UNIDADE I

Física para Computação

Prof. Dr. Kauê Rosalem

Apresentação

Como futuro bacharel em Ciência da Computação você precisará entender os conceitos básicos da Física:

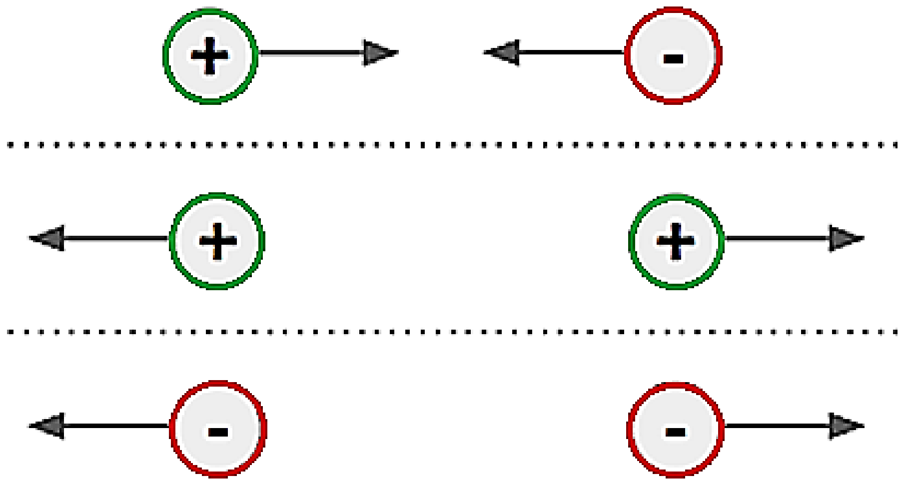
- O domínio de fundamentos básicos da eletricidade e dos circuitos elétricos, com a intenção de que o estudante compreenda, futuramente, o funcionamento do *hardware* e dos circuitos lógicos em informática.
- Os tópicos fundamentais da Óptica, para compreender os elementos básicos de transmissão de dados em fibras ópticas, relevantes nas instalações de redes de microcomputadores.
- A disciplina Física para Computação tem importância indiscutível para a atuação de profissionais da área da computação.

Nesta disciplina, abordaremos:

- Carga elétrica, força e campo elétrico, além de corrente elétrica;
- Óptica, analisando os princípios da Óptica Geométrica, da refração da luz e dos instrumentos ópticos.

Princípios da atração e da repulsão

- A matéria é composta por átomos que, por sua vez, podem ser divididos em núcleo e em eletrosfera. O núcleo é composto por prótons e nêutrons, em quantidades que dependem do átomo que estamos tratando. A eletrosfera é a região onde se encontram os elétrons.
- Quanto à carga, os nêutrons não têm carga elétrica: como indica o nome, são partículas de carga neutra. Os prótons têm carga positiva, e os elétrons têm carga negativa. Os elétrons são portadores de carga, e os prótons ficam restritos ao núcleo do átomo. Dessa forma, temos carga efetiva, quando temos o excesso de elétrons, e carga positiva, quando temos a falta de elétrons.
- A matéria é neutra se não apresenta a falta nem o excesso de elétrons.



Condutores e isolantes

- Em 1729, Stephen Gray estudou a transmissão de cargas em diferentes materiais e observou dois comportamentos distintos: em alguns materiais, a carga era facilmente transmitida e, em outros, era retida. Os materiais nos quais a carga era transmitida, foram chamados de condutores e os materiais nos quais ela era retida, chamados de isolantes.

São exemplos de materiais condutores:

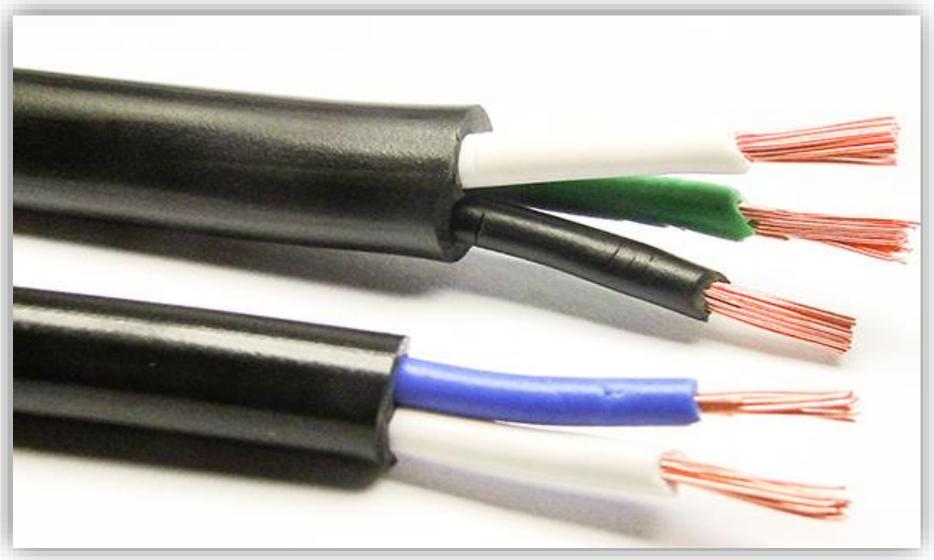
- Os metais em geral, como o cobre, por exemplo;
- A água contendo ácidos, bases ou sais;
- A terra;
- O corpo humano.

São exemplos de materiais isolantes:

- A borracha;
- O vidro;
- A água pura;
- O ar em condições de baixa umidade.

Condutores e isolantes

- Cabos condutores de eletricidade são exemplos de uma combinação de condutores e isolantes, já que têm, em seu interior, material metálico, geralmente, cobre, e são revestidos por um envoltório de PVC ou de borracha. Alguns cabos parecem não ter revestimento aparente, mas são revestidos por um esmalte, que age como isolante.

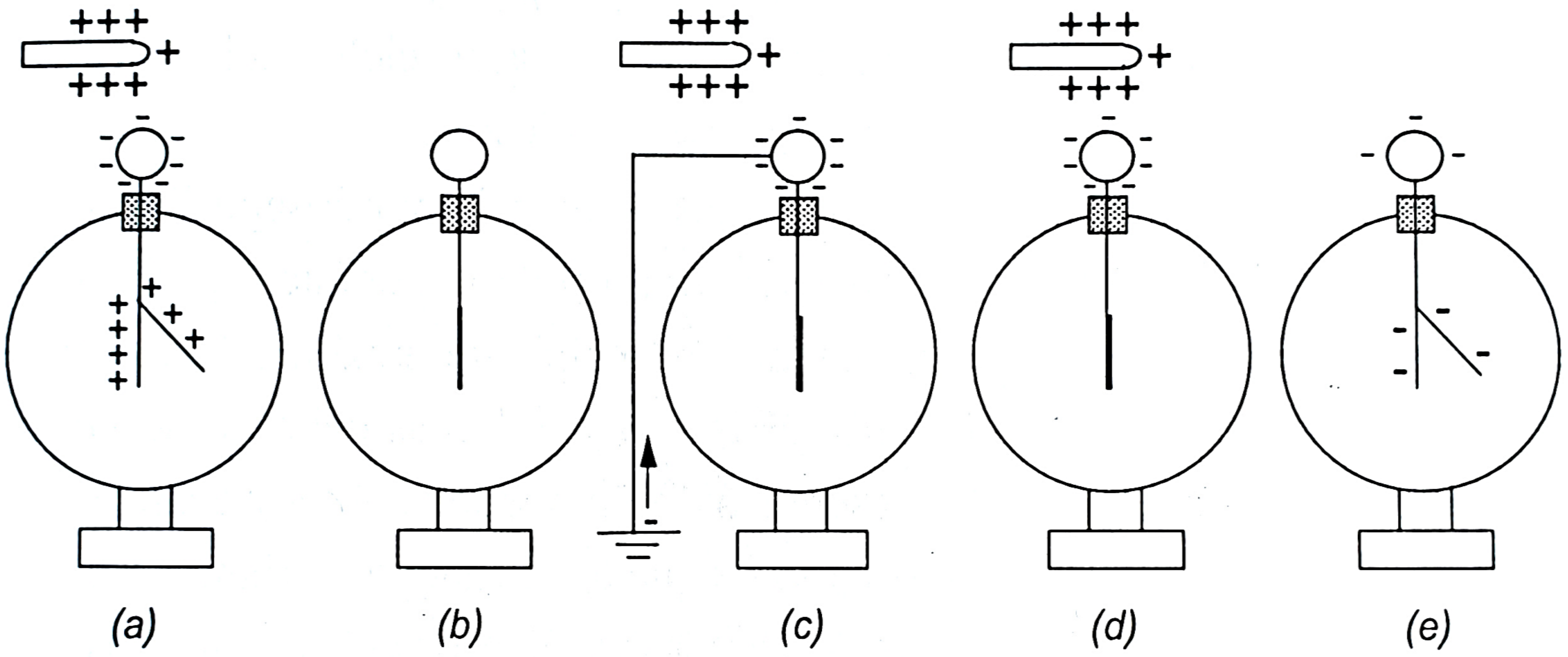


Cabo flexível revestido com PVC.
Fonte: https://www.allcab.com.br/catalogo/cabo-pp-inmetro/

Cabo não flexível de cobre esmaltado.
Fonte: INFINITI. Disponível em: http://www.infinitimetais.com.br/blog/conheca-as-caracteristicas-do-fio-de-cobre-esmaltado-2/

Corpo eletrizado

- Para visualizarmos a indução de cargas, podemos fazer uso de um dispositivo chamado de eletroscópio. O eletroscópio é um recipiente de vidro com uma abertura fechada por uma rolha, que atua como isolante. Essa rolha é atravessada por uma haste de material condutor. Na parte superior da haste externa ao recipiente, há uma esfera metálica; já na parte da haste interna ao frasco, está presa uma folha fina de metal, usualmente de ouro ou de alumínio.



