzido por uma carga elétrica negativa apresenta, no ponto

A, uma intensidade igual a $4 \cdot 10^4 \frac{\text{N}}{\text{C}}$. Uma carga puntiforme negativa $q = -2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$, colocada no ponto A, será:

- a) repelida com uma força de intensidade de $8 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.
- b) repelida com uma força de intensidade de $2 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.
- c) atraída com uma força de intensidade de $2 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.
- d) atraída com uma força de intensidade de $8 \cdot 10^{-3} \text{ N}$.
- e) repelida com uma força de intensidade diferente das mencionadas nos itens anteriores.

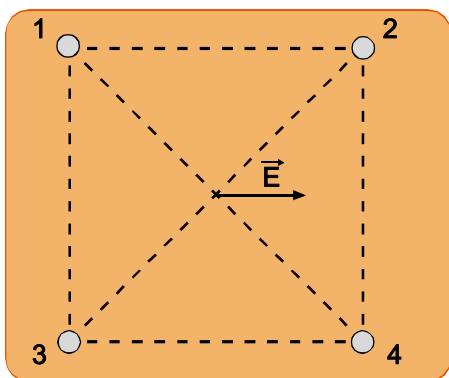
- 25) (UFV-MG) A figura abaixo representa duas cargas puntiformes, de mesmo módulo e sinais opostos, e um ponto P localizado na bissetriz do segmento que liga as cargas.



A alternativa que representa o vetor campo elétrico resultante no ponto P é:

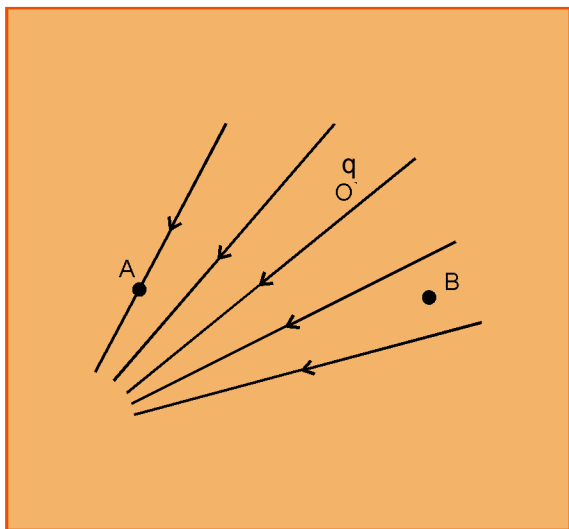
- a) b) c) d)
- e) vetor nulo.

- 26) (ESAM-RN) Quatro cargas elétricas pontuais estão fixadas nos vértices de um quadrado. Em módulo, elas são iguais. No centro do quadrado, essas cargas determinam um campo elétrico $\vec{E}$, conforme representado na figura. Das alternativas, a que corresponde à correta atribuição de sinais das cargas é:



	Sinal da carga 1	Sinal da carga 2	Sinal da carga 3	Sinal da carga 4
a	+	+	+	+
b	-	-	-	-
c	-	-	+	+
d	+	-	+	-
e	+	+	-	-

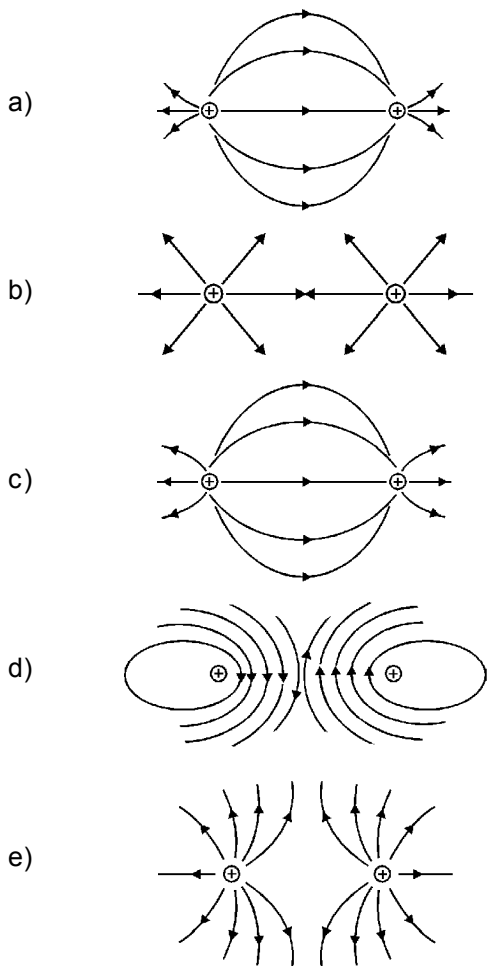
- 27) (PUC-MG) A figura mostra as linhas de força de um campo elétrico gerado pela carga de um determinado corpo. q é uma carga de prova positiva.



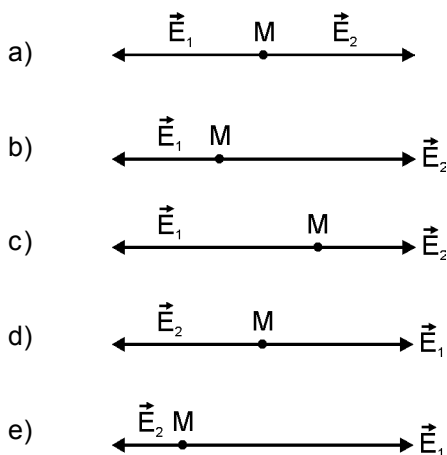
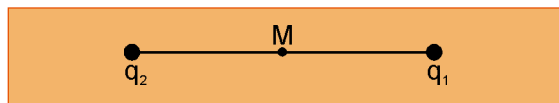
Em relação ao sentido da força elétrica que atua na carga q , à intensidade E do campo elétrico nos pontos A e B e ao sinal da carga do corpo que gerou o campo elétrico, é **CORRETO** afirmar:

- a) é o mesmo sentido das linhas de força; $E_A > E_B$; a carga do corpo é positiva.
- b) é o sentido oposto ao das linhas de força; $E_A < E_B$; a carga do corpo é negativa.
- c) é o mesmo sentido das linhas de força; $E_A > E_B$; a carga do corpo é negativa.
- d) é o sentido oposto ao das linhas de força; $E_A < E_B$; a carga do corpo é positiva.
- e) é o sentido oposto ao das linhas de força; $E_A > E_B$; a carga do corpo é positiva.

28) Duas cargas positivas e iguais estão próximas uma da outra. Indique a alternativa que melhor representa as linhas de força do campo elétrico resultante criado por essas cargas no espaço em torno delas.



29) A figura representa duas cargas fixas, positivas, sendo $q_1 > q_2$. Os vetores campo elétrico, devido às duas cargas, no ponto médio M da distância entre elas, estão mais bem representados em:



30) Considere o campo elétrico criado por:

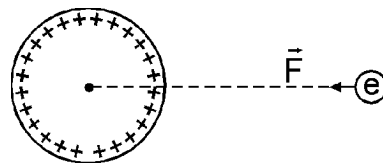
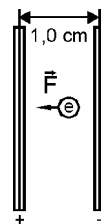
I - Duas placas metálicas planas e paralelas, distanciadas de 1,0 cm, sujeitas a uma d.d.p. de 100V.

II - Uma esfera metálica oca de raio 2,0 cm carregada com $2,5 \mu\text{C}$ de carga positiva.

Quais as características básicas dos dois campos elétricos? A que distância do centro da esfera um elétron sofreria a ação de uma força elétrica de módulo igual à que agiria sobre ele entre as placas paralelas?

Dados: | carga do elétron | : $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$
constante do Coulomb para o ar e o vácuo:

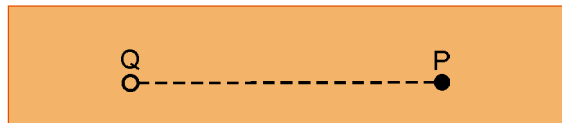
$$K_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N.m}^2}{\text{C}^2}$$



	Campo entre as placas	Campo da esfera	Distância ao centro da esfera
A	uniforme (longe das extremidades)	radial (dentro e fora da esfera)	15m
B	não há	só há campo no interior da esfera	150m
C	uniforme	uniforme (dentro e fora da esfera)	1,5m
D	uniforme (longe das extremidades)	radial (fora da esfera) nulo (dentro da esfera)	1,5m
E	nulo	nulo (dentro da esfera) radial (fora da esfera)	1,5cm

- 31) (UF-Uberlândia-MG) A figura abaixo representa uma carga Q e um ponto P do seu campo elétrico onde é colocada uma carga de prova q .

Analisar as afirmativas abaixo, observando se elas representam corretamente o sentido do vetor campo elétrico em P e da força que atua sobre q .



I. se $Q > 0$ e $q < 0$.

II. se $Q > 0$ e $q > 0$.

III. se $Q < 0$ e $q < 0$.

IV. se $Q < 0$ e $q > 0$.

São corretas:

- todas as afirmações.
 - apenas I, II e III.
 - apenas II, III e IV.
 - apenas III e IV.
 - apenas II e III.
- 32) (UFES) Sobre uma carga elétrica q , situada num ponto onde há um campo eletrostático $\vec{E}$, atua uma força eletrostática $\vec{F}$. Afirma-se que:

- O módulo de $\vec{F}$ é proporcional ao módulo de q e ao módulo de $\vec{E}$.
- A direção de $\vec{F}$ sempre coincide com a direção de $\vec{E}$.
- O sentido de $\vec{F}$ sempre coincide com o sentido de $\vec{E}$.

Das afirmativas acima é (são) correta(s):

- apenas I e II.
- apenas I e III.
- apenas II e III.
- apenas I.
- todas as três.

- 33) (Mack-SP) O campo elétrico $\vec{E}_1$ de uma carga puntiforme Q a uma distância d tem intensidade x . Portanto, o campo elétrico $\vec{E}_2$ de uma carga $4Q$, a uma distância $2d$, tem intensidade:

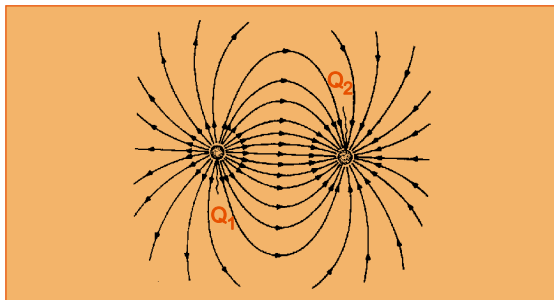
- $\frac{x}{4}$
- $\frac{x}{2}$
- x
- $2x$
- $4x$

- 34) (PUC-MG) Uma carga de prova negativa q é colocada num ponto A , onde há um campo elétrico $\vec{E}$ gerado por uma carga Q positiva. Fica, então, sujeita a uma força $\vec{F}$ de intensidade 10N . Sendo $q = -50\text{mC}$, indique a opção que fornece o valor correto do campo elétrico em A , bem como as orientações corretas dos vetores $\vec{E}$ e $\vec{F}$.



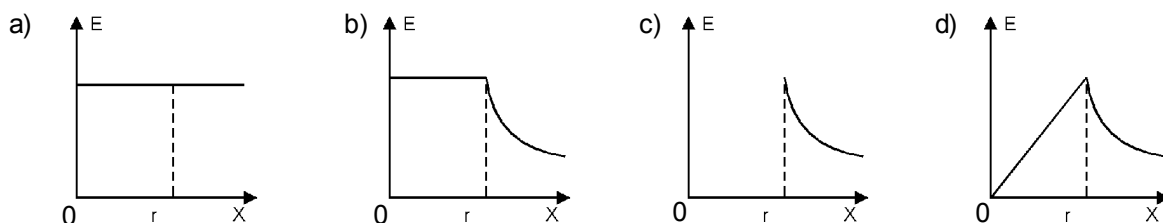
- $2,0 \cdot 10^{-1} \frac{\text{N}}{\text{C}}$
- $2,0 \cdot 10^2 \frac{\text{N}}{\text{C}}$
- $2,0 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}}$
- $2,0 \cdot 10^2 \frac{\text{N}}{\text{C}}$
- $2,0 \cdot 10^{-1} \frac{\text{N}}{\text{C}}$

- 35) (UnB) A figura ao lado representa, na convenção usual, a configuração de linhas de forças associadas a duas cargas puntiformes, Q_1 e Q_2 . Podemos afirmar corretamente que:



- Q_1 e Q_2 são positivas;
- Q_1 e Q_2 são negativas;
- Q_1 é positiva e Q_2 , negativa;
- Q_1 é negativa e Q_2 , positiva.

36) (UECE) Qual dos gráficos abaixo mostra a variação do campo elétrico E , em função da distância x , para uma esfera condutora carregada, de raio r ?



37) (FATEC-SP) As afirmações abaixo referem-se a uma esfera metálica isolada e eletrizada negativamente e em equilíbrio eletrostático.

- I. As cargas elétricas excedentes distribuem-se uniformemente sobre todo o volume da esfera.
- II. O fluxo elétrico através de qualquer superfície esférica fechada é nulo.
- III. O campo elétrico no interior da esfera é nulo.

É (são) correta(s):

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

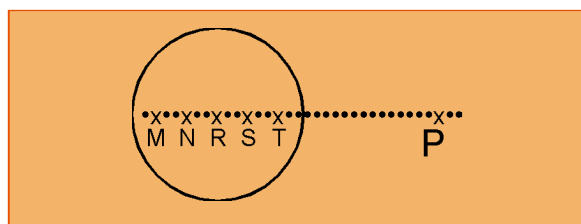
38) (Mauá-SP) As linhas de força do campo elétrico devido a uma carga elétrica puntiforme:

- a) são esferas concêntricas com a carga.
- b) são retas paralelas entre si e de mesmo sentido.
- c) são semi-retas saindo ou chegando à carga.
- d) não têm forma definida.
- e) N.D.A.

39) (UC-Salvador) Uma esfera metálica oca, de raio 10cm e centro R, está carregada com carga elétrica $+q$. A 20cm de R há uma carga puntual $-q$, fixa em P. O sistema está em equilíbrio eletrostático. No interior da esfera, cuja secção está representada na figura abaixo, consideramos os pontos M, N, S e T, alinhados com R e P.

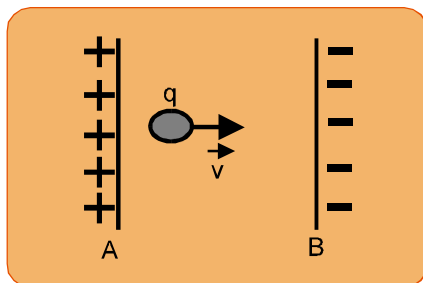
Considerando as afirmações e chamando de E_i o módulo do campo eletrostático num ponto genérico I, temos:

- a) $E_M > E_N > E_R < E_S < E_T$
- b) $E_M < E_N < E_R > E_S > E_T$
- c) $E_M > E_N > E_R > E_S > E_T$
- d) $E_M < E_N < E_R < E_S < E_T$
- e) $E_M = E_N = E_R = E_S = E_T$

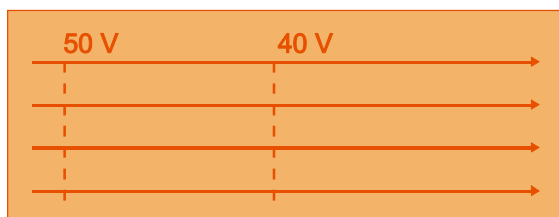


40) (PUC-RS) A figura seguinte representa duas placas planas e paralelas, eletrizadas e colocadas no vácuo. A carga $q = 1,0 \times 10^{-3} \text{ C}$ se desloca livremente da placa A até a B, sob a ação do campo elétrico, que realiza um trabalho de 2,0 J. A ddp entre as placas, em volts, é de:

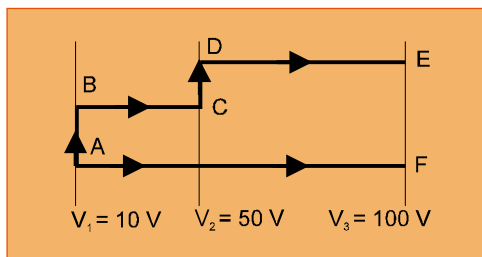
- a) $5,0 \times 10^2$
- b) $1,0 \times 10^3$
- c) $2,0 \times 10^3$
- d) $3,0 \times 10^3$
- e) $4,0 \times 10^3$



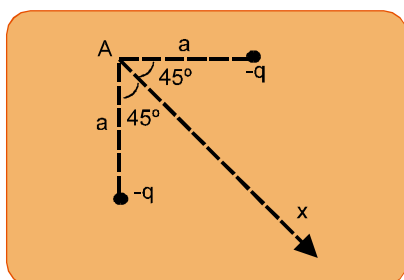
- 41) (UFV) A figura representa uma região onde existem um campo elétrico uniforme, de módulo $E = 5,0 \text{ N/C}$, e duas superfícies eqüipotenciais, uma de 50 V e a outra de 40 V . A distância entre as superfícies é, em metro(s):



- a) 2,0 b) 4,0 c) 5,0 d) 3,0 e) 1,0
- 42) (UFOP) Considere as superfícies eqüipotenciais V_1 , V_2 e V_3 , como mostra a figura abaixo. Uma carga puntual Q negativa desloca-se segundo o trajeto ABCDE. Uma outra carga idêntica segue o trajeto AF.



