

INSTITUTO FEDERAL

Rio de Janeiro

Campus Niterói

APOSTILA-FÍSICA III

EDUCAÇÃO DE JOVENS E ADULTOS

TÉCNICO EM ASSISTENTE ADMINISTRATIVO

Thiago Corrêa Lacerda

Rafael Moraes Ferreira

APRESENTAÇÃO

Essa apostila aborda o conteúdo da disciplina de Física III que faz parte do Projeto Político Pedagógico do curso Técnico em Assistente Administrativo, na modalidade Educação de Jovens e Adultos e em Ensino Médio Integrado ao Ensino Técnico, que se iniciou no ano de 2023 no *Campus* Niterói do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ). O texto foi desenvolvido nos anos de 2024 e 2025 através do trabalho docente do Professor Doutor Thiago Corrêa Lacerda e do Professor Especialista Rafael Moraes Ferreira. O trabalho tem como objetivo auxiliar o aprendizado do aluno noturno que é trabalhador e precisa de um material rápido e claro para favorecer o processo de ensino-aprendizagem. Os conteúdos abordados são: Eletrostática, Eletrodinâmica e Magnetismo.

PREFÁCIO

1. ELETROSTÁTICA	4
1.1. CONCEITOS INICIAIS	4
1.2. PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO	6
1.3. A FORÇA ELÉTRICA: LEI DE COULOMB	15
1.4. CAMPOS ELÉTRICOS	18
1.5. POTENCIAL ELÉTRICO	22
2. ELETRODINÂMICA	25
2.1. CONCEITOS INICIAIS	25
2.2. CORRENTE ELÉTRICA	26
2.3. PILHAS E BATERIAS	28
2.4. FIOS	29
2.5. RESISTORES	31
2.6. CIRCUITO COMPLETO: LEI DE OHM	36
3. MAGNETISMO	42
3.1. CONCEITOS INICIAIS	42
3.2. PROPRIEDADES	43
3.3. MAGNETISMO E ELETRICIDADE	49

1. ELETROSTÁTICA

1.1. CONCEITOS INICIAIS

A eletrostática é o estudo das cargas elétricas paradas, ou seja, em repouso. Vamos aprender mais adiante que corpos que possuem cargas elétricas podem se atrair ou se repelir, dependendo do sinal das cargas elétricas.

Sabemos que os elementos químicos são formados por átomos, por exemplo, a água (H_2O) é formada por 2 átomos de hidrogênio e um de oxigênio. Mas o que isso tem a ver com eletrostática? Tudo, pois o átomo é dividido em duas partes:

- O Núcleo ao qual possui Nêutrons (com carga neutra), e os prótons (com carga positiva);
- A eletrosfera, ao qual ficam os elétrons (com carga negativa);

Em outras palavras, como cada corpo possui átomos, então vai possuir cargas elétricas. Quando a carga negativa é igual à positiva, dizemos que o corpo é neutro, quando a carga negativa é maior que a positiva, dizemos que o corpo é carregado negativamente e quando a carga positiva é maior que a negativa, dizemos que o corpo é carregado positivamente.

No sistema internacional de unidades (SI), a unidade da carga é chamada de Coulomb, e denotada por C, por exemplo, dizemos que um corpo A possui a carga $Q_A=3C$, então dizemos que a carga desse corpo é 3 Coulombs e ela é positiva, em outro corpo B, dizemos por exemplo que a carga seria $Q_B=-7C$, então dizemos que a carga desse corpo é 7 Coulombs e ela é Negativa.

Quando falamos de sinais das cargas, é importante ressaltar que esses sinais vão dar informações importantes a respeito da força de atração e repulsão entre cargas. De maneira geral:

- Cargas de mesmo sinal se repelem: positivo-positivo (próton com próton) ou negativo-negativo(elétron-elétron);
- Cargas de sinais opostos se atraem: positivo-negativo (próton-elétron);

Uma das coisas mais importantes na eletrostática, é a chamada carga elementar, que é o valor da carga de um próton (positiva) e de um elétron (negativa) e denotamos

por $e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$. O próton e o elétron possuem o mesmo valor absoluto e, porém com sinais invertidos, para o próton, $e_p=1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$ e para o elétron, $e_e=-1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$.