Esquema de um eletroscópio.
Fonte: NUSSENZVEIG, H. M. (1997).

Lei de Coulomb

- A Lei de Coulomb, enunciada por Charles Augustin de Coulomb, em 1784, quantifica a força elétrica entre duas cargas em termos da distância que separa essas cargas.

Coulomb verificou que:

- Quanto maior o valor das cargas, maior a força entre elas;
- Quanto maior a distância entre as cargas, menor a força entre elas.

A força elétrica $\vec{F}$ entre duas cargas q_1 e q_2, separadas pela distância d, é dada pela equação:

$$\boxed{\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}\hat{r}}$$

Na equação:

- ϵ0 é a constante de permissividade elétrica, igual a 8,85.10-12 F/m no vácuo;
- $\hat{r}$ é um versor, ou seja, um vetor de tamanho unitário, com direção da linha que une as cargas.
- No sistema internacional, a unidade da força elétrica é o Newton, representada por N.

Lei de Coulomb

- A Lei de Coulomb calcula a força entre duas cargas. Se tivermos mais de duas cargas, deveremos calcular as forças duas a duas e fazer, depois, a soma vetorial dessas forças para obtermos a força elétrica "total".

Exemplo:

Considere três cargas idênticas (cargas q = 3.10^{-5}C) dispostas de forma alinhada e separadas pela distância de 1 metro. Qual é a intensidade da força elétrica na carga da ponta esquerda da configuração?

Calculamos a força elétrica entre duas cargas: então, entre a carga da esquerda e a carga do meio, temos a força de intensidade F1 mostrada a seguir:

$$\boldsymbol{F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} . \frac{q.q}{d^2}}$$

$$\boldsymbol{F_1 = 9.10 9. \frac{(3.10^{-5}).(3.10^{-5})}{1^2}}$$

$$\boldsymbol{F_1 = 8,1\,N}$$

Lei de Coulomb

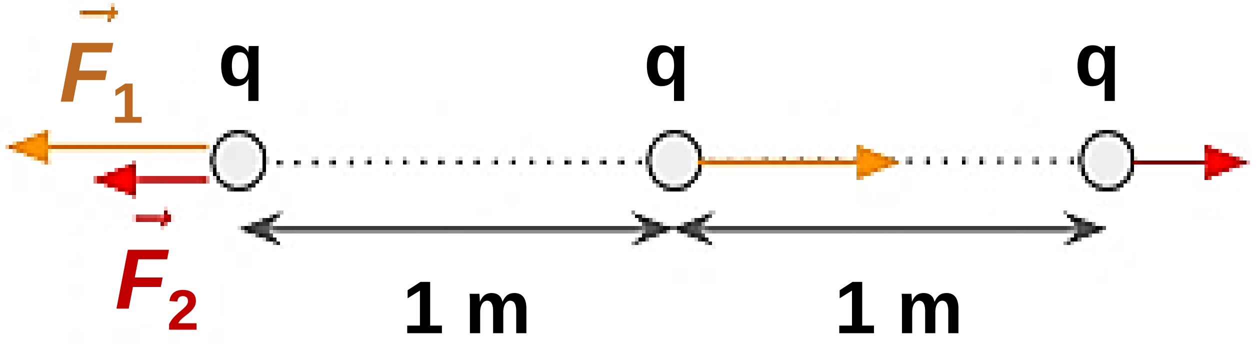
- Logo, a força que atua entre a carga da esquerda e a carga central tem intensidade 8,1 N. Como as cargas têm o mesmo sinal (são idênticas), essa força é de repulsão.

Calculando a força elétrica de intensidade F_2 entre a carga da esquerda e a carga da direita, cuja separação é de 2 metros, temos:

$$F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q.q}{d^2}$$

$$F_2 = 9.10^9 . \frac{(3.10^{-5}).(3.10^{-5})}{2^2}$$

$$F_2 = 2,0\ N$$



$$F_{res} = F_1 + F_2$$

$$F_{res} = 8,1 + 2,0$$

$$F_{res} = 10,1\ N$$

Campo elétrico

- Campo é uma grandeza que varia conforme a posição no espaço. No caso em estudo, temos o campo elétrico, que é usualmente representado por E.
- De modo informal, podemos dizer que o campo elétrico é uma grandeza associada à carga elétrica que permite que outra carga “saiba” da existência dela à distância.

O campo elétrico, assim como a força elétrica, é uma grandeza vetorial. Essas duas grandezas relacionam-se pela seguinte equação:

$$\boxed{\vec{F} = q.\vec{E}}$$

- Na equação, *q* é a carga elétrica de uma carga de prova usada com a finalidade de medirmos a força elétrica.
- A unidade de campo elétrico é Newton por Coulomb (N/C).

Note que:

- Se a carga *q* for positiva, a força elétrica e o campo elétrico têm a mesma direção e o mesmo sentido;
- Se a carga *q* for negativa, a força elétrica e o campo elétrico têm a mesma direção, mas sentidos opostos.

Campo elétrico

- Se substituirmos a expressão da Lei de Coulomb na equação que relaciona a carga e o campo elétrico, chegamos à seguinte equação:

$$\boxed{E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{d^2}}$$

Temos a intensidade do campo elétrico E à distância d de uma carga Q.

Exemplo:

Podemos calcular a intensidade E do campo elétrico à distância de 1 metro de uma carga de intensidade $Q = 2.10^{-4}$ C:

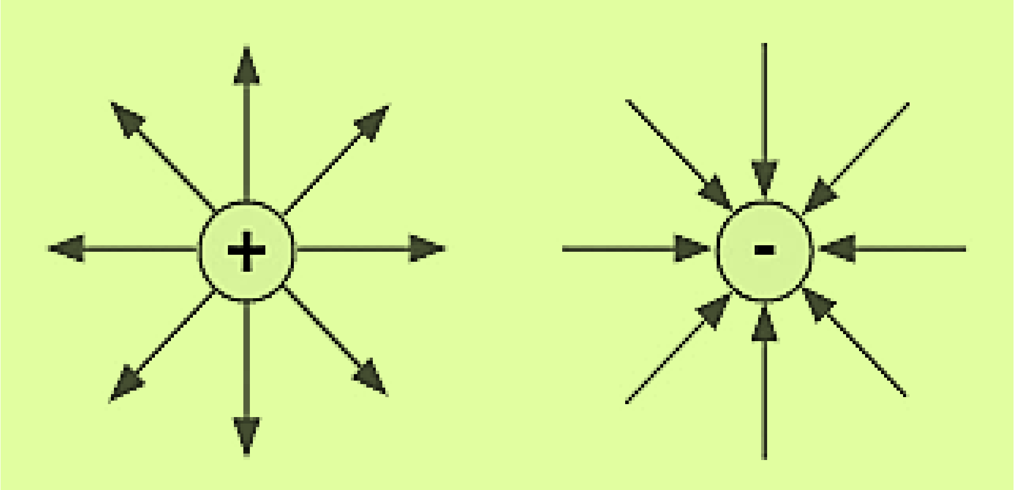
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{d^2}$$

$$E = 9.109 . \frac{2.10^{-4}}{1^2}$$

$$E = 1{,}8.106\ N/C$$

Campo elétrico

- Uma forma de representação do campo elétrico é com o uso de linhas de força partindo das cargas, de forma radial. As linhas de força de uma carga positiva apontam “para fora da carga”, enquanto as linhas de força de uma carga negativa apontam “para dentro” da carga.



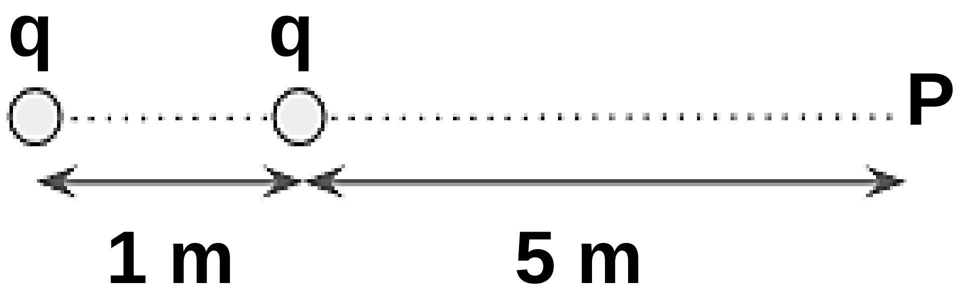
Linhas de força para a representação de campo elétrico de uma carga positiva e de campo elétrico de uma carga negativa.