- a) O trabalho realizado pelo campo elétrico para levar a carga de A até E é maior que o trabalho realizado pelo mesmo para levar a carga de A até F.
- b) O trabalho realizado pelo campo elétrico para levar a carga de A até E é igual ao trabalho realizado pelo mesmo para levar a carga de A até F.
- c) Os trabalhos realizados pelo campo elétrico sobre as duas cargas ao longo dos dois trajetos são diferentes porque um trajeto é maior que o outro.
- d) O vetor campo elétrico entre as eqüipotenciais V_1 e V_3 aponta no sentido de A para F.
- e) O vetor força elétrica que atua sobre a carga Q , entre as eqüipotenciais V_1 e V_3 , tem a mesma direção e o mesmo sentido do vetor campo elétrico entre as mesmas.
- 43) (CFET-PR) Afirma-se corretamente que, para uma carga livre ir de um ponto a outro de uma superfície eqüipotencial, o trabalho desenvolvido pela força elétrica é nulo porque:
- a) O campo elétrico é sempre perpendicular às superfícies eqüipotenciais.
- b) A força elétrica nesse caso é nula.
- c) O deslocamento em superfícies eqüipotenciais inexiste.
- d) A diferença de potencial entre dois pontos de uma superfície eqüipotencial é sempre constante e diferente de zero.
- e) Uma linha de campo está sempre inteiramente contida numa superfície eqüipotencial.
- 44) (FUVEST - mod.) Duas cargas $-q$ distam a do ponto A, como indicado na figura.



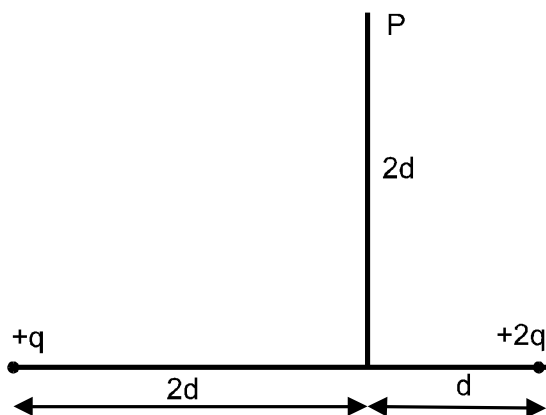
A que distância de A, sobre a reta Ax, devemos colocar uma carga $+q$ para que o potencial eletrostático em A seja nulo?

- a) $a/2$ d) $a/5$
 b) $a/3$ e) $2a$
 c) a

45) (UnB - mod) Em relação aos fenômenos eletrostáticos, assinale a alternativa **CORRETA**:

- a) O campo elétrico, no centro de uma esfera de alumínio uniformemente carregada, é diferente de zero.
- b) O potencial elétrico tem de ser zero em um plano equidistante de uma placa metálica uniformemente carregada.
- c) Em um tubo de imagem de um televisor, um elétron é acelerado por uma diferença de potencial de 220 volts (V). O ganho de energia cinética é, portanto, de 220 joules (J).
- d) Uma gota de óleo carregada é mantida em suspensão, a uma certa distância do solo, por um campo elétrico uniforme. Pode, assim, afirmar-se que o módulo da razão entre a carga e a massa da gota de óleo é igual ao módulo da razão entre a aceleração da gravidade e o campo elétrico.
- e) Todas as linhas de força de um campo elétrico são fechadas, ou seja, se seguirmos estas linhas, eventualmente retornaremos ao ponto de partida.

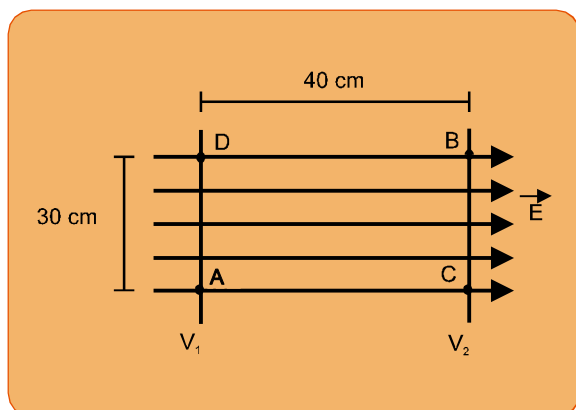
46) (UnB - mod.) Duas cargas puntiformes $+q$ e $+2q$ estão fixas no espaço e separadas por uma distância $3d$ conforme o diagrama.



Podemos afirmar que o potencial elétrico resultante no ponto P da figura, devido à ação das cargas $+q$ e $+2q$, é:

- a) $\frac{kq}{d} \left(\frac{1}{2\sqrt{2}} + \frac{2}{\sqrt{5}} \right)$
- b) $\frac{kq}{d^2} \left(\frac{1}{2\sqrt{2}} + \frac{2}{\sqrt{5}} \right)$
- c) $\frac{kq}{d} (2\sqrt{2} + \sqrt{5})$
- d) $\frac{kq}{d} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{5} \right)$
- e) $\frac{kq}{d^2} (2\sqrt{2} + \sqrt{5})$

47) (PUC-MG) A figura mostra as linhas de força de um campo elétrico uniforme, duas superfícies equipotenciais desse campo e quatro pontos, A, B, C e D, dessa região. Considere o trabalho (W) realizado para levar uma partícula, carregada positivamente, do ponto A até o ponto B, percorrendo as trajetórias:



1 - ADB; 2 - AB; 3 - ACB. A relação entre os trabalhos realizados ao longo desses percursos está indicada corretamente em:

- a) $W_2 = 0; W_1 = W_3$
- b) $W_1 = W_3 = \frac{W_2}{5}$
- c) $W_1 = \frac{W_2}{7} = \frac{W_3}{3}$
- d) $W_1 = W_2 = W_3$
- e) $\frac{W_1}{7} = W_2 = \frac{W_3}{5}$

48) (UC-SAL) A ddp entre duas placas condutoras, X e Y, é U. O trabalho realizado pela força elétrica, quando uma carga q é transportada da placa X à placa Y, é W. Se for aumentada para $2d$ a distância entre as duas placas, mantendo a mesma ddp U, o trabalho realizado pela força elétrica, para transportar a mesma carga q da placa X à placa Y, será:

- a) $\frac{W}{4}$
- b) $\frac{W}{2}$
- c) W
- d) 2W
- e) 4W

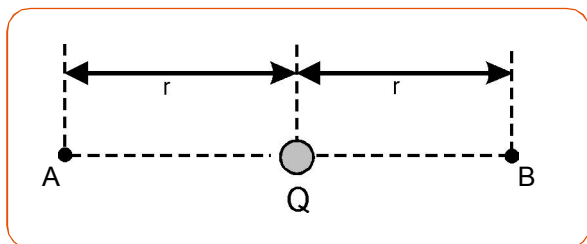
49) (PUC-MG) Assinale a afirmação **FALSA**:

- a) uma carga negativa, abandonada em repouso num campo eletrostático, fica sujeita a uma força que realiza sobre ela um trabalho negativo.
- b) uma carga positiva, abandonada em repouso num campo eletrostático, fica sujeita a uma força que realiza sobre ela um trabalho positivo.
- c) cargas negativas, abandonadas em repouso num campo eletrostático, dirigem-se para pontos de potencial mais elevado.
- d) cargas positivas, abandonadas em repouso num campo eletrostático, dirigem-se para pontos de menor potencial.
- e) o trabalho realizado pelas forças eletrostáticas ao longo de uma curva fechada é nulo.

50) (UFRN - mod) Uma esfera condutora isolada, de raio $R = 3,0 \text{ m}$ e carga elétrica positiva, tem na superfície um vetor campo elétrico de intensidade $E = 600 \text{ N/C}$. A uma distância $r = \frac{R}{3}$ do centro da esfera, o potencial elétrico tem valor:

- a) 1800 V b) 1600 V c) 1400 V d) 1200 V e) 1000 V

51) (Mack-SP) O sistema representado pelo esquema está no vácuo, cuja constante eletrostática é k_0 . A carga Q está fixa, e os pontos A e B são equidistantes de Q . Se uma carga q for deslocada de A até B, o trabalho realizado pelo campo elétrico de Q , neste deslocamento, será igual a:



- a) zero d) $2 \cdot k_0 \cdot \frac{q \cdot Q}{r}$
- b) $k_0 = \frac{q \cdot Q}{r}$ e) $\frac{1}{2} \cdot k_0 \cdot \frac{q \cdot Q}{r}$
- c) $k_0 = \frac{Q}{r}$

52) (PUC-RS) Uma esfera condutora, que inicialmente se encontra carregada positivamente, é colocada em contato com outra esfera inicialmente neutra. Pode-se afirmar que, depois de estabelecido o equilíbrio elétrico entre ambas:

- a) as duas esferas terão mesmas cargas, desde que sejam constituídas de um mesmo material.
- b) o campo elétrico em torno das esferas será uniforme.
- c) a esfera de maior raio terá maior potencial que a outra.
- d) ambas adquirem o mesmo potencial.
- e) a intensidade do campo será maior na esfera de maior raio.

53) (FEI-SP) Sendo V_A , V_B e V_C os potenciais eletrostáticos de 3 pontos de uma linha de campo, com $0 < V_A - V_C < V_B - V_C$, podemos afirmar que no sentido da linha de campo a ordem dos três pontos é:

- a) A B C
- b) B A C
- c) C A B
- d) B C A
- e) A C B

Corrente Elétrica, Leis de OHM e Resistores

54) (Newton Paiva) Suponha que, ao se ligar a chave do carro para acionar o motor de arranque, ele seja percorrido por uma corrente de 120,0A. Se o motor for mantido ligado durante 5,0s, pode-se afirmar que a quantidade de carga [Dado: 1C corresponde à carga $6,2 \times 10^{18}$ elétrons] e o número de elétrons que passa em uma seção qualquer do circuito são, respectivamente,

- a) $6,0 \times 10^2$ C e $3,72 \times 10^{21}$
- b) 60,0 C e $3,72 \times 10^{20}$
- c) $6,0 \times 10^2$ C e $96,8 \times 10^{18}$
- d) $6,0 \times 10^{-6}$ C e $3,72 \times 10^{21}$
- e) $6,0 \times 10^2$ C e $3,72 \times 10^{22}$

55) (UFMG) Uma lâmpada fluorescente contém em seu interior um gás que se ioniza após a aplicação de alta tensão entre seus terminais. Após a ionização uma corrente elétrica é estabelecida e os íons negativos deslocam-se com uma taxa de $1,0 \times 10^{18}$ íons/segundo para o pólo A. Os íons positivos se deslocam, com a mesma taxa, para o pólo B.



Sabendo-se que a carga de cada íon positivo é de $1,6 \times 10^{-19}$ C, pode-se dizer que a corrente elétrica na lâmpada será:

- a) 0,16 A
- b) 0,32 A
- c) $1,0 \times 10^{18}$ A
- d) nula

As questões 56 e 57 referem-se ao artigo mostrado abaixo e foi publicado no jornal Estado de Minas, em 20 de abril de 1997.

IBM apresenta um "modem humano"

O gigante da informática mundial, a norte americana IBM, apresentou em Cingapura uma tecnologia denominada «modem humano» que utiliza o corpo humano como condutor elétrico para transmitir informações para dois aparelhos eletrônicos.

David Yaun, encarregado de comunicação da IBM, explicou, durante uma entrevista, que a nova tecnologia utiliza a condutibilidade natural do corpo humano para transmitir dados.

Sal e água

«Temos sal no sangue e água no corpo. A eletricidade adora este tipo de combinação». disse

Yaun. Através de um pequeno emissor, aproximadamente do tamanho de um jogo de cartas, e de um receptor, é possível transmitir informações, do mesmo modo que um cartão de crédito. A nova tecnologia cria um campo elétrico externo que produz uma fraca corrente através do corpo, o que permite transformar as informações. A corrente utilizada tem a intensidade de um bilionésimo do Ampère.

O campo elétrico criado por pente passado nos cabelos é mais de mil vezes maior do que o criado pela tecnologia criada pela IBM.

56) (Fac. Direito Milton Campos) A respeito da condutibilidade do corpo humano e de outros materiais, é **CORRETO** afirmar:

- a) A corrente elétrica gerada no sangue é composta por íons que se movimentam em dois sentidos.
- b) Os metais são bons condutores por apresentarem um número sempre maior de elétrons em relação ao número de prótons.
- c) Na eletrização por atrito, que ocorre sempre que uma pessoa penteia seus cabelos, teremos o pente e o cabelo adquirindo cargas de sinais iguais.
- d) O campo elétrico, num dado ponto, é caracterizado como uma grandeza escalar.

57) (Fac. Direito Milton Campos) Suponha que um fio metálico, seja atravessado por uma corrente elétrica equivalente a 1 bilionésimo de ampère ($1,0 \times 10^{-9}$ A) num intervalo de tempo igual a 0,5 segundo. A carga elétrica que forma a referida corrente corresponde a:

- a) $5,0 \times 10^{-10}$ coulomb.
- b) $2,0 \times 10^{-10}$ coulomb.
- c) $5,0 \times 10^{-9}$ coulomb.
- d) $2,0 \times 10^{-9}$ coulomb.

58) (PUC-MG) A respeito da corrente e da resistência elétrica, leia atentamente as seguintes afirmativas:

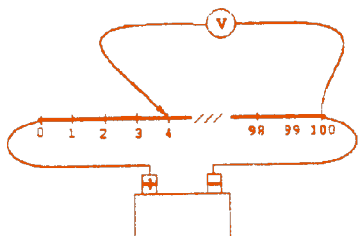
- I. Em uma corrente elétrica, apenas as cargas negativas se movimentam.
- II. A resistência elétrica de um condutor cilíndrico é inversamente proporcional ao quadrado do raio da sua seção reta.
- III. A relação $V = R \cdot i$ só pode ser aplicada a condutores ôhmicos.

Assinale:

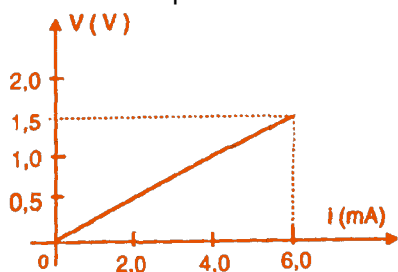
- a) se todas as afirmativas são corretas.
- b) se todas as afirmativas são falsas.
- c) se apenas as afirmativas I e II são falsas.
- d) se apenas as afirmativas I e III são falsas.
- e) se apenas as afirmativas II e III são falsas.