Se quisermos saber a carga total de um corpo, basta sabermos a quantidade total de elétrons (N_e) de um corpo, e a quantidade total de prótons de um corpo (N_p) então calculamos, usando a fórmula abaixo:

$$Q = (N_P - N_E) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$$

Vejamos exemplos abaixo:

Exemplo: Um corpo A possui 4 prótons e 7 elétrons. Determine a carga elétrica e diga se o corpo é positivo, negativo ou neutro.

Resposta: Têm-se que $N_p=4$, $N_e=7$, $Q=(N_p-N_e) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$, $Q=(4-7) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$, $Q=-3 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$, $Q=-4,8 \cdot 10^{-19} \text{C}$

O corpo está negativo, por possuir excesso de elétrons e falta de prótons..

Exemplo: Um corpo B possui 15 prótons e 5 elétrons. Determine a carga elétrica e diga se o corpo é positivo, negativo ou neutro.

Resposta: Têm-se que $N_p=15$, $N_e=5$, $Q=(N_p-N_e) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$, $Q=(15-5) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$, $Q=10 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$, $Q=16 \cdot 10^{-19} \text{C}$

O corpo está positivo, por possuir excesso de prótons.

Exemplo: Um corpo B possui 25 prótons e 25 elétrons. Determine a carga elétrica e diga se o corpo é positivo, negativo ou neutro.

Resposta: Têm-se que $N_p=25$, $N_e=25$, $Q=(N_p-N_e) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$, $Q=(25-25) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$, $Q=0 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$, $Q=0 \text{C}$

O corpo está neutro.

Exercícios

1) Determinada placa de cobre possui 100 prótons e 80 elétrons. Calcule a carga elétrica e diga se a placa é positiva, negativa ou neutra.

2) Se um corpo encontra-se eletrizado positivamente, pode-se afirmar que ele apresenta:

- A) número de prótons e elétrons iguais.
- B) excesso de elétrons.
- C) falta de elétrons.
- D) excesso de nêutrons.
- E) falta de nêutrons.

3) Um corpo possui 30 prótons a mais que a quantidade de elétrons. Calcule sua carga elétrica.

4) Um corpo possui uma carga de $Q=3,2 \cdot 10^{-19} \text{C}$, e possui 100 prótons, calcule a quantidade de elétrons desse corpo.

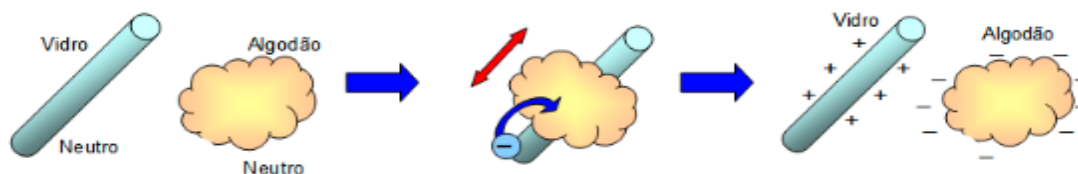
1.2. PROCESSO DE ELETRIZAÇÃO

O processo de eletrização é chamado o processo ao qual um corpo neutro passa a possuir cargas positivas e negativas em quantidades diferentes, sem equilíbrio, sem igualdade, ou seja, passa a não ser mais neutro, sendo positivo ou negativo. Se dá sempre com dois ou mais corpos e pode ocorrer de 3 formas: Atrito, Contato e Indução.