- Se temos mais de uma carga e desejamos calcular o campo elétrico total, devemos fazer a soma vetorial dos campos elétricos associados a cada carga.

Campo elétrico

Exemplo:

Considere duas cargas idênticas, de carga q = 2.10^{-2} C, separadas pela distância de 1 metro. Qual é a intensidade E do campo elétrico resultante à distância de 5 metros da carga mais próxima, na linha que une as cargas?



$$E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{d^2}$$

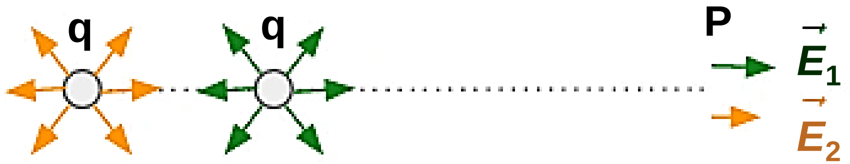
$$E_1 = 9.109.\frac{2.10^{-2}}{5^2}$$

$$E_1 = 7,2.106\ N/C$$

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{d^2}$$

$$E_2 = 9.109.\frac{2.10^{-2}}{6^2}$$

$$E_2 = 5,0.106\ N/C$$



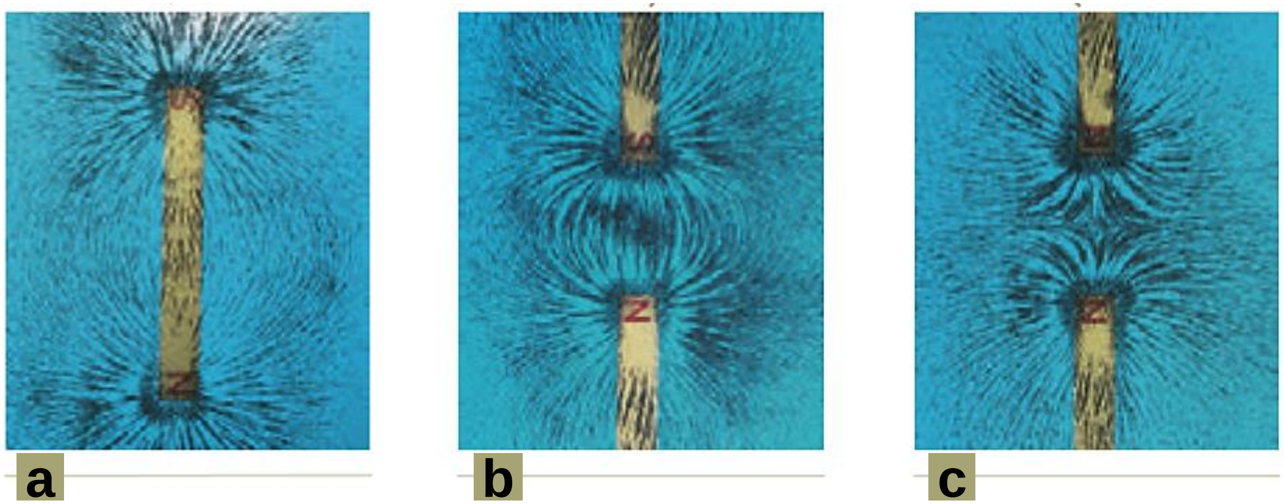
$$E_{res} = E_1 + E_2$$

$$E_{res} = 7,2.106 + 5,0.106$$

$$E_{res} = 12,2.106\ N/C$$

Campo magnético

- Usamos o campo elétrico para compreender a interação entre as cargas. Podemos, de forma análoga, utilizar o campo magnético para compreender a interação de origem magnética.



Linhas de campo magnético próximas de um ímã.
Fonte: SERWAY, R. A. (2013).

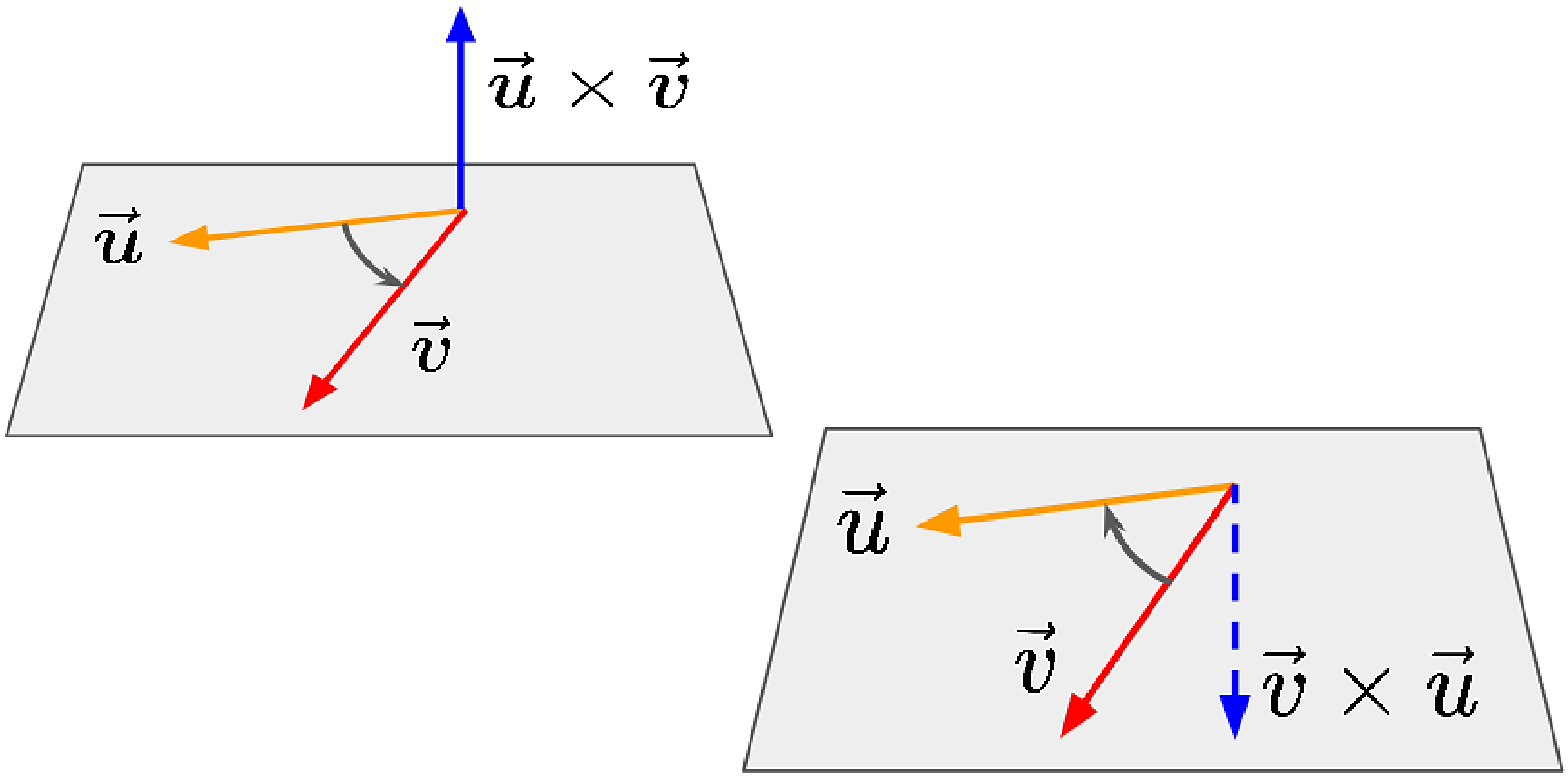
O campo magnético *B* atua sobre uma carga *q* em movimento com velocidade $\vec{v}$, fazendo com que a força magnética $\vec{F}_m$ atue nessa carga. Essa força é dada por:

$$\boxed{\vec{F}_m = q.\vec{v} \times \vec{B}}$$

- Note que, na equação da força magnética, temos o produto vetorial entre o vetor velocidade e o vetor campo magnético.

Campo magnético

- A direção do produto vetorial é sempre normal ao plano definido pelos dois vetores e o sentido é dado pela regra da mão direita. Na regra da mão direita, curvamos os dedos indicador, médio, anelar e mínimo formando uma concha, e ligamos o primeiro vetor com o segundo vetor com esses dedos. Nesse processo, o polegar, quando mantido perpendicular aos dedos, dá o sentido do produto vetorial.



Campo magnético

- A partícula carregada pode estar se movendo em uma região de campo magnético e, também, pode estar sujeita a um campo elétrico. Temos, nesse caso, a combinação da força elétrica $\vec{F}$ e da força magnética $\vec{F}_m$ sobre a partícula, o que gera como resultado a chamada força de Lorentz $\vec{F}_L$.

$$\vec{F}_L = \vec{F}_e + \vec{F}_m$$

$$\vec{F}_L = q.\vec{E} + q.\vec{v} \times \vec{B}$$

$$\vec{F}_L = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

Interatividade

Imagine que 0,12 N seja a força que atua sobre uma carga elétrica com carga de 6 μC e lançada em uma região de campo magnético igual a 5 T. Determine a velocidade dessa carga supondo que o ângulo formado entre *v* e B seja de 30º:

a) 5000 m/s.
b) 6000 m/s.
c) 7000 m/s.
d) 8000 m/s.
e) 9000 m/s.