59) (PUC-MG) A figura ao lado mostra um fio condutor de secção reta constante, estendido ao longo de uma escala, com 100 subdivisões iguais. Uma bateria é ligada às extremidades do fio, fazendo com que ele seja percorrido por uma corrente elétrica i . Um voltímetro V é ligado ao fio, de maneira que um de seus terminais fique fixo na extremidade correspondente ao valor 100 da escala. O outro terminal pode ser colocado em contato com qualquer ponto do fio. Colocando-se o terminal livre no zero da escala, o voltímetro indica 12 V. Quando o terminal livre estiver sobre o número 25 da escala, a leitura do voltímetro será:

- a) 1,2 V
- b) 2,5 V
- c) 3,0 V
- d) 9,0 V
- e) 12 V



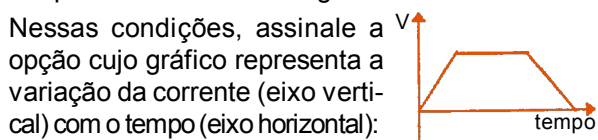
60) (PUC-MG) O gráfico representa a curva característica tensão-corrente para um determinado resistor.



Em relação ao resistor, é **CORRETO** afirmar:

- a) é ôhmico e sua resistência vale $4,5 \times 10^2 \Omega$.
- b) é ôhmico e sua resistência vale $1,8 \times 10^2 \Omega$.
- c) é ôhmico e sua resistência vale $2,5 \times 10^2 \Omega$.
- d) não é ôhmico e sua resistência vale $0,40 \Omega$.
- e) não é ôhmico e sua resistência vale $0,25 \Omega$.

61) (PUC-MG) Um condutor ôhmico é submetido a uma diferença de potencial que varia em função do tempo como mostrado no gráfico ao lado:

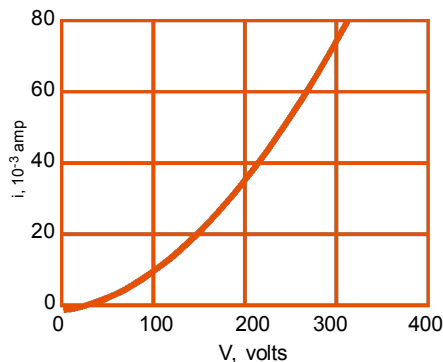


- a)
- b)
- c)
- d)
- e)

62) (PUC-MG) O gráfico $i \times V$ para um certo condutor é mostrado na figura abaixo. Analise as três afirmativas a seguir:

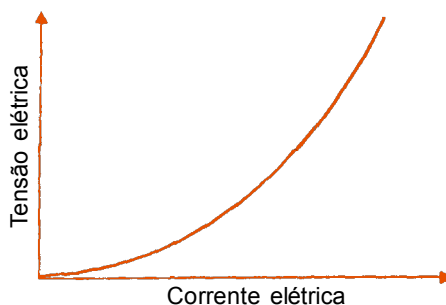
- I. O condutor é ôhmico.
- II. Sua resistência, quando submetido a uma tensão de 200 V, é aproximadamente $5,0 \times 10^3 \Omega$.
- III. Esse resistor não obedece à relação $V = Ri$.

A afirmativa está **CORRETA** em:



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

63) (UFMG) Este gráfico mostra como varia a tensão elétrica em um resistor mantido a uma temperatura constante em função da corrente elétrica que passa por esse resistor.



Com base nas informações contidas no gráfico, é correto afirmar-se que:

- a) a corrente elétrica no resistor é diretamente proporcional à tensão elétrica.
- b) a resistência elétrica do resistor aumenta quando a corrente elétrica aumenta.
- c) a resistência elétrica do resistor tem o mesmo valor qualquer que seja a tensão elétrica.
- d) dobrando-se a corrente elétrica através do resistor, a potência elétrica consumida quadruplica.
- e) o resistor é feito de um material que obedece a Lei de Ohm.

64) (PUC-MG) A resistência de um fio condutor depende do seu comprimento ℓ , da sua área de seção reta A e do material de que é feito (resistividade = ρ). A resistividade do ferro é maior do que a da prata. Para que um fio de ferro e um de prata, de mesmo comprimento, tenham a mesma resistência, é necessário:

- a) $A_{\text{ferro}} = A_{\text{prata}}$ c) $A_{\text{ferro}} \times A_{\text{prata}} = 1$ e) $A_{\text{ferro}} < A_{\text{prata}}$
 b) $A_{\text{ferro}} \div A_{\text{prata}} = 1$ d) $A_{\text{ferro}} > A_{\text{prata}}$

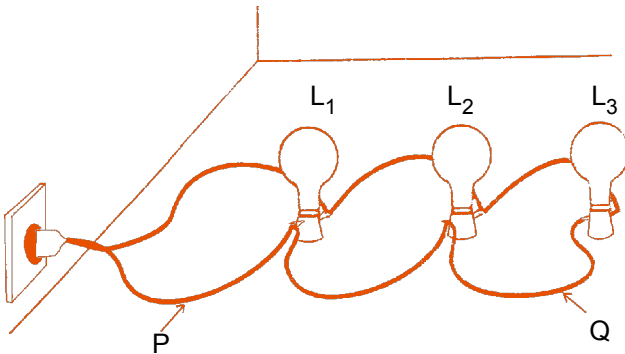
65) (UFV) Mediu-se a uma mesma temperatura a resistência elétrica de dois fios condutores metálicos de resistividades diferentes. Obteve-se o mesmo valor para a resistência elétrica dos fios. É **CORRETO** afirmar-se que

- a) é impossível na prática, obter-se tal resultado.
 b) se os fios têm a mesma área de seção reta, têm o mesmo comprimento.
 c) se os fios têm o mesmo comprimento, têm áreas de seção reta diferentes.
 d) os fios têm a mesma área de seção reta.
 e) os fios têm o mesmo comprimento.

66) (PUC-MG) Com relação à eletricidade que utilizamos em nossa residência, é **INCORRETO** afirmar:

- a) Nos projetos elétricos (plantas do sistema elétrico), as ligações são, em sua maioria, em paralelo.
 b) Recebemos da CEMIG (Centrais Elétricas de Minas Gerais) uma voltagem alternada.
 c) Quando mudamos a chave do chuveiro, do inverno para verão, estamos diminuindo a resistência elétrica do aparelho.
 d) Uma lâmpada de 60 W produz 60 J de energia a cada segundo.
 e) A corrente elétrica que circula em um aparelho de potência 2,5 kW, ligado a uma ddp de 120 V, vale aproximadamente 21 A.

67) (UFMG) A figura ilustra a forma como três lâmpadas estão ligadas a uma tomada. A corrente elétrica no ponto P do fio é i_P e no ponto Q é i_Q

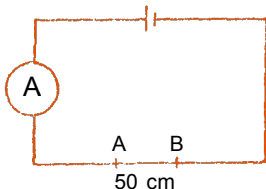


Em um determinado instante, a lâmpada L_2 se queima.

Pode-se afirmar que:

- a) as duas correntes não se alteram.
 b) as duas correntes se alteram.
 c) a corrente i_P não se altera e i_Q se altera.
 d) a corrente i_P se altera e i_Q não se altera.

68) (UFMG) Um estudante montou um circuito como o mostrado na figura.

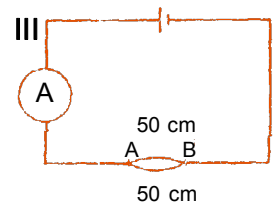
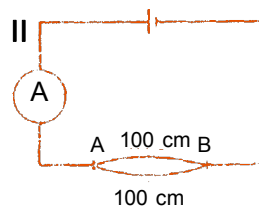
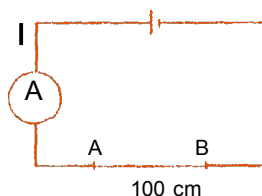


Entre os pontos A e B ele ligou um fio de grande resistência de 50 cm do comprimento. A corrente indicada no amperímetro é de 5,0 ampères (Despreze a resistência interna da bateria).

A seguir, o estudante montou três circuitos, conforme as figuras abaixo, usando a mesma bateria, o mesmo amperímetro e fios de mesmo material e de mesmo diâmetro do fio inicialmente ligado entre A e B.

Para os circuitos I, II e III, os valores da corrente, em ampères, serão respectivamente,

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

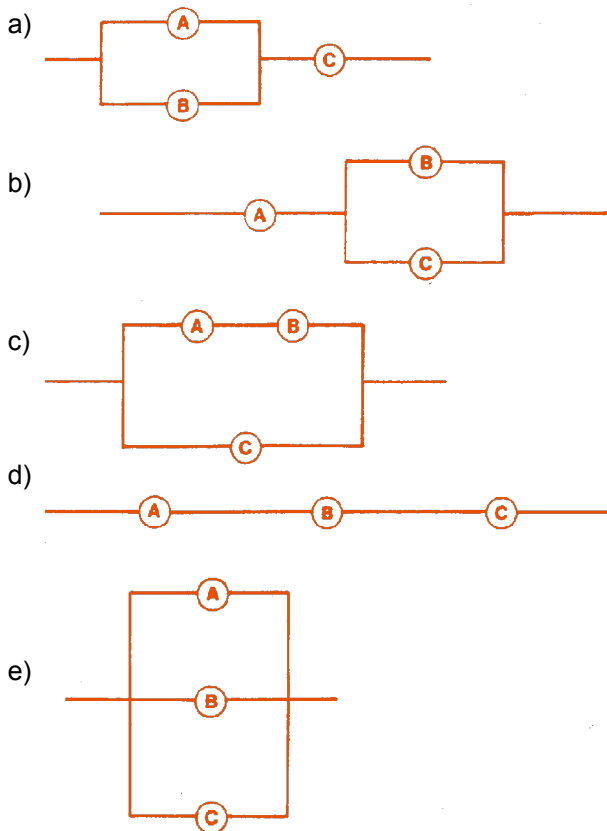


69) (PUC-MG) A resistência de um chuveiro elétrico foi esticada e dividida em partes iguais, de resistência $2\ \Omega$ cada uma. Associadas em paralelo, essas partes produziram uma resistência equivalente igual a $0,5\ \Omega$. Nesse caso, podemos afirmar que a resistência do chuveiro era, em Ω , igual a:

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

70) (UFMG) Três lâmpadas, A, B e C, estão ligadas a uma bateria de resistência interna desprezível. Ao se «queimar» a lâmpada A, as lâmpadas B e C permanecem acesas com o mesmo brilho de antes.

A alternativa que indica o circuito em que isso poderia acontecer é

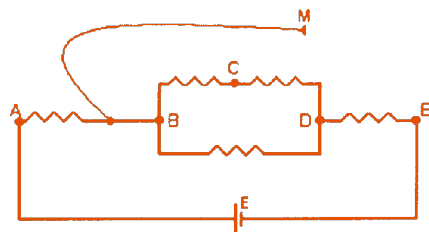


71) (PUC-MG) Considere três resistores cujas resistências valem: R , $R/2$ e $R/4$. Associando-se esses três resistores de modo a obter um equivalente cuja resistência seja a menor possível, tem-se para esse equivalente uma resistência igual a:

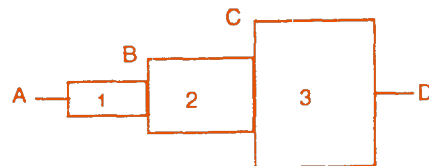
- a) $R/7$
b) $R/15$
c) $R/3$
d) $R/2$
e) R

72) (PUC-MG) O circuito elétrico abaixo é constituído de um gerador ideal e cinco resistores idênticos. Para que o conjunto libere a maior potência possível, o terminal livre M deve ser ligado no ponto:

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



73) (PUC-MG) Um condutor é formado por três seções cilíndricas de mesmo comprimento e raios, respectivamente, R , $2R$ e $3R$.

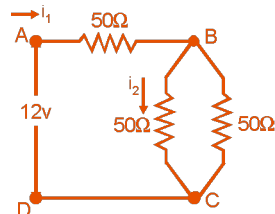


Seja V_{AD} a diferença de potencial aplicada ao conjunto e i_1 , i_2 e i_3 as correntes em cada seção, é **CORRETO** dizer que:

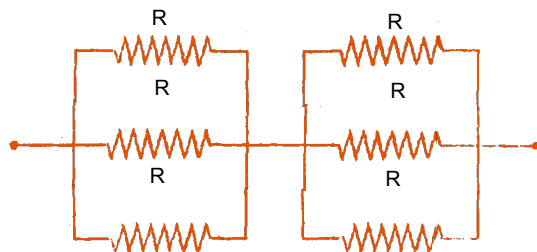
- a) $i_1 = i_2 = i_3$, $V_{AB} = V_{BC} = V_{CD}$
b) $i_1 > i_2 > i_3$, $V_{AB} > V_{BC} > V_{CD}$
c) $i_1 = i_2 = i_3$, $V_{AB} > V_{BC} > V_{CD}$
d) $i_1 = i_2 = i_3$, $V_{AB} < V_{BC} < V_{CD}$
e) $i_1 < i_2 < i_3$, $V_{AB} < V_{BC} < V_{CD}$

74) (FAFI) Para o circuito esquematizado abaixo, a razão entre i_1 e i_2 , é igual a

- a) 1
b) $1/2$
c) 2
d) $1/3$
e) 3



75) (Izabela Hendrix) Na associação representada na figura abaixo, cada um dos elementos possui resistência elétrica R .

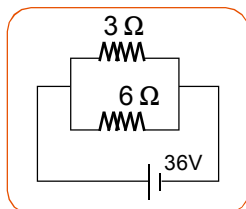


O valor da resistência equivalente da associação é de:

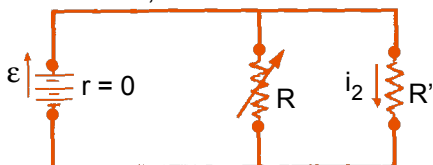
- a) $R/6$
b) $2R/3$
c) $3R/2$
d) $(R/2) + (R/3)$
e) $6R$

76) (Newton Paiva) Na associação de resistores da figura os valores da resistência equivalente e da intensidade total de corrente valem, respectivamente,

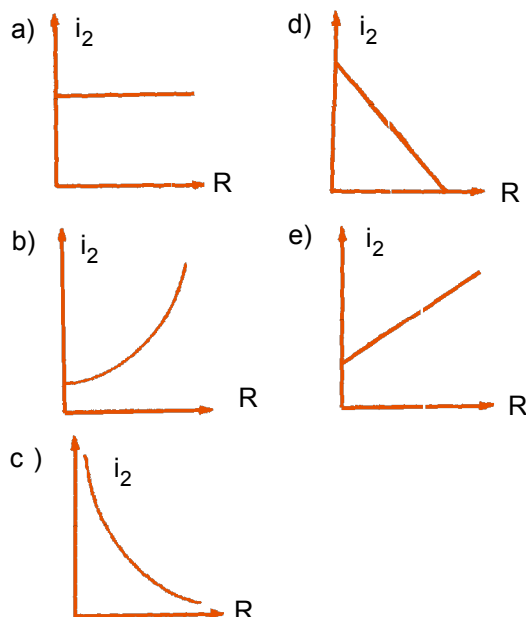
- a) $2,0 \Omega$ e $12,0 \text{ A}$.
 b) $9,0 \Omega$ e $18,0 \text{ A}$.
 c) $2,0 \Omega$ e $18,0 \text{ A}$.
 d) $0,5 \Omega$ e $18,0 \text{ A}$.
 e) $9,0 \Omega$ e $6,0 \text{ A}$.



77) (UFV) Na figura seguinte é representado um circuito com um resistor de resistência variável, R , e um de resistência fixa, R' .



Assinale, dentre as opções abaixo, aquela cujo gráfico representa **CORRETAMENTE** a variação da corrente i_2 em função de R .



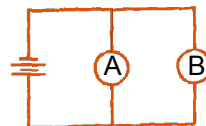
78) (PUC-MG) As afirmações abaixo se referem à lei de Ohm.

- I. A resistência de um condutor ôhmico depende da diferença de potencial aplicada em suas extremidades.
- II. A energia dissipada por um condutor metálico é diretamente proporcional à diferença de potencial entre seus extremos.
- III. Duas resistências iguais, ligadas em paralelo, são ligadas a uma fonte de tensão constante. A intensidade de corrente em cada uma é maior do que se as ligássemos em série com a mesma fonte.