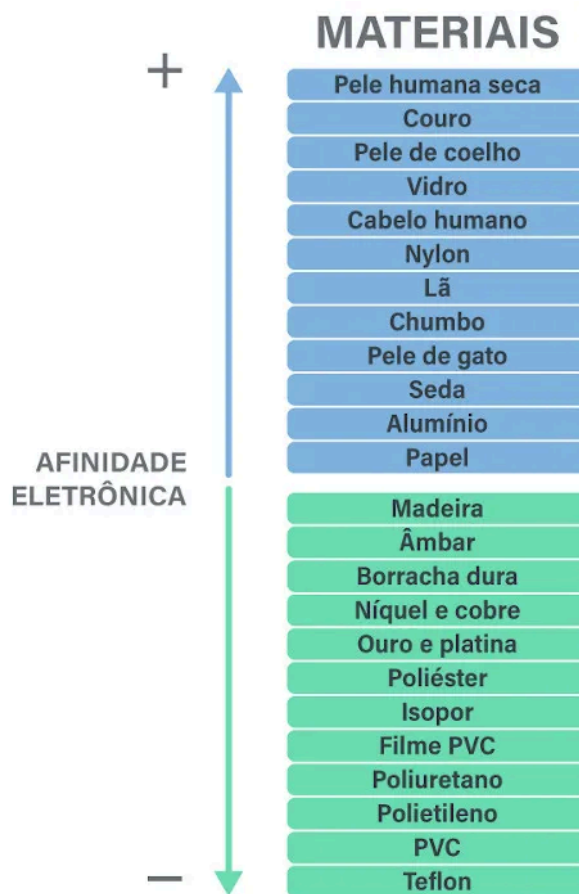
A. Atrito

No caso da eletrização por atrito, basta os corpos atritarem entre si, um com o outro. Nesse processo, ao se atritar, ocorre troca de elétrons nos dois corpos, ou seja, um corpo perde elétrons e o outro recebe esses elétrons, como mostrado na figura¹ abaixo. Os corpos nunca trocam prótons entre si, somente elétrons, lembrando que **sempre os elétrons que se movem!**

¹ Disponível em: <https://infoenem.com.br/aprendendo-sobre-os-tipos-de-eletrizacao/>. Acesso em 22 de Janeiro de 2024.



Quando um corpo perde elétrons, ao se atritar com o outro corpo, o outro receberá esses elétrons, de forma que um corpo ficará positivo e o outro ficará negativo, sendo a carga com o valor igual, porém sinais opostos. A imagem² abaixo mostra a ordem de eletrização por atrito, ou seja, tendências que diferentes corpos possuem a ficarem positivos ou negativos:



² Imagem adaptada. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/serie-triboeletrica.htm>. Acesso em 08 de Março de 2024

Exemplo: Dois corpos A e B estão neutros e começam a se atritar. Sabendo que o corpo A, após se atritar possui uma carga de $Q_A=5C$, qual a carga do corpo B?

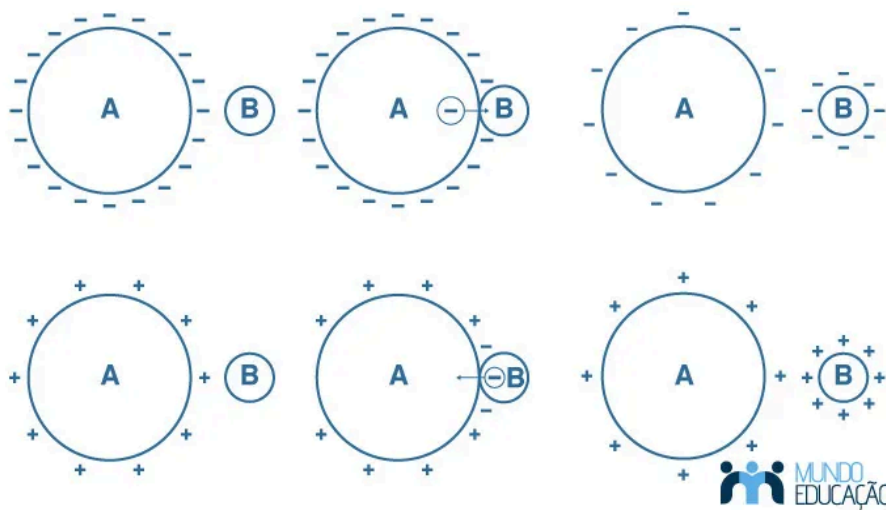
Resposta: Como a carga do corpo B deve ser igual à do corpo A, porém com sinal oposto, então $Q_B=-Q_A$, então $Q_B=-5C$.

Exemplo: Um tecido de lã é atritado com um cano de PVC. De acordo com a imagem de afinidade eletrônica da página anterior, qual fica com carga positiva e qual com carga negativa?

Resposta: De acordo com a imagem, a lã fica positiva e o cano de PVC negativo

B. Contato

No caso da eletrização por contato, um dos corpos precisa estar carregado (positivamente ou negativamente) para poder eletrizar o outro corpo. Nesse processo, o corpo carregado encosta no corpo neutro, e os elétrons se movem de um corpo para outro até ficarem em equilíbrio (sempre os elétrons!). Quando os corpos se afastam um do outro, ambos vão estar eletrizados como mostra a figura³ abaixo.



³ Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/carga-eletrica.htm>. Acesso em 22 de Janeiro de 2024

No primeiro caso da imagem, um corpo A (negativo) se aproxima e encosta no B (neutro), então o corpo A, que possui excesso de elétrons, cede elétrons para o corpo B, ou seja, os elétrons saem de A e vão para B, deixando os corpos A e B negativos.