Resposta

Imagine que 0,12 N seja a força que atua sobre uma carga elétrica com carga de 6 μC e lançada em uma região de campo magnético igual a 5 T. Determine a velocidade dessa carga supondo que o ângulo formado entre *v* e B seja de 30º:

a) 5000 m/s.
b) 6000 m/s.
c) 7000 m/s.
d) 8000 m/s.
e) 9000 m/s.

$$F_{mag} = |q|.v.B.sen\theta$$

$$0,12 = 6.10^{-6}.v.5.sen\,30^{o}$$

$$v = \frac{0,12}{6.10^{-6}.5.sen\,30^{o}}$$

$$v = \frac{0,12}{6.10^{-6}.5.0,5}$$

$$v = 8000\,m/s$$

Intensidade de corrente elétrica

- A matéria é composta por átomos que, por sua vez, são compostos por prótons, nêutrons e elétrons. Os prótons e os nêutrons encontram-se no núcleo do átomo, já os elétrons encontram-se na eletrosfera. Existem elétrons mais ligados ao núcleo e existem elétrons menos ligados ao núcleo. Esses elétrons menos ligados podem se desligar do átomo, tornando-se, assim, elétrons livres. O movimento ordenado dos elétrons livres origina o que conhecemos como corrente elétrica.
- Se tivermos corrente constante, a sua intensidade I é a taxa de variação da carga elétrica Q em relação ao tempo *t*.

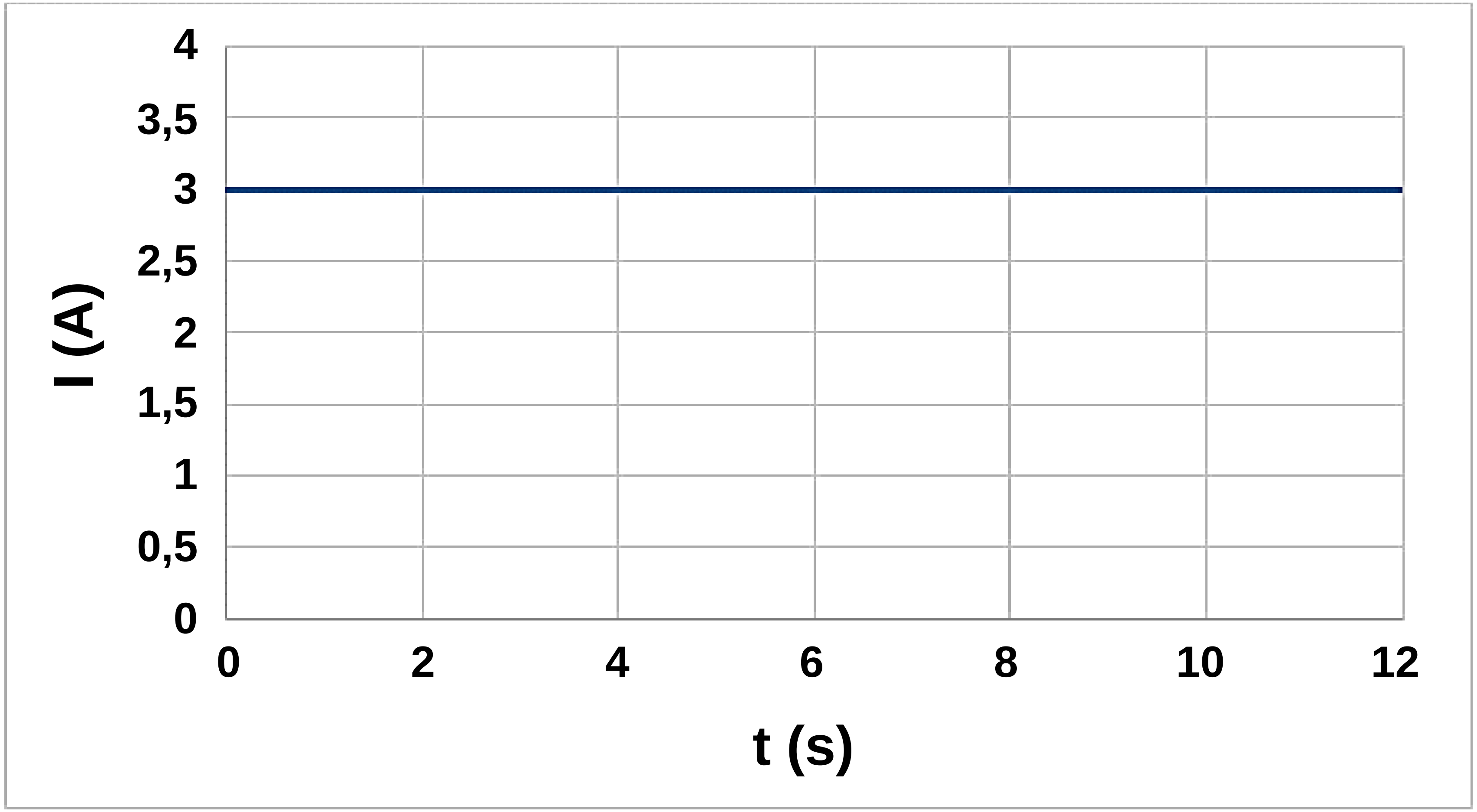
$$\boxed{I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}}$$

- A unidade de corrente elétrica, no Sistema Internacional de Unidades (SI), é o ampère, representada por A.

Tipos de corrente

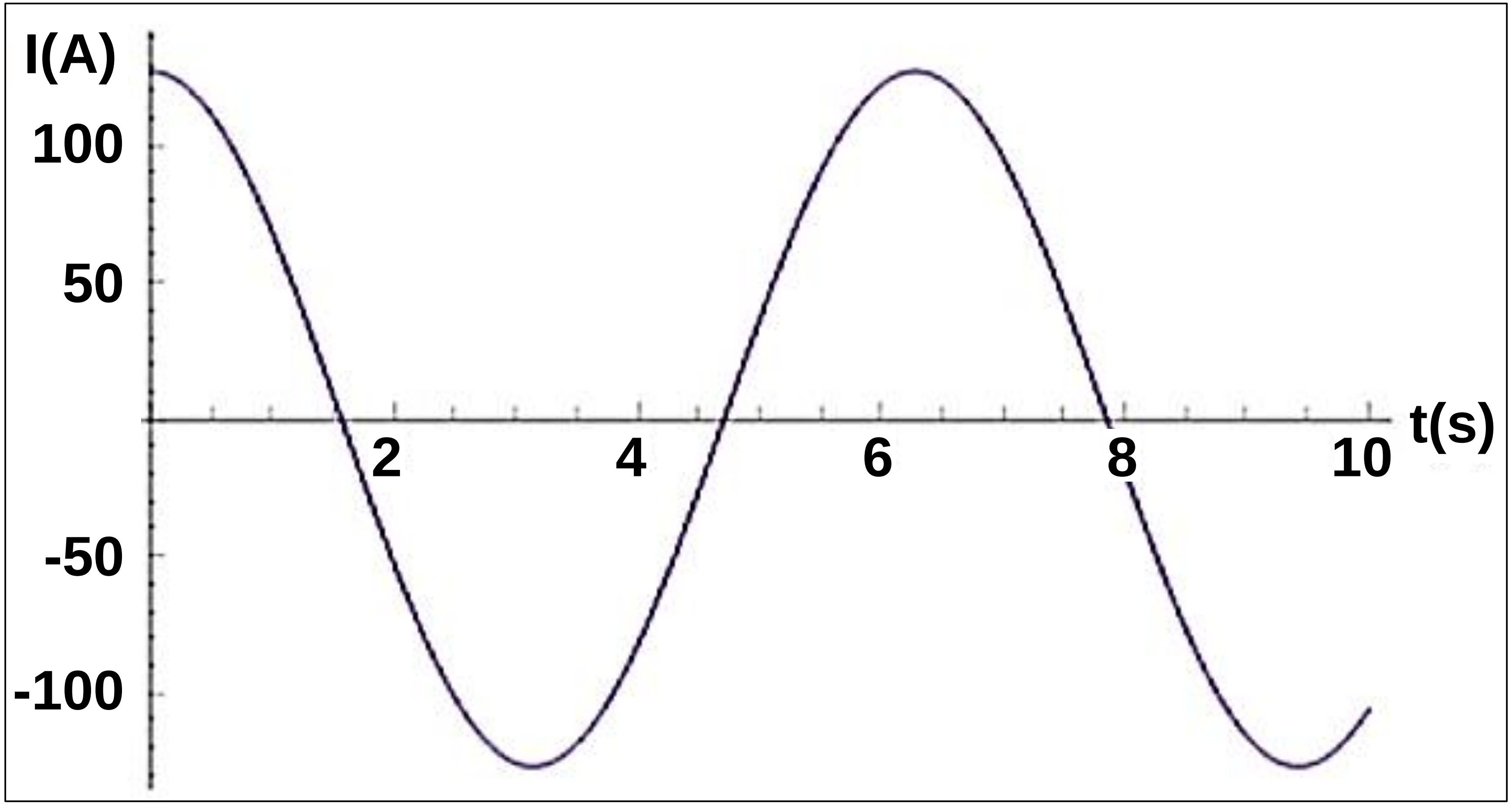
- Temos dois tipos de corrente elétrica: corrente contínua e corrente alternada.
- A corrente contínua e constante não varia com o tempo. A corrente contínua, normalmente, é abreviada por CC ou DC. São exemplos de fontes de corrente contínua as pilhas e as baterias.