A afirmativa está **CORRETA** em:

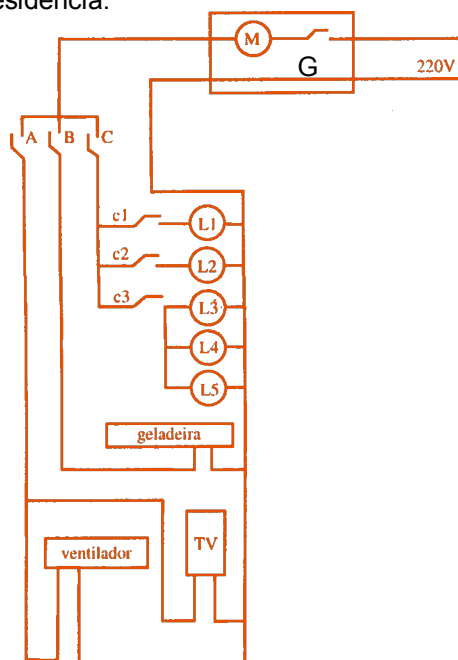
- a) I apenas. c) III apenas. e) II e III.
 b) II apenas. d) I e II.

79) (FUVEST) A figura mostra circuito constituído por um gerador ideal e duas lâmpadas incandescentes A e B, com resistências R e $2R$, respectivamente, e no qual é dissipada a potência P . Num dado instante, a lâmpada B queima-se. A potência que passará a ser dissipada pelo sistema será igual a:



- a) $\frac{P}{2}$. d) $\frac{3}{2}P$.
 b) $\frac{2}{3}P$. e) $2P$.
 c) P .

As questões 80 e 81 a seguir referem-se ao esquema abaixo que representa parte da instalação elétrica de uma residência.



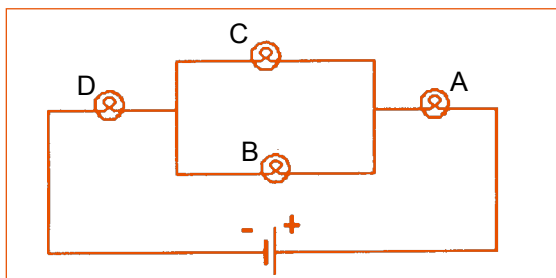
80) (FUMEC) Se estiverem ligados os disjuntores A e G, pode-se afirmar que funcionarão apenas os aparelhos

- a) lâmpadas L_3 e L_4 e TV
 b) ventilador e TV
 c) geladeira e TV
 d) lâmpadas L_2 , L_3 e L_4
 e) geladeira, TV e ventilador

81) (FUMEC) Sabendo que as lâmpadas L_1 , L_2 , L_3 , L_4 , e L_5 têm potência de 60 W cada uma, se fecharmos simultaneamente por 10 minutos, G, C e C_3 a energia registrada pelo medidor M será:

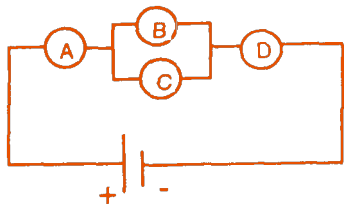
- a) 108 KJ d) 600 KJ
 b) 180 KJ e) zero
 c) 1800 KJ

- 82) (PUC-MG) Observe o circuito abaixo, em que A, B, C e D representam lâmpadas idênticas.



Se retirarmos a lâmpada C, sem nada colocarmos em seu lugar, é **CORRETO** afirmar:

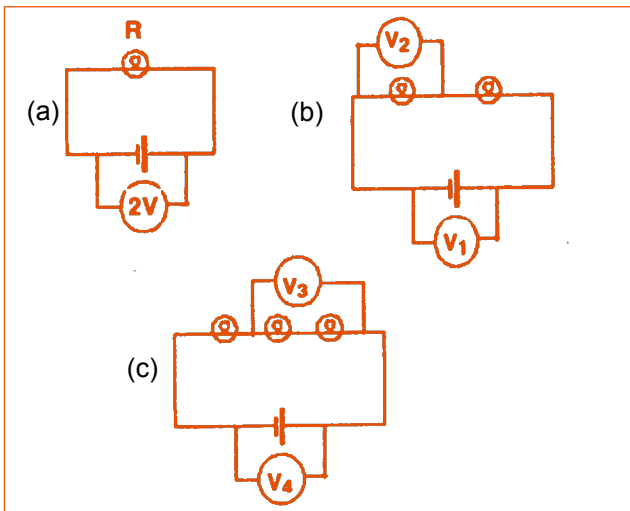
- a) o brilho da lâmpada A diminui.
 - b) a queda de tensão na lâmpada D aumenta.
 - c) a lâmpada B continuará com o mesmo brilho.
 - d) a potência dissipada na lâmpada B diminuirá.
 - e) a resistência do circuito diminui.
- 83) (FUMEC) Uma lâmpada de 60 W, ligada de acordo com as especificações do fabricante deve dissipar a mesma energia que um chuveiro de 3.600 W ligado durante 10 minutos. Para tanto, a lâmpada deve permanecer acesa durante:
- a) 10 horas.
 - b) 3.600 minutos.
 - c) 10 minutos.
 - d) 3,6 horas.
 - e) 2,16 horas.
- 84) (PUC-MG) No circuito abaixo A, B, C e D são lâmpadas idênticas.



Se retirarmos a lâmpada C sem nada colocarmos em seu lugar, é **CORRETO** afirmar que:

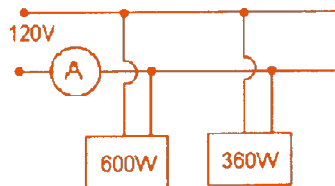
- a) o brilho da lâmpada D aumenta.
- b) o brilho da lâmpada B não se altera.
- c) o brilho da lâmpada A diminui.
- d) o brilho das lâmpadas restantes não se altera.
- e) o brilho das lâmpadas restantes aumenta.

- 85) (PUC-MG) Em (a), (b) e (c) as lâmpadas são idênticas e suas resistências consideradas constantes. O brilho de cada lâmpada em (b) e (c) é o mesmo que em (a).



A leitura dos voltmímetros V_1 , V_2 , V_3 e V_4 em (b) e (c) é respectivamente:

- a) 4V; 2V; 4V; 6V
 - b) 2V; 2V; 6V; 6V
 - c) 2V; 4V; 4V; 2V
 - d) 4V; 4V; 2V; 6V
 - e) 4V; 2V; 1V; 3V
- 86) (PUC-MG) Dois aparelhos elétricos, de potências 600 W e 360 W, formam um circuito, cujo esquema está representado abaixo. A corrente elétrica assinalada no medidor, em ampères, é igual a:



- a) 5
 - b) 8
 - c) 10
 - d) 12
 - e) 15
- 87) (UFMG) Uma residência na qual a voltagem é de 120V tem um disjuntor que desarma sempre que a corrente ultrapassar 30 A. A tabela abaixo mostra alguns aparelhos eletrodomésticos que essa residência possui acompanhados da potência de cada um.

Aparelho	Potência
Chuveiro	2400 W
Ferro elétrico	1000W
Geladeira	600W
Lâmpadas (04 unidades)	400W
Televisor	100W

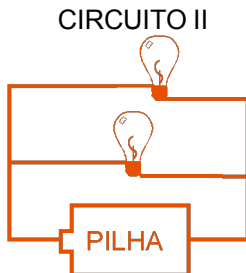
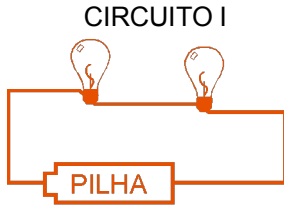
O disjuntor desarmará se forem ligados, simultaneamente,

- a) o chuveiro, a geladeira, as lâmpadas e o televisor.
- b) o chuveiro, o ferro elétrico e a geladeira.
- c) o chuveiro, o ferro elétrico e o televisor.
- d) o ferro elétrico, a geladeira, as lâmpadas e o televisor.

88) (UFMG) A resistência de uma lâmpada acesa, de 120W para 120 V, em funcionamento normal, vale

- a) 120Ω d) $1,44 \times 10^3 \Omega$
 b) 240Ω e) 60Ω
 c) 360Ω

89) (Fac. Direito Milton Campos) Observe os circuitos abaixo:



Uma mesma pilha pode ser associada a lâmpadas idênticas, conforme mostrado nas figuras acima.

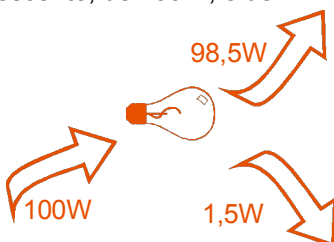
A respeito das figuras apresentadas, assinale a única alternativa correta.

- a) As resistências equivalentes dos dois circuitos são iguais.
 b) No circuito I, as lâmpadas possuem brilhos diferentes.
 c) No circuito II, a bateria vai descarregar mais rapidamente que no circuito I.
 d) A corrente elétrica tem a mesma intensidade nos dois circuitos.

90) (UNA) A potência nominal de uma lâmpada é o que ela recebe da fonte e não o que ela fornece. Assim, uma lâmpada incandescente de 100W recebe 100W da fonte e fornece 1,5W de brilho; os 98,5W restantes são dissipados na forma de calor (a ponto de não se poder tocar o bulbo quando a lâmpada está acesa após certo tempo).

Por isso, pode-se concluir que o rendimento de uma lâmpada incandescente, de 100W, é de:

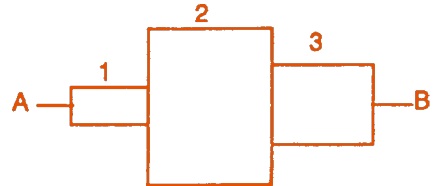
- a) 0,15%
 b) 0,99%
 c) 1,50%
 d) 82,50%
 e) 98,50%



91) (FCMMG) Um esterilizador de instrumentos cirúrgicos tem as seguintes especificações: 120V - 2.000W. Se sua resistência elétrica queimou-se, para que continue com o mesmo aquecimento original, deve-se substituí-la por uma de:

- a) $0,060 \Omega$.
 b) $7,2 \Omega$.
 c) 17Ω .
 d) $240 \text{ k}\Omega$.

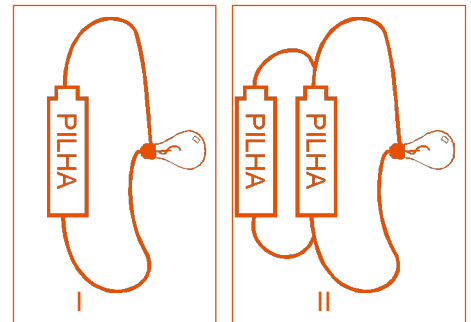
92) (PUC-MG) Um condutor é formado por três seções cilíndricas de mesmo comprimento e raios, respectivamente, R, 2R e 3R.



Sendo V_{AB} a diferença de potencial aplicada ao conjunto e P_1 , P_2 e P_3 as potências dissipadas em cada seção, é **CORRETO** dizer que:

- a) $P_1 = P_2 = P_3$
 b) $P_3 > P_2 > P_1$
 c) $P_1 > P_3 > P_2$
 d) $P_2 > P_3 > P_1$
 e) $P_1 > P_2 > P_3$

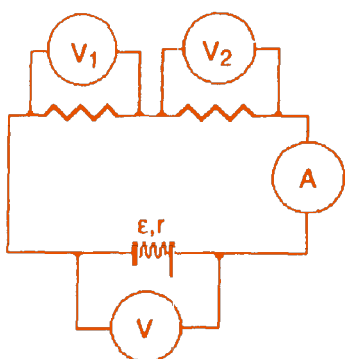
93) (UNA) Abaixo, temos dois circuitos. As pilhas são iguais. As lâmpadas também o são. Com relação aos mesmos são feitas várias afirmativas, sendo uma delas falsa. Qual a opção que a contém?



- a) Em qualquer um dos circuitos mostrados, a corrente na lâmpada é a mesma.
 b) No circuito II, a corrente elétrica se mantém por mais tempo do que no circuito I.
 c) A potência dissipada no circuito II é maior do que a dissipada no circuito I.
 d) No circuito I circula um total de cargas menor do que no circuito II, até a descarga das pilhas.
 e) A energia total dissipada em II é maior do que a energia total dissipada em I.

- 94) (PUC-MG) No circuito da figura, temos as seguintes leituras:

amperímetro $A = 10 \text{ A}$
 voltmímetro $V_1 = 15 \text{ V}$
 voltmímetro $V_2 = 20 \text{ V}$

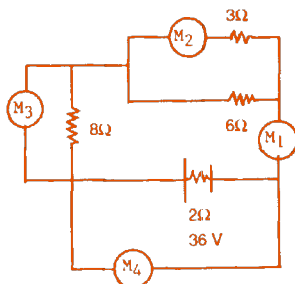


A resistência interna r da bateria vale $0,5 \Omega$.

A leitura do voltmímetro V e a força eletromotriz ε da bateria são, respectivamente:

- a) 35 V e $5,0 \text{ V}$
 b) 40 V e $5,0 \text{ V}$
 c) 35 V e 40 V
 d) 20 V e 25 V
 e) $5,0 \text{ V}$ e 35 V
- 95) (PUC-MG) O esquema desta questão mostra um circuito elétrico que possui quatro medidores. Eles determinam as leituras em volts e ampères. Das opções abaixo, a que possui os valores corretos das leituras é:

	M_1	M_2	M_3	M_4
a	3	2	24	30
b	1	3	8	36
c	2	1	16	30
d	3	2	16	24
e	2	1	24	36



- 96) (PUC-MG) Uma bateria elétrica é indicada para automóveis que utilizam 12 volts . Ao realizar o teste de voltagem, utilizando um resistor de $8,0 \Omega$, o fabricante verificou que os terminais acusaram uma ddp de 10 volts . Isso significa que a bateria tem uma resistência interna, em ohms, igual a:

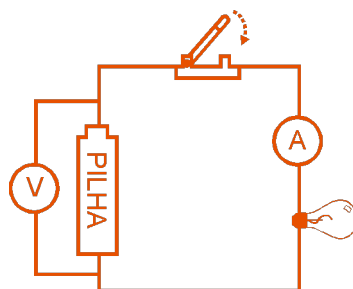
- a) $0,50$
 b) $1,0$
 c) $1,6$
 d) $2,0$
 e) $2,5$

- 97) (PUC-MG) Um voltmímetro é ligado diretamente aos terminais de uma bateria e a leitura é $10,5 \text{ V}$. Uma resistência de 10 ohms é ligada aos pólos da bateria. O mesmo voltmímetro ligado agora em paralelo com a resistência acusa $8,0 \text{ V}$. Isso indica que:



- a) a corrente elétrica é maior na situação II e a bateria tem resistência interna não desprezível.
 b) a corrente elétrica diminui na situação II e a resistência interna da bateria é desprezível.
 c) a resistência interna da bateria deve ser próxima de 10 ohms .
 d) deve haver engano de informações, pois a leitura em II deveria ser maior do que $10,5 \text{ V}$.
 e) a diferença de potencial na resistência R deve ser de $2,5 \text{ volts}$.
- 98) (Izabela Hendrix) Numa experiência de eletricidade realizada em laboratório, montou-se um circuito elétrico com uma pilha comum, uma lâmpada de lanterna e uma chave. A esse circuito foram conectados um voltmímetro e um amperímetro conforme ilustrado na figura abaixo. A tabela apresentada a seguir contém as leituras dos medidores numa primeira situação, em que a chave estava aberta, e numa segunda situação, em que a chave já tinha sido fechada.