No segundo caso da imagem, um corpo A (positivo) se aproxima e encosta no B (neutro), então o corpo A, que possui falta de elétrons, puxa os elétrons do corpo B, ou seja, os elétrons saem de B e vão para o A, deixando ambos positivos.

Exemplo: Um corpo A está eletrizado com uma carga de $Q_A = -2C$ e encosta em um corpo B, ao qual está neutro. Um tempo após o contato, os corpos A e B são separados e o corpo A possui uma carga de $Q_A = -1C$. Qual a carga do corpo B? Os elétrons foram de A para B ou de B para A?

Resposta: Como B estava neutro, ao encostar no corpo A, a carga total passa a ser $Q = -2C$. Quando o corpo A se afasta e passa a ter $Q_A = -1C$, a carga total é dada por $Q = Q_A + Q_B$, logo $-2 = -1 + Q_B$, $Q_B = -1C$. Como o corpo A é negativo, ele possui excesso de elétrons, logo ele cede elétrons para o corpo B, então os elétrons saem de A e vão para B.

Exemplo: Um corpo A está eletrizado com uma carga de $Q_A = 8C$ e encosta em um corpo B, ao qual está neutro. Um tempo após o contato, os corpos A e B são separados e o corpo A possui uma carga de $Q_A = 4C$. Qual a carga do corpo B? Os elétrons foram de A para B ou de B para A?

Resposta: Como B estava neutro, ao encostar no corpo A, a carga total passa a ser $Q = 8C$. Quando o corpo A se afasta e passa a ter $Q_A = 4C$, a carga total é dada por $Q = Q_A + Q_B$, logo $8 = 4 + Q_B$, $Q_B = 4C$. Como o corpo A é positivo, ele possui falta de elétrons, logo ele “puxa” elétrons do corpo B, então os elétrons saem de B e vão para A.

No início foi falado que na eletrização por contato, para isso ocorrer é necessário que um dos corpos esteja carregado, positivamente ou negativamente, para eletrizar o outro corpo. Agora pensemos na seguinte situação: E se os dois

corpos estiverem eletrizados? O que vai ocorrer é a seguinte situação: as cargas irão se somar, e iremos analisar a quantidade total. Posteriormente, a quantidade total vai se dividir entre os corpos, vejamos alguns exemplos abaixo.

Exemplo: Um corpo A está eletrizado com uma carga de $Q_A=0,0006C$ e encosta em um corpo B, ao qual possui uma carga de $Q_B=0,0010C$. Um tempo após o contato, os corpos A e B são separados. Quais as cargas nos corpos A e B, sabendo que os corpos são do mesmo material e mesmas dimensões?

Resposta: Vamos analisar a carga total quando o corpo A encosta no B, $Q=Q_A+Q_B$, $Q=0,0006+0,0010$, $Q=0,0016C$. Quando os corpos se separam, cada um fica com metade da carga total, por serem do mesmo material e possuírem as mesmas dimensões, logo $Q_A=0,0008C$ e $Q_B=0,0008C$.

Exemplo: Um corpo A está eletrizado com uma carga de $Q_A=0,009C$ e encosta em um corpo B, ao qual possui uma carga de $Q_B=-0,011C$. Um tempo após o contato, os corpos A e B são separados. Quais as cargas nos corpos A e B, sabendo que os corpos são do mesmo material e mesmas dimensões?

Resposta: Vamos analisar a carga total quando o corpo A encosta no B, $Q=Q_A+Q_B$, $Q=0,009-0,011$, $Q=-0,002C$. Quando os corpos se separam, cada um fica com metade da carga total, por serem do mesmo material e possuírem as mesmas dimensões, logo $Q_A=-0,001C$ e $Q_B=-0,001C$.

Note que no caso acima não somamos as cargas, tivemos que efetuar uma subtração, pelo fato da carga do corpo B ser negativa. Então, sempre que uma carga for negativa, o sinal da carga irá aparecer na conta da carga total, como mostrado em mais exemplos abaixo.

Exemplo: Um corpo A está eletrizado com uma carga de $Q_A=-1,5C$ e encosta em um corpo B, ao qual possui uma carga de $Q_B=-0,5C$. Um tempo após o contato, os corpos A e B são separados. Quais as cargas nos corpos A e B, sabendo que os corpos são do mesmo material e mesmas dimensões?