Exemplo de gráfico de corrente contínua e constante; nesse caso, temos I = 3 A.



Tipos de corrente

- A corrente alternada, ao contrário da corrente contínua, varia com o tempo. Essa variação pode se dar como uma onda senoidal, quadrada ou, ainda, triangular. A corrente alternada, normalmente, é abreviada por AC ou CA. Um exemplo de fonte de corrente alternada é a rede de distribuição de energia.



Exemplo de gráfico de corrente harmônica alternada.

Efeitos da corrente elétrica

Os efeitos da passagem de corrente elétrica podem ser distintos, dependendo do meio onde se dá essa passagem e da sua intensidade da corrente. Basicamente, tais efeitos podem ser divididos em:

- Efeitos térmicos;
- Efeitos químicos;
- Efeitos magnéticos;
- Efeitos fisiológicos.

Trabalho da força elétrica

Vimos que a força elétrica entre duas partículas de cargas Q e q_0, separadas pela distância *d*, tem intensidade F dada por:

$$\boxed{F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q \cdot q_0}{d^2}}$$

Também vimos que a intensidade da força elétrica se relaciona com a intensidade do campo elétrico por:

$$\boxed{F = q_0 \cdot E}$$

A equação a seguir fornece o trabalho W realizado pela força F para mover uma carga q_0 entre os pontos *a* e *b*:

$$\boxed{W = \frac{q_0 \cdot Q}{4\pi\epsilon_0}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)}$$

Energia potencial elétrica

O trabalho W relaciona-se com a energia potencial Epot por:

$$\boldsymbol{W = -\Delta Epot}$$

No caso de uma partícula de carga q_0 movendo-se desde o ponto *a* até o ponto *b*, temos:

$$W = -(Epotb - Epota)$$

$$W = Epot_a - Epotb$$

Usando a equação do trabalho da força elétrica:

$$Epot_a - Epotb = \frac{Q.q_0}{4\pi\varepsilon_0}.\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)$$

$$Epot_a - Epotb = \frac{Q.q_0}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{1}{a} - \frac{Q.q_0}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{1}{b}$$

$\Rightarrow$

$$Epot_a = \frac{Q.q_0}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{1}{a}$$

$$Epot_b = \frac{Q.q_0}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{1}{b}$$

Energia potencial elétrica

Logo, a energia potencial elétrica em um ponto qualquer, no qual se situa a carga q_0, distante de *r* da carga Q, é dada por:

$$\boxed{Epot = \frac{Q.q_0}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{1}{r}}$$

O potencial elétrico V, cuja unidade é volt, é definido por:

$$\boxed{V = \frac{Epot}{q_0}}$$

O potencial elétrico à distância *r* de uma carga Q é dado por:

$$\boxed{V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{Q}{r}}$$

Tensão ou diferença de potencial elétrico (DDP)

- A tensão V é calculada como a diferença de potencial elétrico entre dois pontos V_a e V_b. Essa diferença de potencial é abreviada por DDP.

Vimos que o potencial elétrico V relaciona-se com a energia potencial elétrica Epot por:

$$\boxed{V = \frac{Epot}{q_0}}$$

Em dois pontos *a* e *b*, os respectivos potenciais elétricos V_a e V_b são dados por:

$$\boxed{V_a = \frac{Epot_a}{q_0}} \quad \boxed{V_b = \frac{Epot_b}{q_0}}$$

A diferença de potencial (DDP) entre os pontos *a* e *b* é:

$$\boxed{DDP = V_b - V_a = \frac{Epot_b}{q_0} - \frac{Epot_a}{q_0}} \quad \boxed{(V_b - V_a).q_0 = Epot_b - Epot_a}$$

$$\boxed{DDP = V_b - V_a = \frac{Epot_b - Epot_a}{q_0}} \quad \boxed{Epot_b - Epot_a = q_0.(V_b - V_a)}$$

Tensão ou diferença de potencial elétrico (DDP)

Vimos que:

$$\boxed{Epot_a - Epot_b = W}$$

$$\boxed{Epot_b - Epot_a = -W}$$

Assim, o trabalho necessário para mover uma carga q_0 entre os pontos *a* e *b* está relacionado com a DDP existente entre esses dois pontos por:

$$\boxed{W_{a \to b} = -q_0 \cdot \left(V_b - V_a \right)}$$

Potência elétrica

Definimos potência P como a variação de energia E por unidade de tempo *t*. No caso de a potência ser constante, ela é calculada por:

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

- A unidade de potência, no Sistema Internacional de Unidades, é o Watt, simbolizado por W.

Em eletricidade, a potência é dada pelo produto da tensão V pela intensidade de corrente elétrica I. Ou seja:

$$\boxed{P = V . I}$$

Interatividade

Considere um chuveiro que opera com a potência P de 4.500 W, em tensão V de 220 V. Determine a intensidade de corrente elétrica I que circula no chuveiro:

a) 12,5 A.
b) 14,5 A.
c) 16,5 A.
d) 18,5 A.
e) 20,5 A.

Resposta

Considere um chuveiro que opera com a potência P de 4.500 W, em tensão V de 220 V. Determine a intensidade de corrente elétrica I que circula no chuveiro:

a) 12,5 A.
b) 14,5 A.
c) 16,5 A.
d) 18,5 A.
e) 20,5 A.

$$\boxed{P = V.I}$$

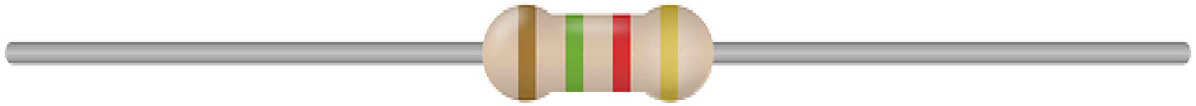
$$4500 = 220.I$$

$$I = \frac{4500}{220}$$

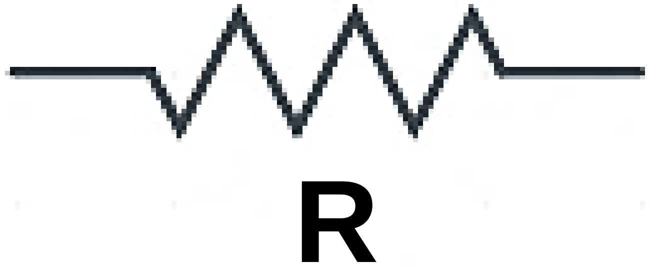
$$I = 20,5\ A$$

Resistor

- O resistor é o elemento de um circuito que se opõe à passagem de corrente elétrica.
- Para quantificarmos o quanto o resistor se opõe a essa passagem de corrente, avaliamos a resistência elétrica de um resistor, normalmente, representada por R. A unidade de resistência elétrica é o ohm e é simbolizada por Ω.



Exemplo de resistor.
Fonte: https://pixabay.com/pt/vectors/resistor-resist%C3%AAncia-eletr%C3%B4nica-32290/. Acesso em: 30 out. 2020.



Representação de um resistor.

- A medida de resistência elétrica é feita por um aparelho chamado de ohmímetro ou por um multímetro usado como ohmímetro.

Resistor

A potência P dissipada por um resistor de resistência R, quando percorrido por uma corrente elétrica de intensidade I, pode ser calculada substituindo-se a equação da Lei de Ohm na definição de potência. Ou seja:

$$\boxed{P = (R.I).I}$$

$$\boxed{P = R.I^2}$$

Exemplo

Podemos, a partir da equação que relaciona a potência, a resistência e a intensidade de corrente, calcular o valor da resistência R de um chuveiro que opera com intensidade I de corrente de 20,5 A e uma potência P de 4.500 W. Substituindo esses dados na equação vista anteriormente, ficamos com:

$$P = R.I^2$$

$$4500 = R.20,52$$

$$4500 = R.420,25$$

$$R = \frac{4500}{420,25}$$

$$R = 10,7\ \Omega$$

Associação em série de resistores

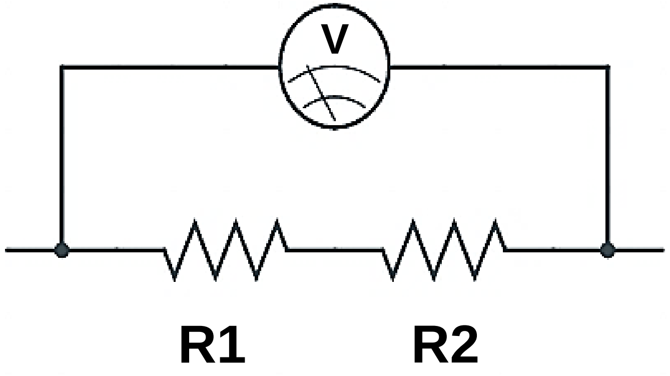
- Dizemos que um conjunto de resistores está associado em série quando esses resistores estão dispostos ao longo de um mesmo fio, sem ramificação.