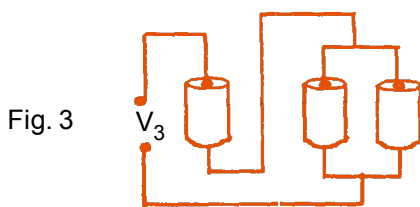
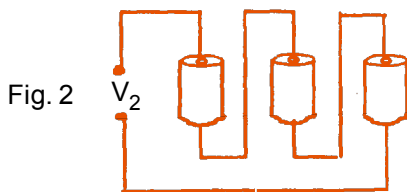
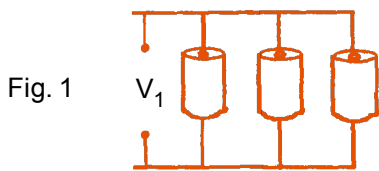
	Voltímetro	Amperímetro
Chave aberta	$1,5 \text{ V}$	0 mA
Chave fechada	$1,4 \text{ V}$	40 mA



A resistência da lâmpada e a resistência interna da pilha valem, respectivamente:

- a) $35,0 \Omega$ e $2,5 \Omega$.
 b) $35,0 \Omega$ e $3,5 \Omega$.
 c) $37,5 \Omega$ e $3,8 \Omega$.
 d) $37,5 \Omega$ e $3,5 \Omega$.
 e) $37,5 \Omega$ e $2,5 \Omega$.

99) (FCMMG) As figuras 1, 2 e 3 abaixo mostram três associações de baterias idênticas. Nos desenhos, a parte superior das baterias corresponde aos seus pólos positivos.



As associações produzem uma diferença de potencial V_1 , V_2 e V_3 , respectivamente. Pode-se afirmar que

- a) $V_1 < V_2 < V_3$. c) $V_1 < V_3 < V_2$.
b) $V_1 = V_2 = V_3$. d) $V_2 < V_3 < V_1$.

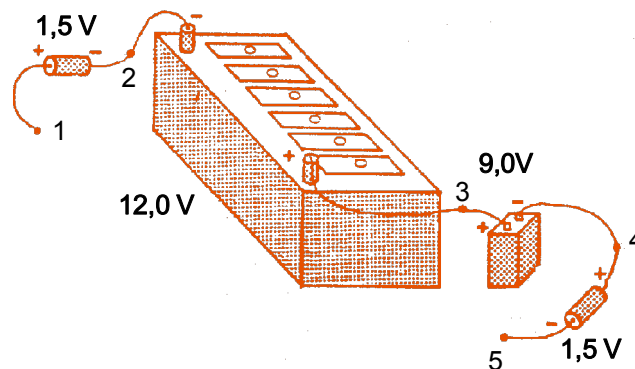
100) (PUC-MG) Quando duas baterias iguais são ligadas em paralelo, é **CORRETO** afirmar:

- a) A resistência interna equivalente fica reduzida à metade.
b) A resistência interna equivalente fica dobrada.
c) A força eletromotriz fornecida ao circuito dobra de valor.
d) A força eletromotriz fornecida ao circuito fica reduzida à metade.
e) A força eletromotriz fornecida ao circuito e a resistência interna equivalente não ficam modificadas.

101) (Newton Paiva) Considere um motor elétrico ligado à rede de 127 V. É **CORRETO** afirmar que

- a) a força contra-eletromotriz é responsável pelo movimento do eixo.
b) o aquecimento do motor só ocorre quando há carga no eixo.
c) a força eletromotriz atua sobre as espiras, empurrando-as.
d) a potência do motor só depende da tensão da rede e não da corrente.
e) se o eixo do motor for travado, a corrente que circula pelas espiras aumentará.

102) (UFMG) Observe a figura.

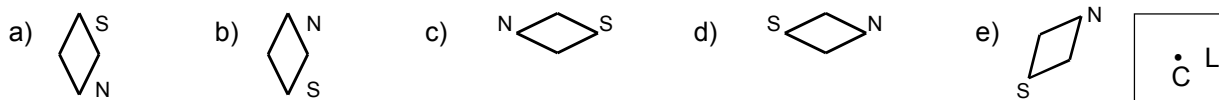


Duas pilhas comuns de 1,5 V, uma bateria de 12,0 V e uma pilha de 9,0 V são interligadas por fios condutores. A alternativa em que a diferença de potencial entre os pontos indicados está **CORRETA** é

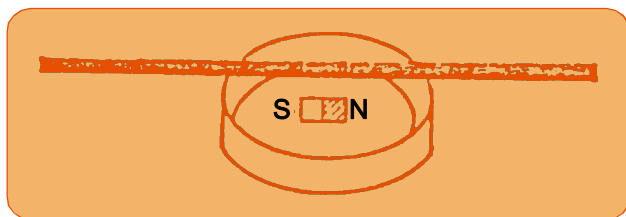
- a) $V_5 - V_3 = -10,5 \text{ V}$
b) $V_2 - V_4 = 21,0 \text{ V}$
c) $V_1 - V_3 = 13,5 \text{ V}$
d) $V_2 - V_5 = 4,5 \text{ V}$
e) $V_1 - V_4 = -22,5 \text{ V}$

Eletromagnetismo

103) (Itaúna-MG) A figura mostra a vista de cima de uma sala, onde está indicado o ponto cardeal. Se uma bússola for colocada no centro da sala (ponto C), a alternativa que melhor representa a orientação da agulha de uma bússola aí colocada é:

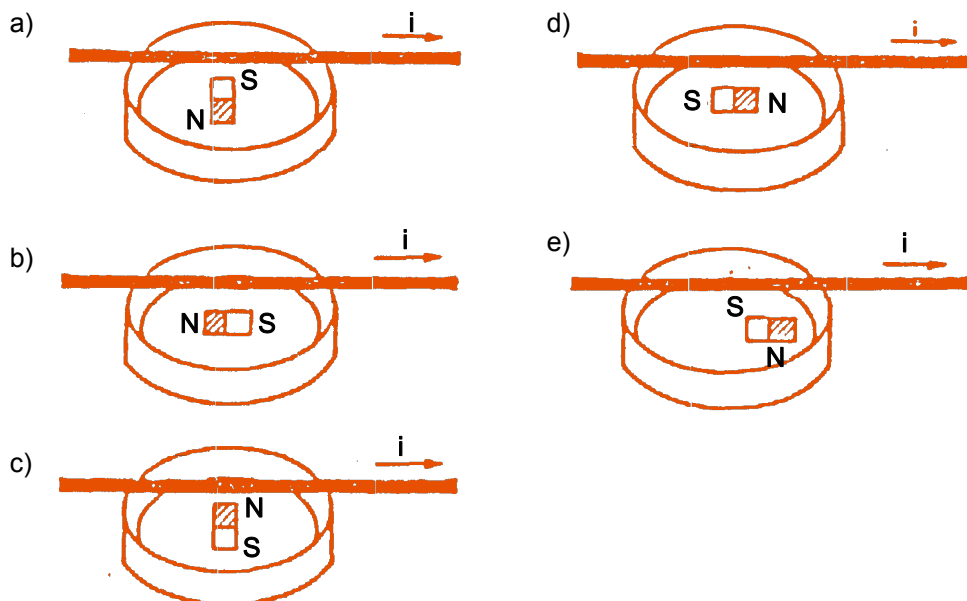


104) (UFMG) Esta figura mostra uma pequena chapa metálica imantada que flutua sobre a água de um recipiente. Um fio elétrico está colocado sobre esse recipiente.

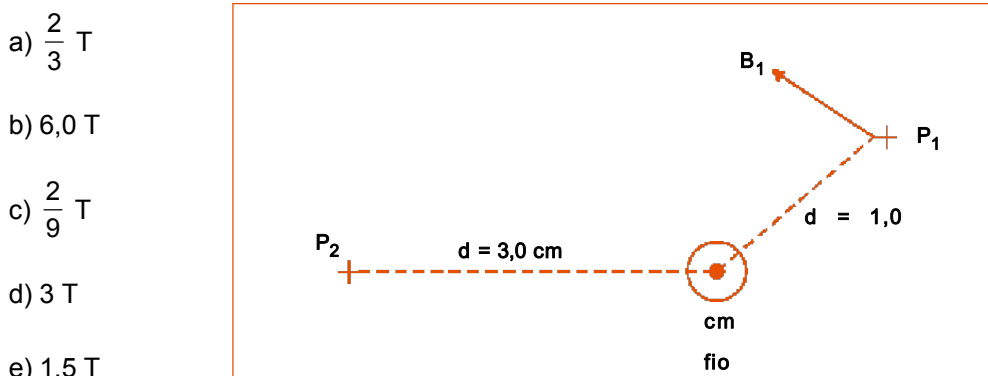


O fio passa, então, a conduzir uma intensa corrente elétrica contínua, no sentido da esquerda para a direita.

A alternativa que melhor representa a posição da chapa metálica imantada, após um certo tempo, é



105) (PUC-MG) Sabemos que a intensidade do campo magnético B , criado por um fio retilíneo percorrido por uma corrente elétrica, depende, em cada ponto, do valor dessa corrente e da distância desse ponto ao fio. Na figura a seguir, está representado um fio condutor, perpendicular à folha de papel. A corrente i , que percorreu o fio, produz, no ponto P_1 , um campo magnético de 2,0 T. O valor de B , no ponto P_2 , é:



106) (UFLA) Um fio longo e reto é percorrido por uma corrente elétrica constante. A intensidade do campo magnético produzido pela corrente a 5cm do fio é B . Qual é a intensidade do campo magnético a 10cm do fio?

a) $4B$

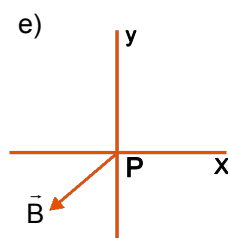
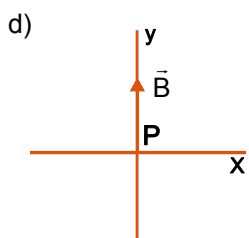
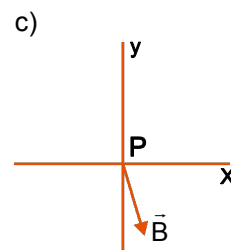
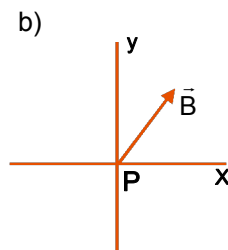
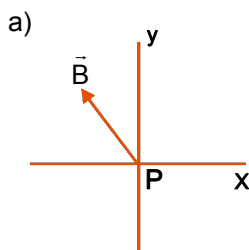
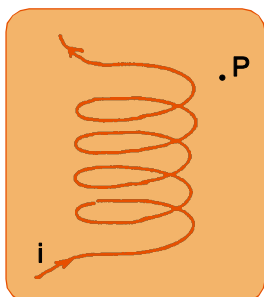
b) $B/2$

c) $2B$

d) B

e) $B/4$

107) (UFJF) Considere uma corrente elétrica constante I percorrendo um solenóide finito, conforme mostra a figura. Quais das opções abaixo melhor representa a direção do campo magnético no ponto P ?

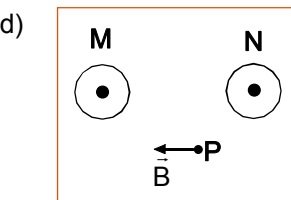
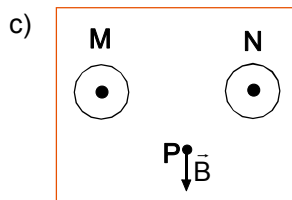
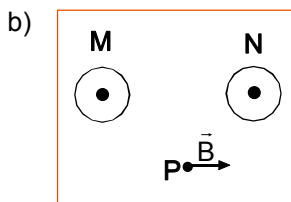
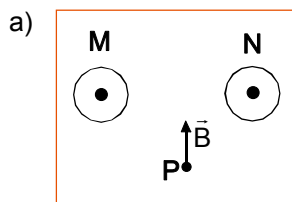


Este enunciado refere-se às questões 108 e 109.

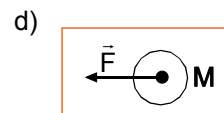
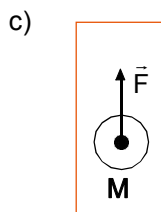
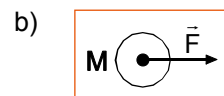
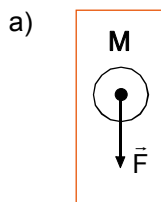
Essa figura mostra dois fios M e N , paralelos, percorridos por correntes de mesma intensidade, ambas saindo da folha de papel. O ponto P está à mesma distância dos dois fios.



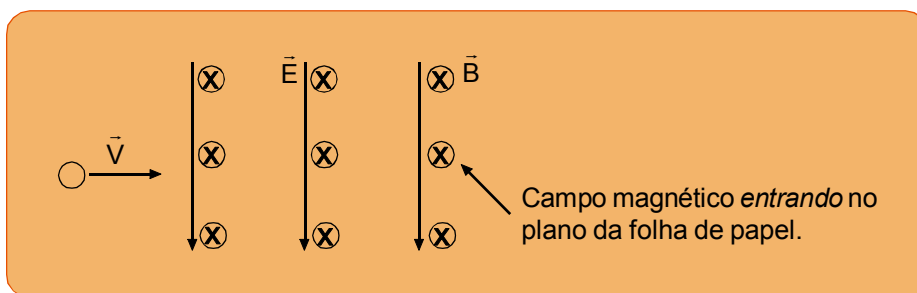
108) (UFMG) A opção que melhor representa a direção e o sentido corretos para o campo magnético, que as correntes criam em P , é:



109) (UFMG) A alternativa que melhor representa a direção e o sentido da força magnética que atua no fio M , em virtude da ação do campo magnético criado pela corrente no fio N , é:

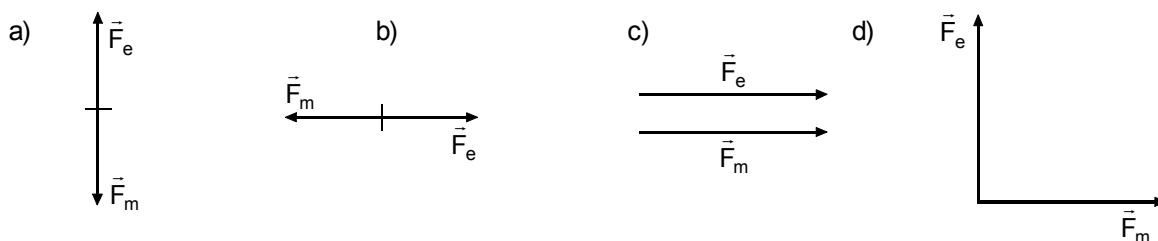


- 110) (UFMG) Um elétron entra com uma velocidade $\vec{v}$ em uma região onde existem um campo elétrico $\vec{E}$ e um campo magnético $\vec{B}$ uniformes e perpendiculares entre si, como mostra a figura. A velocidade $\vec{v}$ é perpendicular aos dois campos.



O elétron não sofre nenhum desvio ao cruzar a região dos campos.

As forças elétrica, $\vec{F}_e$, e magnética, $\vec{F}_m$, que atuam sobre o elétron, nessa situação, são melhor representadas por:

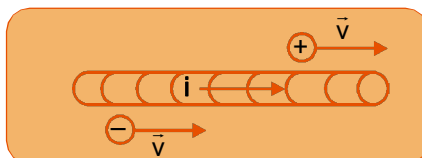


- 111) (FAFEOD) Um elétron é lançado dentro de um campo magnético cujo fluxo de indução magnética é $B = 3,0 \times 10^{-2}$ tesla, perpendicularmente às linhas de indução. Ao penetrar no campo, passa a descrever uma trajetória circular de raio igual a 2,0cm. Nessas condições, é **CORRETO** afirmar que:

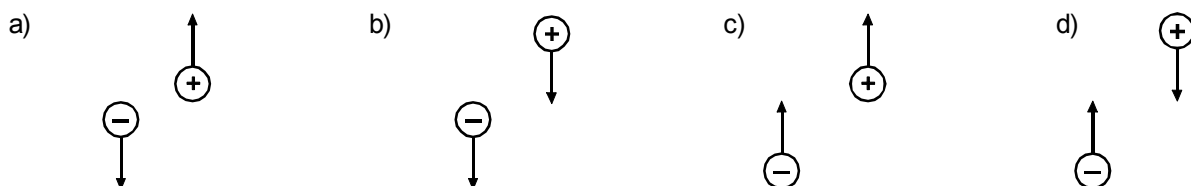
Dado: massa do elétron
 $m = 9,6 \times 10^{-31}$ kg.