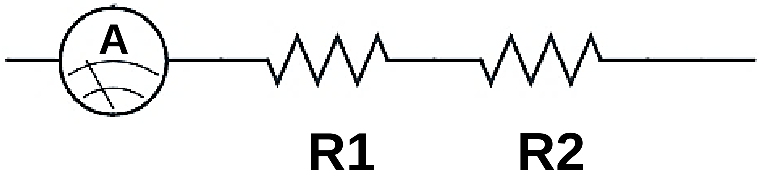
Associação de resistores em série.

$$R_{eq} = \sum_i R_i = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots$$

- Em uma associação em série, a intensidade I da corrente elétrica que atravessa cada um dos resistores é a mesma, mas os resistores atuam como um divisor de tensão, de forma que a tensão V no conjunto de dois resistores de resistências R_1 e R_2 é igual à soma das tensões individuais V_1 em R_1 e V_2 em R_2.

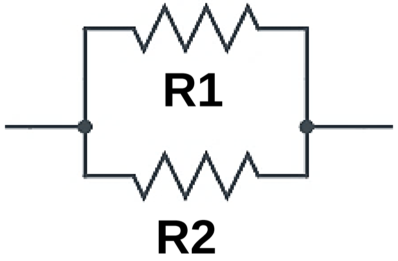
$$V = V_1 + V_2$$





Associação em paralelo de resistores

- Ocorre a ramificação dos fios, de forma que cada resistor está localizado em um ramo paralelo do circuito.



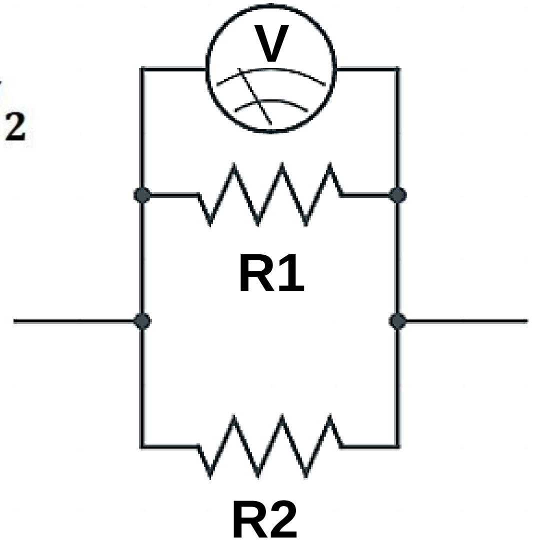
Associação de resistores em paralelo.

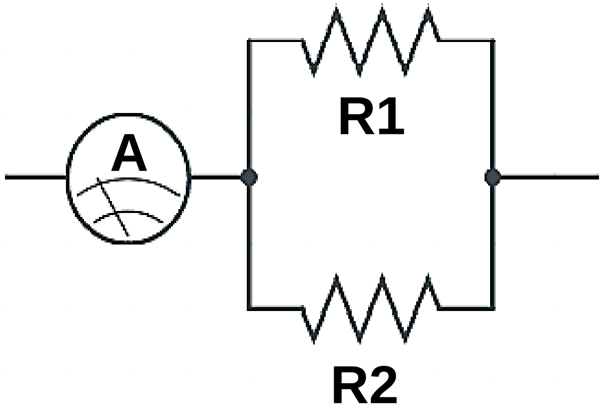
$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_i \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots$$

$$R_{eq} = \frac{R_1 . R_2}{R_1 + R_2}$$

- A tensão U em cada um dos resistores é a mesma, mas os resistores atuam como divisores de corrente elétrica, de forma que a intensidade I da corrente na associação é igual à soma das correntes individuais I_1 e I_2 que passam pelos resistores de resistências, respectivamente, iguais a R_1 e R_2.

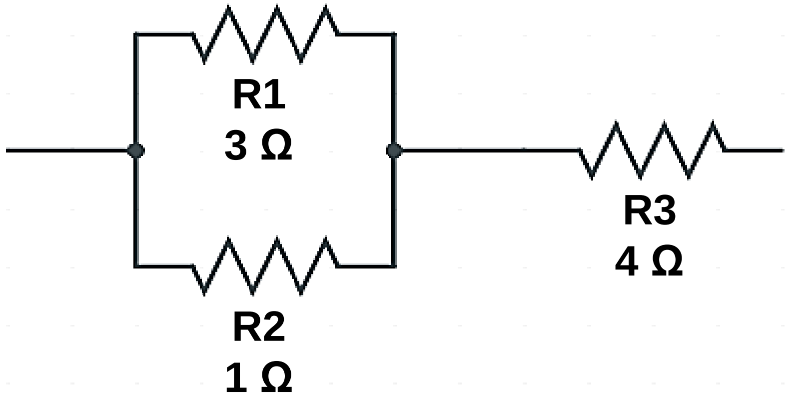
$$I = I_1 + I_2$$





Associação mista de resistores

Exemplo: desejamos obter a resistência equivalente desse circuito:



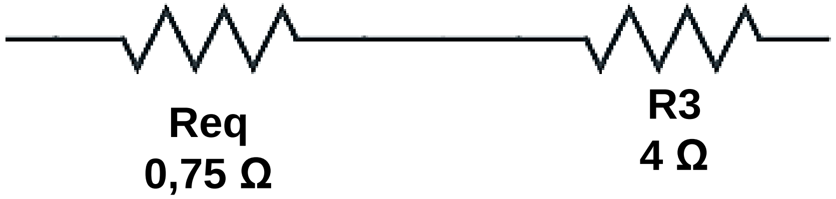
1. R_{eq} da associação em série à esquerda:

$$R_{eq} = \frac{R_1 . R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_{eq} = \frac{3.1}{3+1}$$

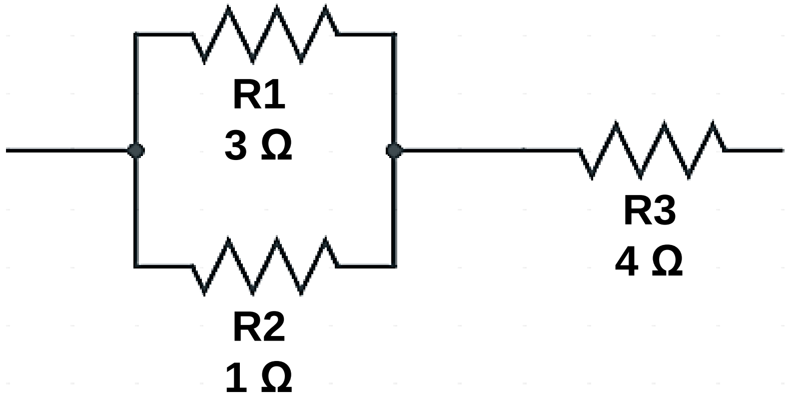
$$R_{eq} = \frac{3}{4}$$

$$R_{eq} = 0,75\ \Omega$$



Associação mista de resistores

Exemplo: desejamos obter a resistência equivalente desse circuito:



2. R_{eq} da associação em série:

$$R_{eq\ c} = Re_q + R_3$$

$$R_{eq\ c} = 0,75 + 4$$

$$R_{eq\ c} = 4,75\ \Omega$$

Primeira Lei de Ohm

As duas quantidades básicas que são medidas em eletricidade são a tensão e a corrente. Em um resistor, a tensão V é proporcional à intensidade I da corrente elétrica que atravessa esse componente, sendo que a constante de proporcionalidade é a resistência elétrica R. Essa relação é expressa matematicamente pela Primeira Lei de Ohm:

$$\boldsymbol{V = R.I}$$

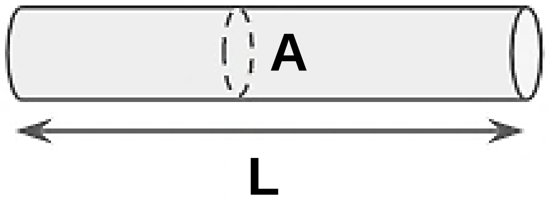
- Como a tensão e a intensidade de corrente elétrica são proporcionais, aumentos de tensão em um resistor ôhmico implicam em aumentos proporcionais de intensidade de corrente. De forma análoga, diminuições de tensão em um resistor ôhmico implica em diminuições proporcionais de intensidade de corrente.

Segunda Lei de Ohm

- A Segunda Lei de Ohm dá a resistência elétrica R em função da área da seção transversal, do comprimento e do tipo de material condutor de corrente elétrica.

- R é a resistência elétrica do condutor.
- ρ é a resistividade do material que constitui o condutor.
- L é o comprimento do condutor.
- A é a área da seção transversal do condutor.

$$R = \rho . \frac{L}{A}$$



Material	ρ (Ω.m)
Cobre	$2{,}35.10^{-8}$
Silício	$4{,}3.10^{3}$
Borracha	10^{13}-10^{16}

Força eletromotriz (fem) e baterias

Para um gerador operando em corrente contínua, duas quantidades são fundamentais:

- A sua força eletromotriz (fem);
- A sua resistência interna.

- A fem está associada à quantidade de energia total que determinado gerador poderia fornecer. No entanto, parte dessa energia é perdida para o ambiente, e tal perda é representada como a perda de um resistor cuja resistência é chamada de resistência interna. A fem é dada em volts (V), e a resistência interna é dada em ohms (Ω).

Quanto à potência de um gerador, temos:

- A potência total;
- A potência útil;
- A potência dissipada.

$$P_{tot} = \epsilon . I$$

Força eletromotriz (fem) e baterias

Parte da energia gerada pelo gerador é dissipada, o que é quantificado pela potência dissipada (P_d), dependente da resistência interna do gerador e dada por:

$$P_d = r.I^2$$

A potência que o gerador fornece para o circuito é a potência útil (P_u), dada por:

$$P_u = V.I$$

Equacionando a relação entre essas três potências por meio de um balanço energético, temos:

$$P_{tot} = Pu + Pd$$

Força eletromotriz (fem) e baterias

Verificamos que a potência total do gerador é, em parte, dissipada e, em outra parte, disponibilizada para o circuito. Substituindo as expressões matemáticas de cada uma das potências na igualdade anterior, ficamos com:

$$\epsilon . I = V . I + r . I^2$$

$$\epsilon = V + r . I$$

$$V = \epsilon - r . I$$

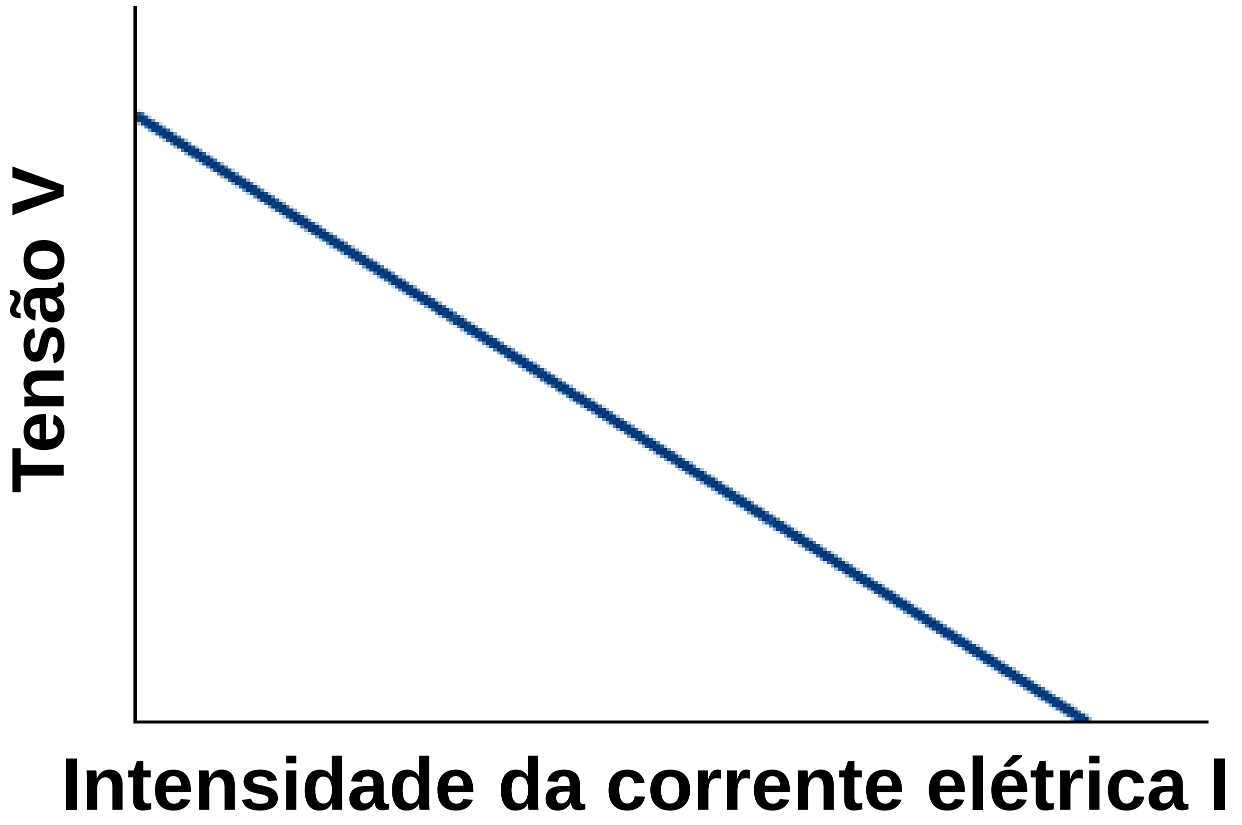
- Note que a fem ϵ e a resistência interna *r* de um gerador influenciam a relação entre a tensão V e a intensidade da corrente I produzidas por ele. Note também que, se a resistência interna for desprezível, a fem é numericamente igual à tensão do gerador, pois, nessa situação, o produto *r*.I tende a zero.

Força eletromotriz (fem) e baterias

- Se esboçarmos um gráfico com a intensidade I da corrente elétrica no eixo horizontal e a tensão V no eixo vertical, obteremos o gráfico de uma função do 1º grau decrescente linear, ou seja, de uma reta inclinada para a esquerda.
- Podemos comparar a equação característica do gerador com uma equação de reta do tipo y = b + a.x , em que *b* é o coeficiente linear e *a* é o coeficiente angular.

$$\boldsymbol{V = \epsilon - r.I}$$

$$\boldsymbol{y = b + ax}$$



Força eletromotriz (fem) e baterias

Definimos o rendimento η de um gerador como a razão entre a potência útil e a potência total:

$$\eta = \frac{P_u}{P_{tot}}$$

Como $P_u = V.I$ e $P_t = E.I$, ficamos com:

$$\eta = \frac{V}{\varepsilon}$$

- É importante notar que o rendimento deve ser uma quantidade entre 0 e 1, ou seja, entre 0 e 100% se ele for expresso na forma percentual. Um rendimento acima de 100% implicaria enviar para o circuito mais energia do que o gerador poderia produzir, o que é impossível.

Interatividade

Determine a resistência elétrica de um fio condutor de 20 metros de comprimento, com a área transversal de 8 mm^2 e a resistividade igual a $1{,}7.10^{-8}$ Ω.m:

a) 625 Ω.
b) 4,25 Ω.
c) 150 Ω.
d) 32 Ω.
e) 25 Ω.

Interatividade

- Antes de fazermos o cálculo da resistência elétrica, precisamos converter a área transversal do fio, que está em mm^2, para a unidade de m^2 ($8\ mm^2 = 8.10^{-6}\ m^2$).

Para calcular a resistência desse fio condutor, faremos uso da Segunda Lei de Ohm; observe:

$$R = \frac{\rho L}{A} \rightarrow R = \frac{1,7.10^{-6}.20}{8.10^{-6}} = 4,25\ \Omega$$

- De acordo com o cálculo, a alternativa correta é a letra “b”.

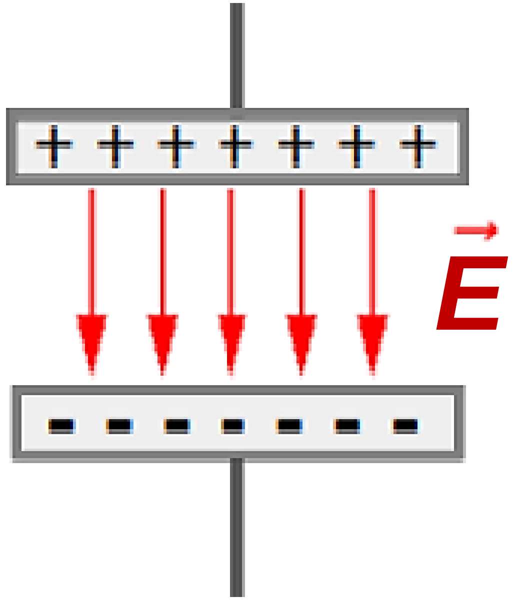
Resposta

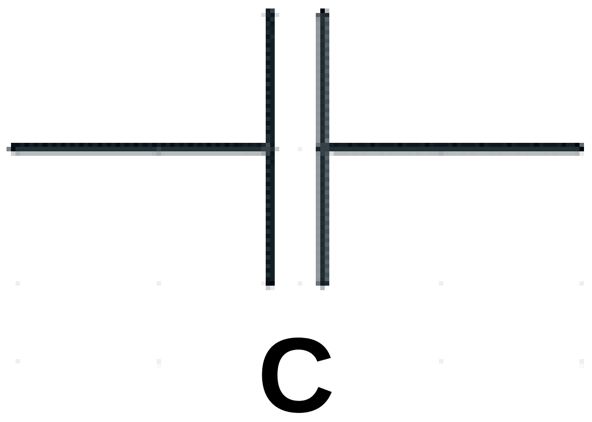
Determine a resistência elétrica de um fio condutor de 20 metros de comprimento, com a área transversal de 8 mm^2 e a resistividade igual a $1{,}7.10^{-8}$ Ω.m:

a) 625 Ω.
b) 4,25 Ω.
c) 150 Ω.
d) 32 Ω.
e) 25 Ω.