- a velocidade de rotação do elétron é constante em módulo e direção.
- o módulo da velocidade com que o elétron é lançado dentro do campo magnético é de $1,0 \times 10^{-8}$ m/s.
- a força magnética que o campo magnético exerce sobre o elétron tem módulo igual a $5,0 \times 10^{-13}$ N.
- não há força magnética atuando sobre o elétron, há apenas força centrípeta.
- a velocidade do elétron tende para zero após ficar ele sujeito à ação do campo magnético.

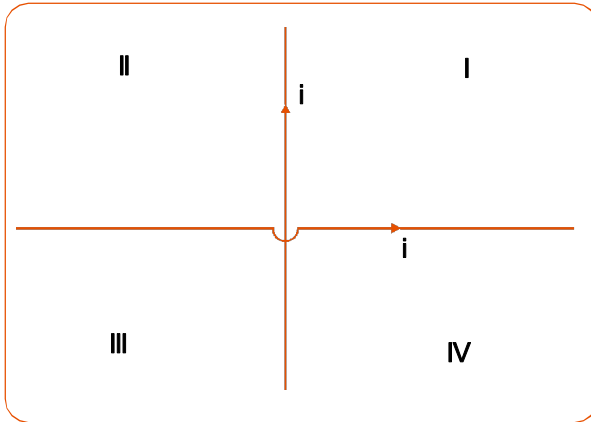
- 112) (UFMG) A figura representa um longo fio conduzindo corrente elétrica i . Em um dado instante, duas cargas, uma positiva e outra negativa, estão com velocidade $\vec{v}$ uma de cada lado do fio.



A configuração que melhor representa as forças do fio sobre cada uma das cargas é:



113) (UFMG) Observe a figura.

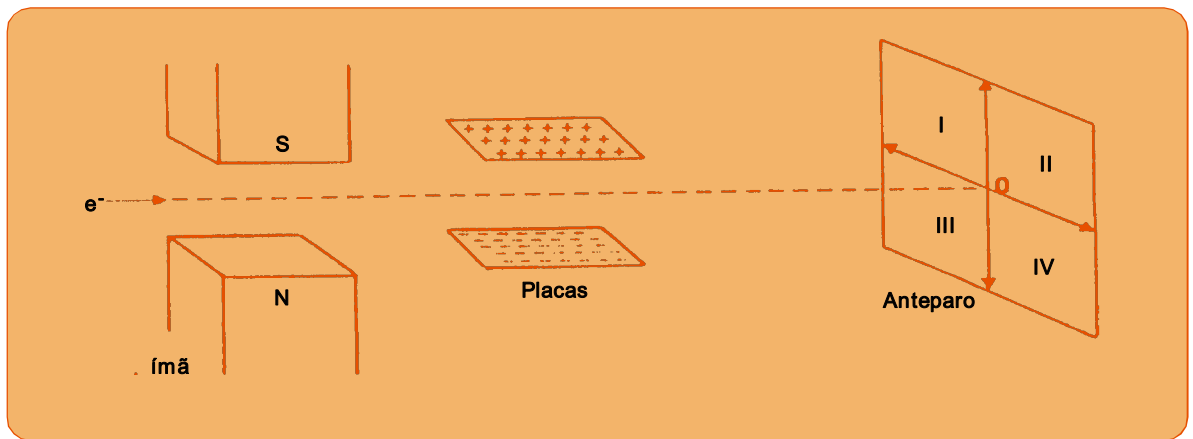


Nessa figura, dois fios retos e longos, perpendiculares entre si, cruzam-se sem contato elétrico e, em cada um deles, há uma corrente i , de mesma intensidade. Na figura, há regiões em que podem existir pontos nos quais o campo magnético resultante, criado pelas correntes, é nulo.

Essas regiões são:

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

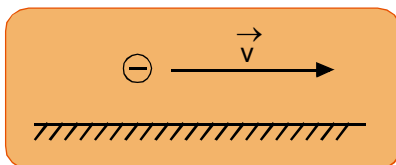
114) (UFMG) Um feixe de elétrons passa inicialmente entre os pólos de um ímã e, a seguir, entre duas placas paralelas, carregadas com cargas de sinais contrários, dispostos conforme a figura. Na ausência do ímã e das placas, o feixe de elétrons atinge o ponto O do anteparo.



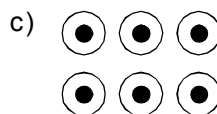
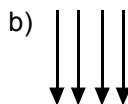
Em virtude das ações dos campos magnético e elétrico, pode-se concluir que o feixe

- a) passará a atingir a região I do anteparo.
b) passará a atingir a região II do anteparo.
c) passará a atingir a região III do anteparo.
d) passará a atingir a região IV do anteparo.
e) continuará a atingir o ponto O do anteparo.

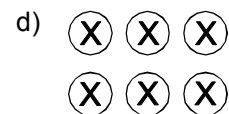
115) (UFMG) Uma partícula carregada negativamente movimenta-se na horizontal, com velocidade constante, em uma região próxima à superfície da Terra como mostra a figura. A situação de equilíbrio dessa partícula (velocidade constante) é proporcionada por uma força igual e de sentido contrário ao seu peso.



Se a força que se opõe ao peso da partícula é de origem magnética, as linhas de indução que indicam a direção e o sentido do campo magnético na região estão indicadas, corretamente, na alternativa:

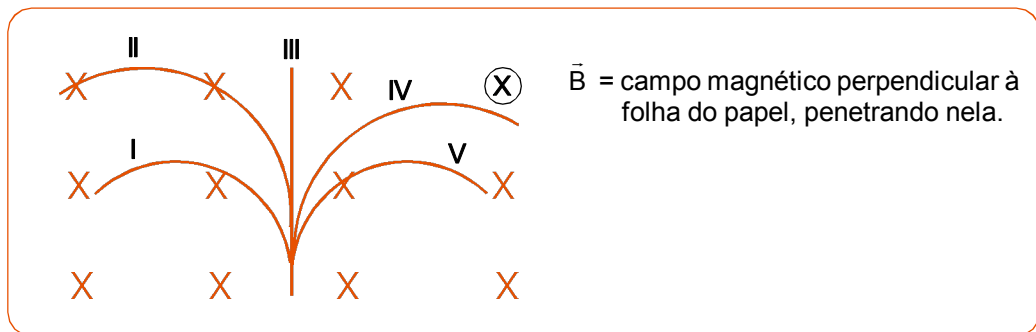


(horizontal saindo do plano da folha de papel)



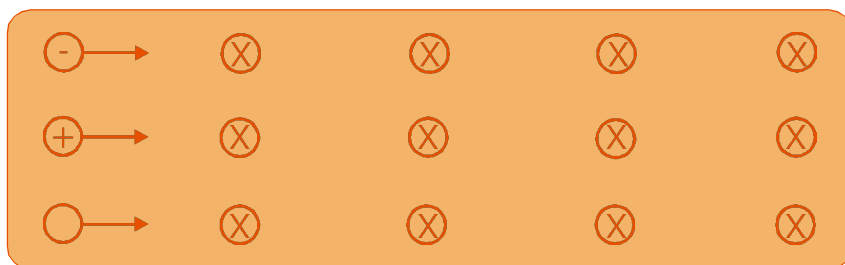
(horizontal entrando do plano na folha de papel)

- 116) (PUC-MG) Duas partículas subatômicas **P** e **N** são lançadas simultaneamente num campo magnético uniforme $\vec{B}$, com a mesma velocidade. Sabe-se que a massa de **P** é maior que a massa de **N** e que elas têm cargas de sinais opostos e de mesmos módulo.

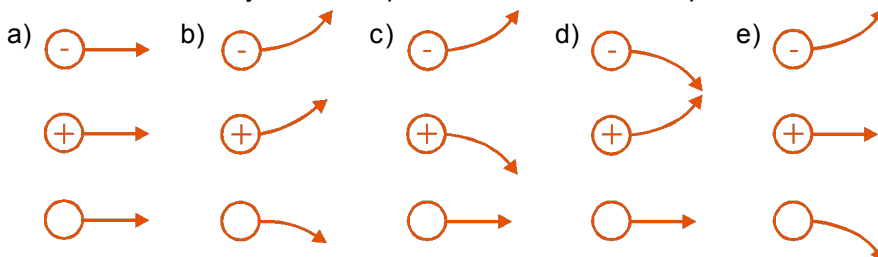


São possíveis trajetórias para as partículas **P** e **N**, respectivamente:

- a) I e IV b) I e II c) III e IV d) II e V e) IV e V
- 117) (UFOP) Em uma região, onde existe um campo magnético uniforme, são lançadas, normalmente ao campo, três partículas com velocidades iguais: um elétron, um próton e um nêutron, de acordo com a figura abaixo.

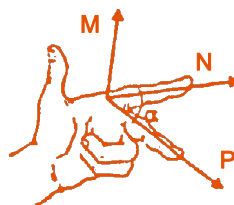


Assinale a alternativa onde as trajetórias das partículas estão melhor representadas.



- 118) (PUC-MG) Considere uma carga elétrica positiva lançada, com velocidade constante, em uma região do espaço onde existe um campo magnético uniforme, perpendicularmente às linhas de indução. Sabemos que uma força magnética aparece na partícula, cujo módulo pode ser calculado pela relação $F = B q v$, em que B = módulo do campo magnético, q = intensidade da carga elétrica e v = velocidade da partícula. Sabemos também que é comum utilizar a regra da mão esquerda para representar os vetores F , B , e v , em que os dedos, polegar, indicador e médio são esses vetores. Mostramos a seguir quatro combinações que podem, ou não, relacionar corretamente essas grandezas.

	Força	Velocidade	Campo Magnético
I.	M	P	N
II.	M	N	P
III.	P	N	M
IV.	N	P	M



Assinale:

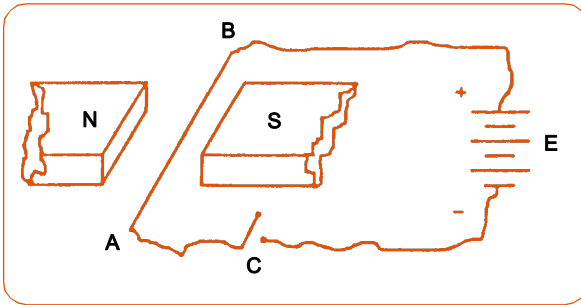
- a) se todas as combinações estão corretas. d) se apenas as combinações I e III estão corretas.
b) se todas as combinações estão incorretas. e) se apenas as combinações II e IV estão corretas.
c) se apenas as combinações I e II estão corretas.

119) (Milton Campos-MG) A trajetória descrita por um próton lançado em um campo magnético uniforme, paralelamente às linhas de indução do mesmo, é:

- a) circular
- b) elíptica
- c) retilínea
- d) parabólica
- e) helicoidal

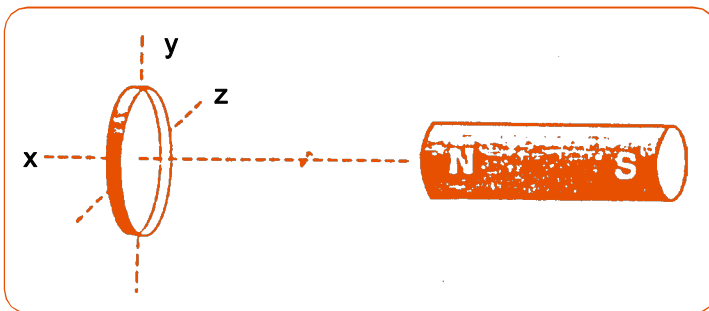
Obs.: Despreze o campo gravitacional

120) (UFLA) Um condutor retilíneo AB é alimentado por uma bateria de força eletromotriz E, conforme mostra a figura abaixo. Colocando-se esse condutor entre os polos Norte e Sul de um ímã e fechando-se a chave C, o condutor AB



- a) será atraído pelo pólo Norte.
- b) será atraído pelo pólo Sul.
- c) irá se deslocar para cima.
- d) irá se deslocar para baixo.
- e) será atraído e repelido de forma alternada.

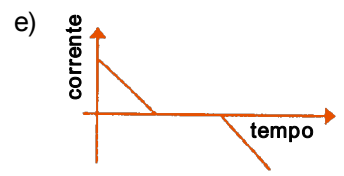
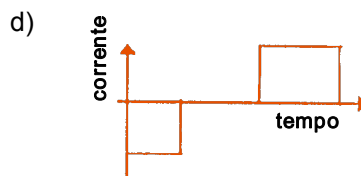
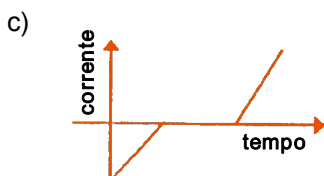
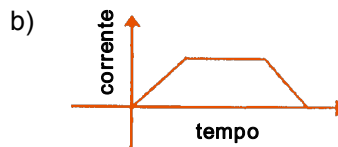
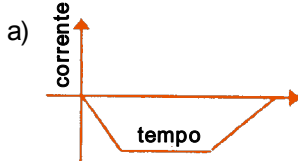
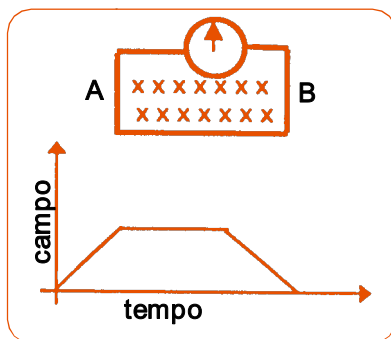
121) (UFMG) A figura mostra um ímã e um aro circular. O eixo do ímã (eixo x) é perpendicular ao plano do aro, (plano yz) e passa seu centro.



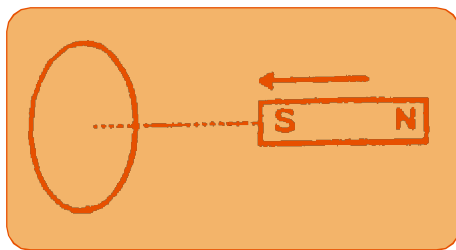
NÃO aparece corrente na espira se ela

- a) deslocar-se ao longo do eixo x.
- b) deslocar-se ao longo do eixo y.
- c) girar em torno do eixo x.
- d) girar em torno do eixo y.

122) (PUC-MG) Na região de uma espira condutora que contém um amperímetro de zero central, é criado um campo magnético uniforme em toda a região da espira penetrando perpendicularmente o plano do papel, de acordo com o gráfico apresentado abaixo. A corrente que flui de A para B acusa uma leitura positiva para a corrente elétrica. Qual dos gráficos abaixo pode representar a corrente induzida, em função do tempo, correspondente ao gráfico do campo magnético?



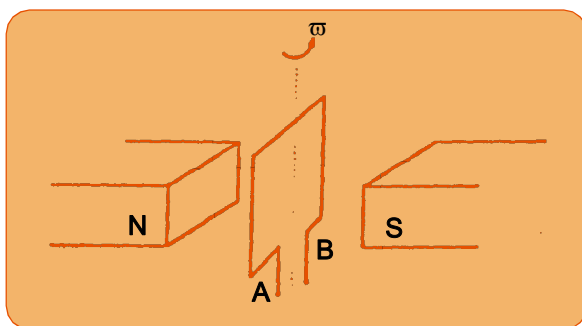
123) (Itaúna-MG) Um ímã é aproximado de uma espira circular, como na figura.



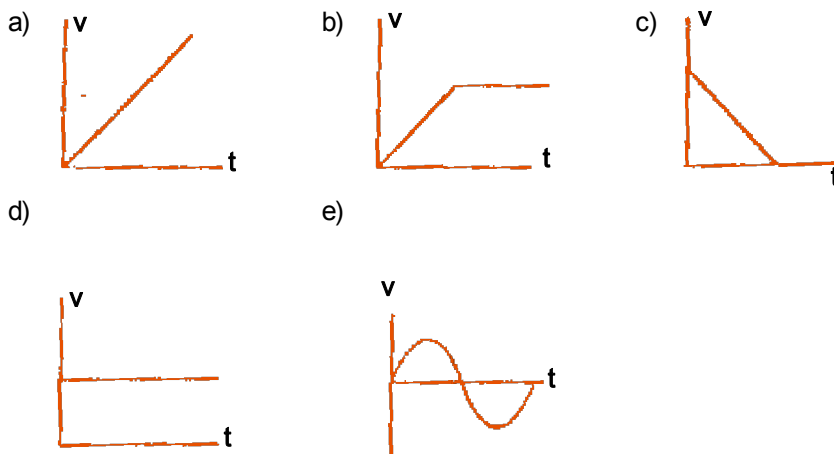
Nessas condições, aparecerá uma corrente elétrica na espira durante a aproximação porque:

- a) o pólo sul atrai a espira.
- b) o pólo sul repele a espira.
- c) a área da espira está variando.
- d) o fluxo magnético na espira é constante.
- e) há variação do fluxo magnético na espira.