Capacitância

- O capacitor é o elemento de circuito que tem como objetivo acumular carga elétrica. É composto por dois isolantes separados por um material dielétrico, ou seja, desfavorável à passagem de corrente. O material dielétrico pode ser borracha, vidro ou, até, ar.
- O capacitor acumula cargas de sinais distintos em cada uma de suas placas, o que produz campo elétrico entre as suas placas.
- A capacitância, simbolizada pela letra C, é o parâmetro que quantifica o capacitor, se ele é capaz de armazenar mais ou menos carga antes de descarregar. A unidade de capacitância é o *Farad*, simbolizada por F.





Capacitância

A capacitância C relaciona-se com a carga Q armazenada no capacitor e com a tensão V por:

$$\boldsymbol{Q = C.V}$$

Para um capacitor de placas paralelas, a capacitância C relaciona-se com a separação *d* entre as placas condutoras e com a área A dessas placas por:

$$\boldsymbol{C = \frac{\epsilon_0 . A}{d}}$$

Capacitância

Exemplo: podemos usar a expressão que relaciona a capacitância de um capacitor de placas paralelas com as suas dimensões para calcular essa capacitância. Considere um capacitor cujas placas são quadradas, com 5 cm de lado, e separadas pela distância de 2 cm:

- O primeiro passo é convertermos essas unidades para o Sistema Internacional (SI), de forma que o lado das placas do capacitor é L = 5 cm = 0,05 m, e a separação entre elas é *d* = 0,02 m, visto que 1 m é igual a 100 cm (ou 1 cm é igual a 0,01 m).

$$\boxed{C = \frac{\epsilon_0 . A}{d}}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 . L^2}{d}$$

$$C = \frac{8,85 . 10^{-12} . 0,05^2}{d}$$

$$C = 1,12 . 10^{-12}\ F$$

- Esse valor pode ser representado de forma melhor se usarmos o prefixo "pico", representado pela letra *p*, que equivale a 10^{-12}. A capacitância é, portanto, igual a 1,1 pF.

Capacitância

- Um exemplo de capacitor com outra geometria é o cabo coaxial, usado para a transmissão de sinais elétricos. O cabo coaxial é composto por um fio cilíndrico, revestido por material dielétrico, que é envolto por uma malha de fios trançados. Todo esse conjunto é revestido externamente por borracha.

No caso de um cabo coaxial, a capacitância C é dada por:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 . L}{ln\left(\frac{r_b}{r_a}\right)}$$

Nessa equação:

- r_a é o raio do condutor interno;
- r_b é o raio do dielétrico, em relação ao centro do condutor;
- L é o comprimento do cabo coaxial.

Energia potencial elétrica

A tensão V do capacitor é dependente da carga Q:

$$Q = C.V$$

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

A energia Ecap no capacitor, em função da tensão V e da capacitância C, é dada por:

$$Ecap = \frac{C.V}{2}$$

Capacitância

Exemplo: considere um capacitor de capacitância C igual a 12 µF operando sob tensão V de 12 V. Podemos calcular a energia Ecap nesse capacitor da maneira mostrada a seguir:

$$Ecap = \frac{C.V^2}{2}$$

$$Ecap = \frac{(12.10^{-6}).122}{2}$$

$$Ecap = 8,6.10^{-4}\ J$$

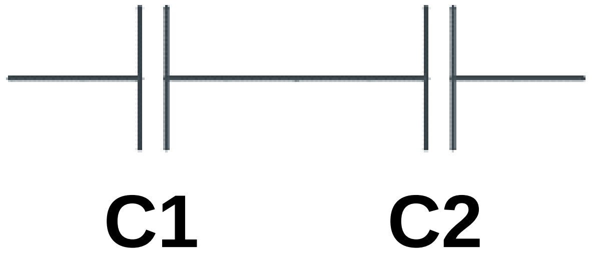
Associação em série de capacitores

- Em uma associação em série de capacitores, eles estão dispostos ao longo de um mesmo fio. Dessa forma, a intensidade da corrente que circula em cada um dos capacitores é a mesma, já que não temos ramificações no trecho de circuito. A tensão fornecida é dividida entre os capacitores.
- Não temos uma relação linear entre a capacitância e a intensidade da corrente, como no caso da associação de resistores em série, mas temos uma relação entre a capacitância e a tensão.

$$\frac{1}{C_{eq}} = \sum_{i} \frac{1}{C_i}$$

Se tivermos dois capacitores em série, de capacitâncias C1 e C2, a capacitância equivalente:

$$C_{eq} = \frac{C_1 . C_2}{C_1 + C_2}$$



Associação em série de capacitores

Exemplo: considere dois capacitores, de capacitâncias C1 igual a 2 µF e C2 igual a 5 µF, associados em série. Podemos calcular a capacitância equivalente Ceq por:

$$C_{eq} = \frac{C_1 . C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C_{eq} = \frac{2 . 5}{2 + 5}$$

$$C_{eq} = \frac{10}{7}$$

$$C_{eq} = 1,4\ \mu F$$

Associação em paralelo de capacitores

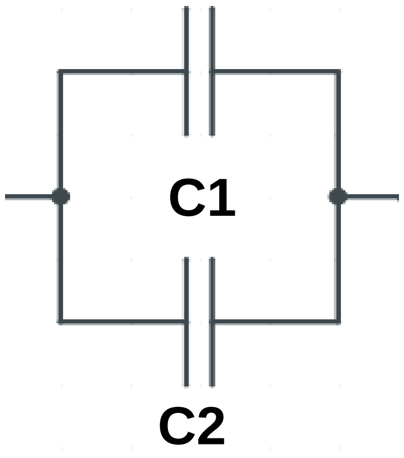
- Em uma associação em paralelo de capacitores, eles estão dispostos ao longo de ramos paralelos de um circuito. Dessa forma, a tensão em cada um dos capacitores é a mesma. A intensidade da corrente elétrica, por sua vez, é dividida entre os capacitores.

O fato de a tensão ser a mesma em todos os capacitores em paralelo implica que a capacitância equivalente Ceq de uma associação de capacitores é dada por:

$$C_{eq} = \sum_i C_i$$

Se tivermos dois capacitores em paralelo, de capacitâncias C1 e C2:

$$C_{eq} = C_1 + C_2$$



Associação em paralelo de capacitores

Exemplo: considere dois capacitores de capacitâncias C1 igual a 2 µF e C1 igual a 5 µF associados em paralelo. Podemos calcular a capacitância equivalente por:

$$C_{eq} = C_1 + C_2$$

$$C_{eq} = 2 + 5$$

$$C_{eq} = 7\ \mu F$$

Interatividade

Duplicando-se a diferença de potencial entre as placas de um capacitor é correto afirmar que:

a) A carga e a capacitância do capacitor também são duplicadas.
b) A carga e a capacitância do capacitor permanecem constantes.
c) A carga do capacitor é duplicada, mas a sua capacitância permanece constante.
d) A carga e a capacitância do capacitor são reduzidas à metade dos valores iniciais.
e) A carga do capacitor é duplicada e a sua capacitância é dividida pela metade.

Interatividade

$$C = \frac{K\epsilon_0 A}{D}$$

- Analisando a equação anterior, pode-se notar que a capacitância depende de fatores geométricos, tais como a área das placas do capacitor e a distância entre as placas, além da permissividade dielétrica do meio inserido entre elas. Portanto, a capacitância permanece constante.

Duplicando-se a diferença de potencial entre as placas do capacitor, a sua carga tende a dobrar, de acordo com a seguinte equação:

$$C = \frac{Q}{V} \qquad Q = C.V \qquad Q' = C.(2V)$$

$$Q' = 2.CV$$

Resposta

Duplicando-se a diferença de potencial entre as placas de um capacitor é correto afirmar que:

a) A carga e a capacitância do capacitor também são duplicadas.
b) A carga e a capacitância do capacitor permanecem constantes.
c) A carga do capacitor é duplicada, mas a sua capacitância permanece constante.
d) A carga e a capacitância do capacitor são reduzidas à metade dos valores iniciais.
e) A carga do capacitor é duplicada e a sua capacitância é dividida pela metade.

Referências

- AEC WEB. *Cabo flexível PP 750 V.* [s.d.]. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/prod/e/cabo-flexivel-pp-750-v_31486_34826. Acesso em: 30 out. 2020.
- FOGAÇA, J. R. V. *Pilha seca de Leclanché. Brasil Escola*. [s.d.]. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/quimica/pilha-seca-leclanche.htm. Acesso em: 06 nov. 2020.
- INFINITI. *Conheça as características do fio de cobre esmaltado*. 03 jul. 2019. Disponível em: http://www.infinitimetais.com.br/blog/conheca-as-caracteristicas-do-fio-de-cobre-esmaltado-2/. Acesso em: 30 out. 2020.
- NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica: fluidos, oscilações, e ondas e calor*. São Paulo: Edgard Blucher, v. 2. p. 5, 1997.
- PHYS 1420: *College Physics II*. 2018. Disponível em: https://faculty.uca.edu/njaustin/PHYS1420/Laboratory/resistivity.pdf. Acesso em: 30 out. 2020.
- SERWAY, R. A.; JEWETT JR., J. W. *Physics for scientists and engineers*. 9. ed. Stamford: Cengage Learning, 2013. p. 870.

ATÉ A PRÓXIMA!