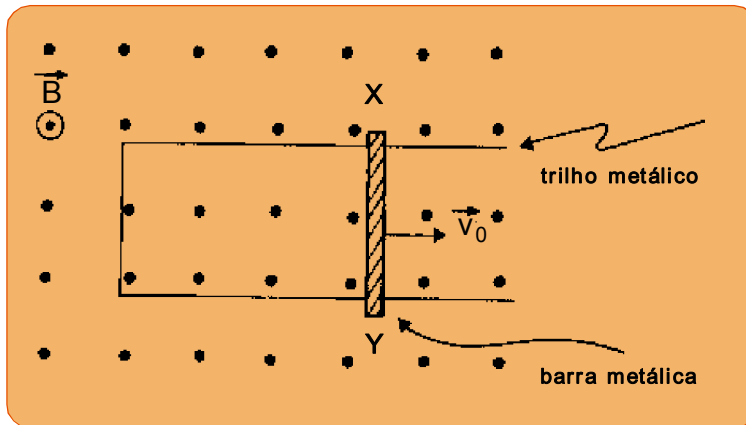
124) (UFLA) A figura abaixo representa uma espira girando em torno de seu eixo, com velocidade angular constante ω , em um campo magnético.



O gráfico que melhor representa a variação da força eletromotriz gerada nos terminais AB, em relação ao tempo, é:



125) (UFMG) Observe a figura.

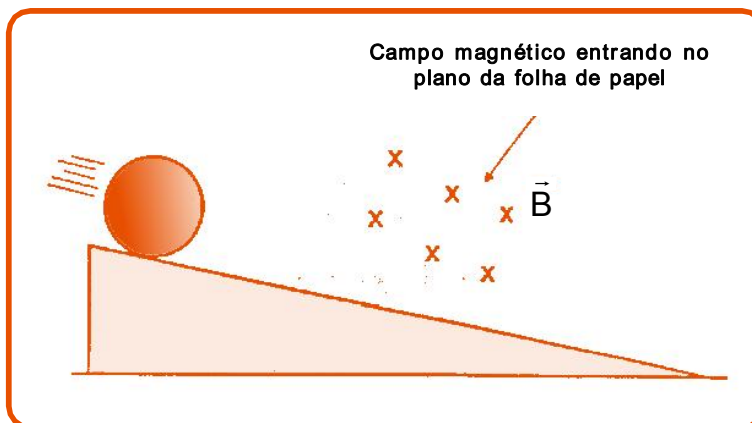


Essa figura mostra um trilho metálico, horizontal, sobre o qual uma barra, também metálica, pode se deslocar livremente, sem atrito. Na região onde está o trilho existe um campo magnético $\vec{B}$, “saindo” do papel.

Lançando-se a barra para a direita, com velocidade $\vec{v}_0$, haverá nela uma corrente elétrica:

- a) de X para Y e seu movimento será acelerado.
- b) de X para Y e seu movimento será retardado.
- c) de Y para X e seu movimento será acelerado.
- d) de Y para X e seu movimento será retardado.
- e) de Y para X e seu movimento será uniforme.

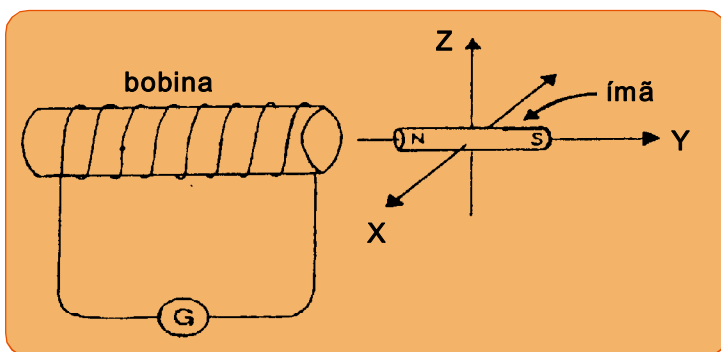
126) (UFMG) Um aro metálico com uma certa resistência elétrica desce um plano inclinado. Em determinado trecho, ele passa por uma região onde existe um campo magnético, como mostra a figura.



Com relação a essa situação, é **CORRETO** afirmar que:

- a) nada se pode dizer sobre a influência do campo magnético no tempo de queda, sem conhecer a resistência elétrica do aro.
- b) o campo magnético não influenciará no tempo de descida do aro.
- c) o tempo gasto pelo aro, para atingir a base do plano, é maior do que o tempo que ele gastaria se o campo magnético não existisse.
- d) o tempo gasto pelo aro, para atingir a base do plano, é menor do que o tempo que ele gastaria se o campo magnético não existisse.

127) (UFMG) Um ímã cilíndrico, com os pólos norte e sul nas posições indicadas na figura, está em frente a um circuito constituído de uma bobina e de um galvanômetro G.



Os três eixos perpendiculares entre si, X, Y e Z, passam no centro geométrico do ímã. O eixo Y coincide com os eixos da bobina e do ímã.

Considere, ainda, as seguintes situações:

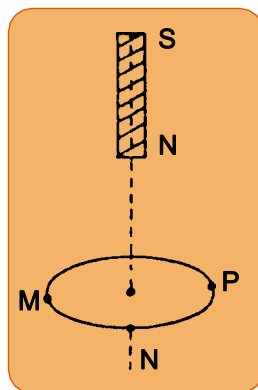
- I) o ímã gira apenas em torno do eixo X;
- II) o ímã gira apenas em torno do eixo Y;
- III) o ímã gira apenas em torno do eixo Z.

O galvanômetro G indicará a presença de uma corrente elétrica:

- a) apenas na situação I.
- b) apenas na situação II.
- c) apenas na situação III.
- d) nas situações I e II.
- e) nas situações I e III.

As questões 128 e 129 referem-se ao enunciado e à figura seguintes.

Nessa figura, representa-se um ímã prismático, com seu pólo norte voltado para baixo. Esse ímã foi abandonado e cai passando pelo centro de uma espira circular situada em um plano horizontal.



128) (UFMG) Sejam $\vec{F}_{ie}$ e $\vec{F}_{ei}$ as forças do ímã sobre a espira e da espira sobre o ímã, respectivamente. Enquanto o ímã se aproxima do plano da espira, pode-se afirmar que:

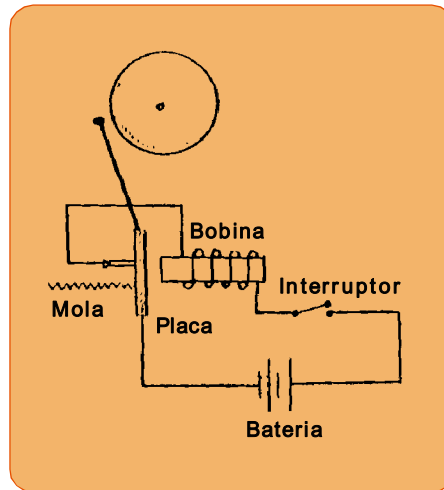
- a) $\vec{F}_{ie}$ é vertical para cima, e $\vec{F}_{ei}$ é vertical para baixo.
- b) $\vec{F}_{ie}$ é vertical para cima, e $\vec{F}_{ei}$ também é vertical para cima.
- c) $\vec{F}_{ie}$ é nula, e $\vec{F}_{ei}$ também é nula.
- d) $\vec{F}_{ie}$ é vertical para baixo, e $\vec{F}_{ei}$ é vertical para cima.
- e) $\vec{F}_{ie}$ e $\vec{F}_{ei}$ têm direções e sentidos indeterminados.

129) (UFMG) Sejam i_1 e i_2 , respectivamente, as correntes na espira quando o ímã se aproxima e quando se afasta dela.

Sobre as correntes na espira, pode-se afirmar que:

- a) i_1 está no sentido MNP, e i_2 , no sentido MPN.
- b) i_1 está no sentido MPN, e i_2 , no sentido MNP.
- c) i_1 está no sentido MNP, e i_2 , é nula.
- d) i_1 e i_2 estão ambas no sentido MNP.
- e) i_1 e i_2 estão ambas no sentido MPN.

130) (UFV) A figura abaixo representa uma campainha de corrente contínua e seu respectivo circuito.



As afirmativas a seguir referem-se ao que ocorre quando o interruptor é acionado.

I - Uma extremidade da bobina fica carregada positivamente, atraindo a placa.

II - A corrente elétrica gera um campo magnético na bobina, que atrai a placa.

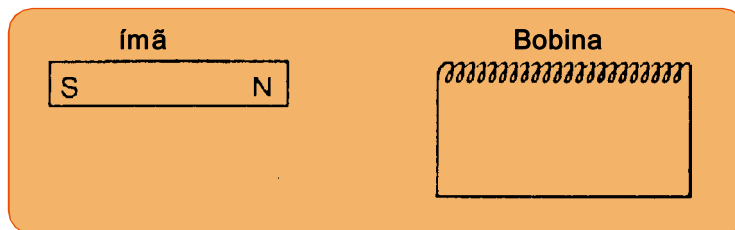
III - A corrente elétrica gera um campo magnético na bobina e outro na placa, que se atraem mutuamente.

Em relação às afirmativas acima, assinale a opção correta:

- a) Apenas II é verdadeira.
- b) Apenas I é verdadeira.
- c) Apenas III é verdadeira.
- d) Todas são verdadeiras.
- e) Nenhuma é verdadeira.

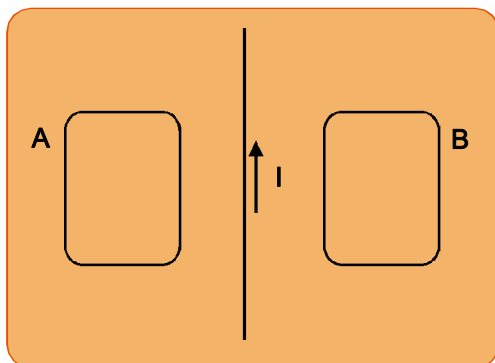
131) (UFMG) Esta figura mostra um ímã colocado próximo a uma bobina.

Todas as alternativas apresentam situações em que aparecerá uma corrente induzida na bobina, **EXCETO**:



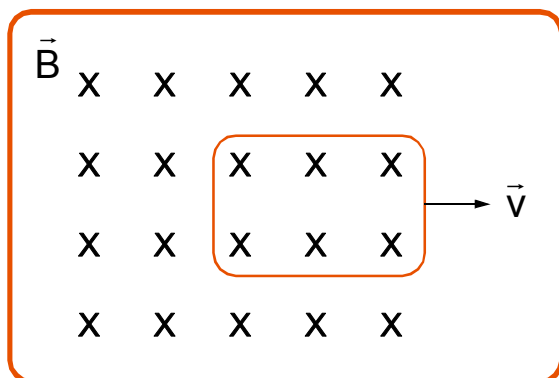
- a) A bobina e o ímã se movimentam com a mesma velocidade para a direita.
- b) A bobina está em repouso e o ímã se movimenta para a direita.
- c) A bobina está em repouso e o ímã se movimenta para a esquerda.
- d) O ímã está em repouso e a bobina se movimenta para a direita.
- e) O ímã está em repouso e a bobina se movimenta para a esquerda.

132) (UFV) Duas espiras, A e B, estão próximas de um fio percorrido por uma corrente I variável. Quando a intensidade da corrente aumenta, é **CORRETO** afirmar que:



- a) não aparece corrente induzida em nenhuma das espiras.
- b) aparece uma corrente induzida no sentido horário na espira A e no sentido anti-horário na espira B.
- c) nas duas espiras aparecem correntes induzidas no sentido horário.
- d) aparece corrente induzida apenas na espira B, pois o campo magnético é formado somente no lado direito.
- e) aparece corrente induzida apenas na espira A, pois o campo magnético é formado somente no lado esquerdo.

133) (FUNREI) Na figura abaixo está representado um campo magnético de indução $\vec{B}$, penetrando no plano do papel, e uma espira retangular, que se move para a direita com velocidade $\vec{v}$, cujo plano é perpendicular às linhas de indução.

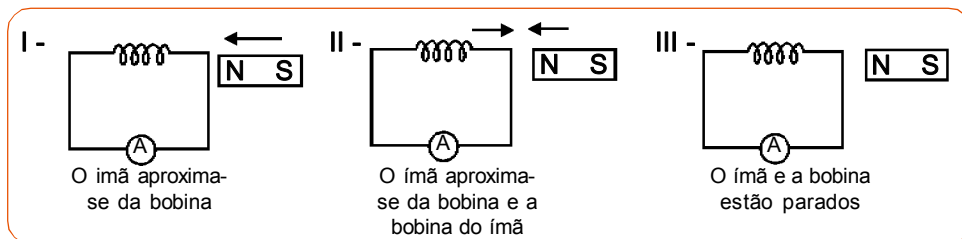


Nessas condições, é **CORRETO** afirmar-se que:

- a) será induzida na espira uma corrente elétrica de sentido horário.
- b) será induzida na espira uma corrente elétrica de sentido anti-horário.
- c) será induzida na espira uma corrente elétrica alternada.
- d) não haverá indução de correntes na espira.

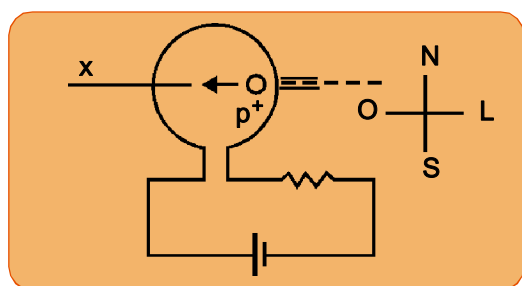
134) (Itaúna-MG) Observe as três situações:

O medidor de corrente elétrica A indica a passagem da corrente elétrica em:



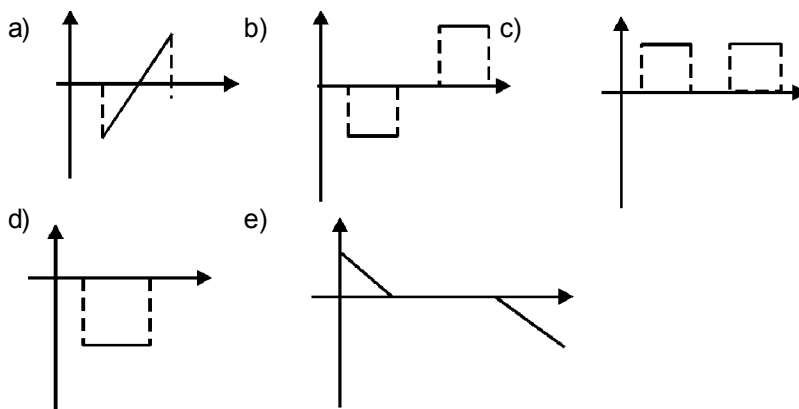
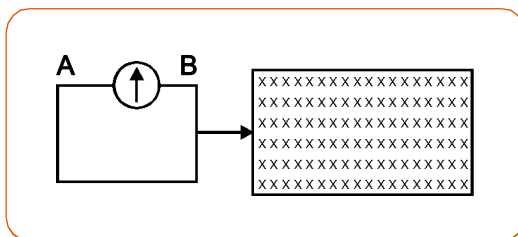
- a) I e II b) apenas I c) apenas II d) apenas III e) I, II e III

135) (PUC-MG) A espira da figura abaixo está no plano do papel. Se um próton for lançado sobre a reta x, no sentido indicado, a força magnética que atua na partícula, quando ela passa sobre a espira, está dirigida:

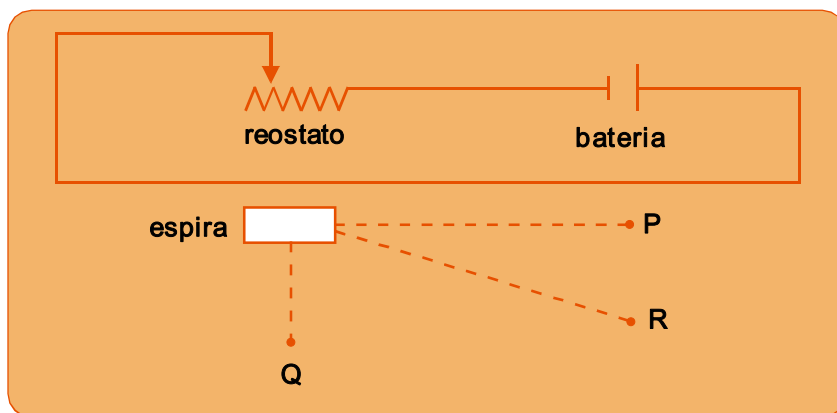


- a) para o Sul.
b) perpendicularmente ao plano do papel, para baixo.
c) para o Leste.
d) para o Norte.
e) perpendicularmente ao plano do papel, para cima.

136) (PUC-MG) Uma espira condutora que contém um amperímetro de zero central é puxada com velocidade constante para a direita, e com isso ela penetra e sai de uma região onde há um campo magnético constante perpendicular penetrando o plano do papel. A corrente que flui de A para B acusa uma leitura positiva para a corrente elétrica. Qual dos gráficos abaixo pode representar a corrente (eixo vertical) em função do tempo (eixo horizontal) para o movimento da espira até sair completamente da região que contém o campo magnético?



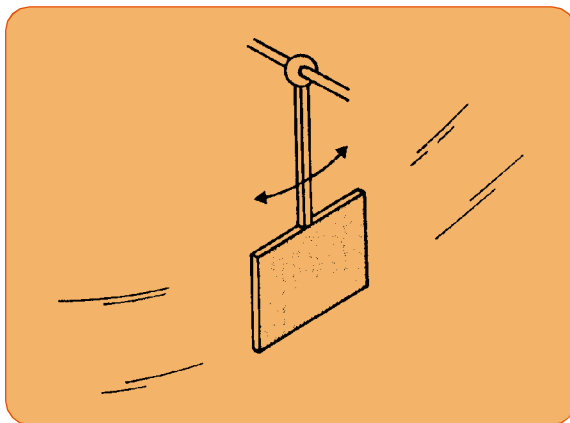
137) (UFMG) A figura mostra um circuito composto de uma bateria e de um reostato (resistor do qual se pode variar a resistência). Esse circuito está ao lado de uma espira metálica.



Na espira metálica **NÃO** haverá corrente elétrica quando:

- a) a espira se deslocar em linha reta na direção do ponto P.
- b) a espira se deslocar em linha reta na direção do ponto Q.
- c) a espira se deslocar em linha reta na direção do ponto R.
- d) a resistência no reostato estiver sendo alterada.

138) (UFMG) Este diagrama mostra um pêndulo com uma placa de cobre presa em sua extremidade.



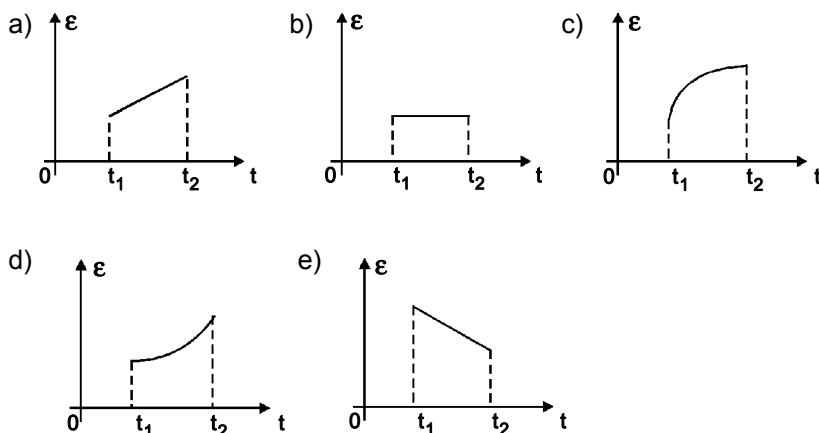
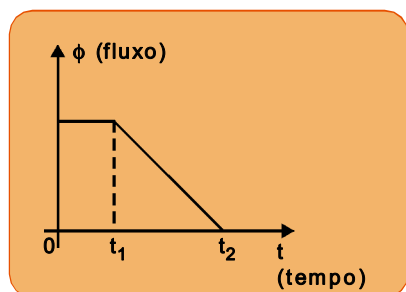
Esse pêndulo pode oscilar livremente, mas, quando a placa de cobre é colocada entre os pólos de um ímã forte, ele pára de oscilar rapidamente.

Isso ocorre porque:

- a) a placa de cobre fica ionizada.
- b) a placa de cobre fica eletricamente carregada.
- c) correntes elétricas são induzidas na placa de cobre.
- d) os átomos de cobre ficam eletricamente polarizados.
- e) os elétrons livres da placa de cobre são atraídos eletrostaticamente pelos pólos do ímã.

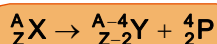
139) (PUC-MG) O gráfico representa o fluxo do campo magnético que passa através de uma espira:

O diagrama que melhor representa a força eletromotriz induzida na espira, em função do tempo, é:



FÍSICA MODERNA

140) Um dos mais conhecidos processos de desintegração nuclear pode ser representado pela equação:



Considere, então, como átomo pai o ${}^{238}_{92}\text{U}$.

Leia as afirmativas abaixo:

- I. Durante a desintegração, ocorre a emissão de uma partícula β (beta).
- II. O átomo residual, representado por Y, é o tório (Th).
- III. A partícula emitida tem uma velocidade que varia de 3×10^3 km/h até 30×10^3 km/h. e possui elevado poder de penetração.
- IV. Quando a partícula emitida incorpora dois elétrons, capturados do meio ambiente, transforma-se em um átomo de hélio.

Assinale:

- | | |
|---|---|
| a) se todas as afirmativas estiverem corretas. | d) se apenas duas das afirmativas estiverem corretas. |
| b) se todas as afirmativas estiverem incorretas | e) se apenas três das afirmativas estiverem corretas. |
| c) se apenas uma das afirmativas estiver correta. | |

141) A idéia básica da fissão nuclear é bombardear os núcleos dos átomos de determinado elemento, usando como projéteis partículas subatômicas. Desse bombardeamento resulta a “quebra” dos núcleos alvo com emissão de energia. Suponha que o núcleo alvo seja o urânio - 235. Sabe-se que em cada fissão de U - 235 são liberados cerca de 200 MeV (cerca de $3,0 \times 10^{-11}$ J) de energia e que, fissionando-se 1 kg de U - 235, teremos aproximadamente $3,0 \times 10^{24}$ fissões.

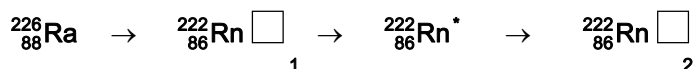
Considerando os dados apresentados, o número de lâmpadas de 100W, que poderemos manter acesas, durante um ano inteiro, sem interrupções, com a energia liberada pela fissão de 1 kg de U - 235, é:

- a) $9,0 \times 10^4$
- b) $9,0 \times 10^{13}$
- c) $2,0 \times 10^9$
- d) $2,0 \times 10^{17}$
- e) $3,0 \times 10^4$

$$1 \text{ ano} = 3,0 \times 10^7 \text{ segundos}$$

142) Há vários mecanismos pelos quais os núcleos radiativos se desintegram. Os três principais são:

- a) desintegração α ;
- b) desintegração β ;
- c) desintegração γ . Observe a transformação abaixo:



(* Radionuclídeo numa situação metaestável)

Os decaimentos que completam os quadros 1 e 2 são, respectivamente:

- a) ${}^4_2\alpha$; ${}^0_0\gamma$
- b) ${}^0_{-1}\beta$; ${}^4_2\alpha$
- c) ${}^0_{-1}\beta$; ${}^0_0\gamma$
- d) ${}^4_2\alpha$; ${}^0_{-1}\beta$
- e) ${}^0_0\gamma$; ${}^0_{-1}\beta$

Na questão 143 são feitas três afirmações, que podem estar corretas ou não. Responda às questões de acordo com o seguinte esquema:

- a) se todas as afirmações são corretas.
- b) se todas as afirmações são incorretas.
- c) se apenas as afirmações I e II são corretas.
- d) se apenas as afirmações I e III são corretas.
- e) se apenas as afirmações II e III são corretas.

- 143) I - No modelo proposto por Rutherford, para a estrutura do átomo, toda a carga positiva e, fundamentalmente, toda a massa estariam concentradas em um pequeno espaço chamado núcleo.
- II - Segundo Rutherford, o espalhamento das partículas alfa é devido à força de repulsão coulombiana, entre a carga positiva dessa partícula e a carga de mesmo sinal, do núcleo.
- III - Ainda, segundo a teoria de Rutherford, a partícula alfa não penetra na região nuclear. Desse modo, o núcleo e a partícula se comportam como cargas pontuais.

144) No modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio, a energia do átomo:

- a) pode ter qualquer valor.
- b) tem um único valor fixo.
- c) independe da órbita do elétron.
- d) tem alguns valores possíveis.

As questões 145, 146, 147 se referem às alternativas a seguir:

- a) se apenas as afirmativas I e II forem falsas.
- b) se apenas as afirmativas II e III forem falsas.
- c) se apenas as afirmativas I e III forem falsas.
- d) se todas forem verdadeiras.
- e) se todas forem falsas.

145) Sobre o efeito fotoelétrico, pode-se dizer que a energia cinética de cada elétron extraído do metal depende:

- I - da intensidade da luz incidente.
- II - da frequência da luz incidente.
- III - do ângulo de incidência da luz.

146) A experiência de espalhamento de partículas alfa por uma folha fina de ouro pareceu indicar que:

- I - os átomos devem estar concentrados.
- II - as cargas negativas dos átomos devem estar concentradas.
- III - as cargas positivas dos átomos devem estar concentradas.

147) O modelo planetário de Rutherford foi aceito apenas parcialmente porque:

- I - os elétrons deveriam perder energia orbitando em torno dos prótons.
- II - os elétrons não têm massa suficiente para orbitarem em torno dos prótons.
- III - os elétrons colidiriam entre si ao orbitarem em torno dos prótons.

148) Analise as afirmativas abaixo sobre as partículas alfa, beta e gama, considerando a natureza dessas partículas:

- I - Uma partícula alfa em movimento pode ser desviada por um campo magnético perpendicular à sua velocidade.
- II - Uma partícula beta em movimento pode ser desviada por um campo magnético perpendicular à sua velocidade.
- III - Uma partícula gama em movimento pode ser desviada por um campo magnético perpendicular à sua velocidade.

Assinale:

- a) se apenas as afirmativas I e II são corretas.
- b) se apenas as afirmativas II e III são corretas.
- c) se apenas as afirmativas I e III são corretas.
- d) se todas as afirmativas são falsas.
- e) se todas as afirmativas são corretas.

149) Complete as lacunas do trecho com as palavras que, na mesma ordem, estão relacionadas nas opções a seguir.

“A luz quando atravessa uma fenda muito estreita apresenta um fenômeno chamado de _____ e isto é interpretado como resultado do comportamento _____ da luz. Porém quando a luz incide sobre uma superfície metálica, elétrons podem ser emitidos da superfície sendo este fenômeno chamado _____, que é interpretado como resultado do comportamento _____ da luz.”

Assinale a opção **CORRETA** encontrada:

- a) difração, ondulatório, efeito fotoelétrico, corpuscular.
- b) difração, corpuscular, efeito fotoelétrico, ondulatório.
- c) interferência, ondulatório, efeito Compton, corpuscular.
- d) efeito fotoelétrico, corpuscular, difração, ondulatório.
- e) ondas, magnético, fótons, elétrico.

O enunciado a seguir se refere às questões de 150 a 152.

No estabelecimento da Teoria Atômica, foram propostos três modelos atômicos que se sucederam, porque não conseguiam explicar adequadamente alguns fatos experimentais. Os modelos são conhecidos pelos nomes de seus autores: Thomson, Rutherford e Bohr. Três fatos experimentais ajudaram a decidir qual deles poderia descrever o átomo de uma forma mais adequada. São eles: neutralidade elétrica, espalhamento de partículas alfa e estabilidade da energia orbital dos elétrons.

Para cada propriedade citada nas questões 150, 151, 152, responda de acordo com o critério a seguir, assinalando para cada questão:

- a) somente o modelo de Thomson explicaria.
- b) os modelos de Thomson e Bohr explicariam.
- c) somente o modelo de Bohr explicaria.
- d) os modelos de Rutherford e Bohr explicariam.
- e) todos os modelos explicariam.

150) Neutralidade elétrica.

151) Espalhamento de partículas alfa.

152) Estabilidade da energia orbital dos elétrons.

153) O efeito fotoelétrico consiste:

- a) na existência de elétrons em uma onda eletromagnética que se propaga em um meio uniforme e contínuo.
- b) na possibilidade de se obter uma foto do campo elétrico quando esse campo interage com a matéria.
- c) na emissão de elétrons quando uma onda eletromagnética incide em certas superfícies.
- d) no fato de que a corrente elétrica em metais é formada por fótons de determinada energia.
- e) na idéia de que a matéria é uma forma de energia, podendo transformar-se em fótons ou em calor.

154) A presença de um elemento atômico em um gás pode ser determinada verificando-se as energias dos fótons que são emitidos pelo gás, quando este é aquecido. No modelo de Bohr para o átomo de hidrogênio, as energias dos dois níveis de menor energia são:

$$E_1 = - 13,6 \text{ eV}$$

$$E_2 = - 3,40 \text{ eV}.$$

Considerando-se essas informações, um valor **possível** para a energia dos fótons emitidos pelo hidrogênio aquecido é:

- a) - 17,0 eV.
- b) - 3,40 eV.
- c) 8,50 eV.
- d) 10,2 eV.

155) Assinale, dentre os itens abaixo, o **CORRETO**:

- a) a teoria da relatividade de Einstein diz ser possível acelerar partículas massivas, a partir do repouso, até velocidades superiores à velocidade da luz.
- b) a energia de um fóton aumenta conforme aumenta seu comprimento de onda.
- c) um elétron, ao ser freado bruscamente, pode emitir raios-X.
- d) um corpo negro, por ser negro, nunca emite radiação eletromagnética.
- e) segundo de Broglie, a luz sempre se comporta como uma onda, e o elétron sempre se comporta como uma partícula.



GABARITO

- a) 4, 5, 11, 13, 21, 22, 23, 31, 32, 41, 43, 44, 46, 50, 51, 53, 54, 56, 57, 71, 77, 81, 82, 83, 85, 88, 95, 97, 98, 100, 101, 102, 105, 110, 114, 116, 119, 129, 130, 131, 133, 134, 135, 137, 142, 143, 146, 148, 149.
- b) 2, 15, 16, 18, 42, 49, 55, 62, 63, 68, 75, 79, 80, 86, 87, 91, 93, 103, 106, 108, 109, 112, 113, 125, 132, 136, 139, 147.
- c) 1, 3, 6, 12, 14, 19, 24, 27, 29, 33, 35, 36, 37, 38, 40, 48, 60, 65, 66, 73, 74, 76, 78, 84, 89, 90, 94, 99, 104, 107, 111, 115, 120, 121, 138, 145, 152, 153, 155.
- d) 7, 8, 10, 17, 20, 25, 26, 30, 34, 45, 47, 52, 58, 59, 64, 67, 69, 116, 117, 118, 122, 124, 126, 128, 140, 144, 151, 154.
- e) 9, 28, 39, 61, 70, 72, 92, 96, 123, 127, 141, 150.

Anotações