Resposta: Vamos analisar a carga total quando o corpo A encosta no B, $Q=Q_A+Q_B$, $Q=-1,5-0,5$, $Q=-2,0C$. Quando os corpos se separam, cada um fica com metade da carga total, por serem do mesmo material e possuírem as mesmas dimensões, logo $Q_A=-1C$ e $Q_B=-1C$.

Exemplo: Um corpo A está eletrizado com uma carga de $Q_A=-0,007C$ e encosta em um corpo B, ao qual possui uma carga de $Q_B=0,007C$. Um tempo após o contato, os corpos A e B são separados. Quais as cargas nos corpos A e B, sabendo que os corpos são do mesmo material e mesmas dimensões?

Resposta: Vamos analisar a carga total quando o corpo A encosta no B, $Q=Q_A+Q_B$, $Q=-0,007+0,007$, $Q=0C$. Quando os corpos se separam, cada um fica com metade da carga total, logo $Q_A=0C$ e $Q_B=0C$, ou seja, já era nula antes de se separar e continuou nula.

C. Indução

O processo de indução ocorre quando um corpo carregado (positivo ou negativo), chamado de indutor, chega perto de um corpo neutro, sem encostar, chamado de induzido. Quando o corpo indutor chega perto do induzido, ele (indutor) vai gerar um movimento de elétrons no interior do induzido. Esse movimento vai depender da polaridade do indutor.

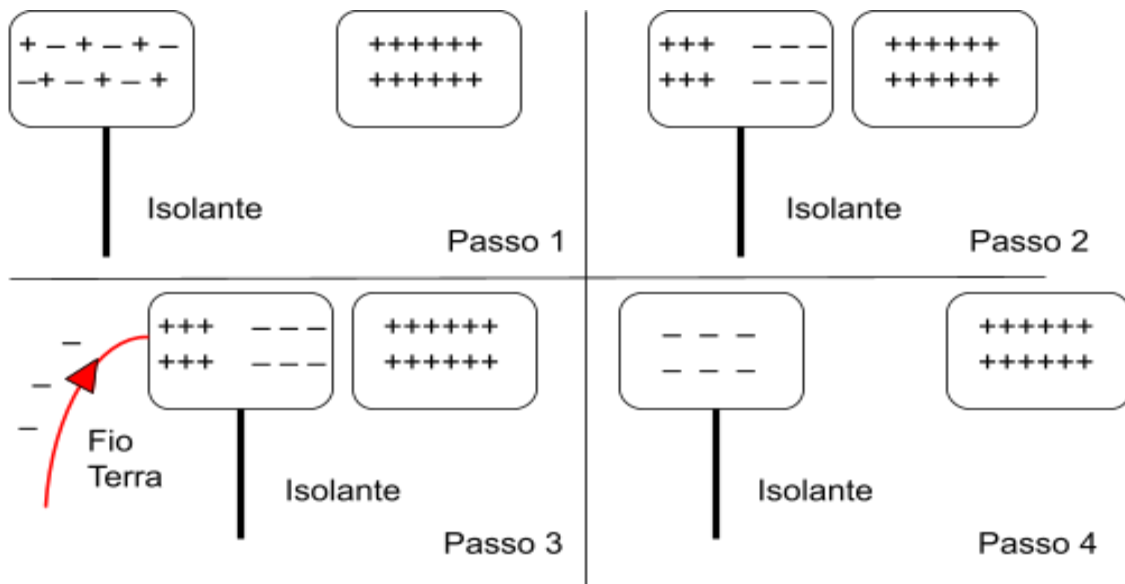
Parece meio confuso, então vejamos os dois casos, quando o indutor for positivo e quando for negativo.

I. Indutor Positivo

Neste caso ocorre o seguinte:

- Passo 1: Um dos corpos está neutro e o outro está carregado positivamente (indutor positivo).
- Passo 2: O corpo neutro se aproxima, sem encostar, no corpo indutor. As cargas positivas do indutor vão atrair as cargas negativas do corpo neutro, de tal forma que as cargas positivas vão para um lado e as negativas para outro lado.

- **Passo 3:** Depois basta colocar um fio terra, de forma que os elétrons vão ser atraídos para o corpo, devido ao fato da parte positiva atrair elétrons (negativos) do solo.
- **Passo 4:** Por fim, basta desconectar o fio e afastar os corpos, que o corpo que era inicialmente neutro agora estará com excesso de cargas negativas, ou seja, ele ficará negativo. Chamamos o corpo que era neutro anteriormente de induzido, pois o mesmo foi induzido a ficar negativo.

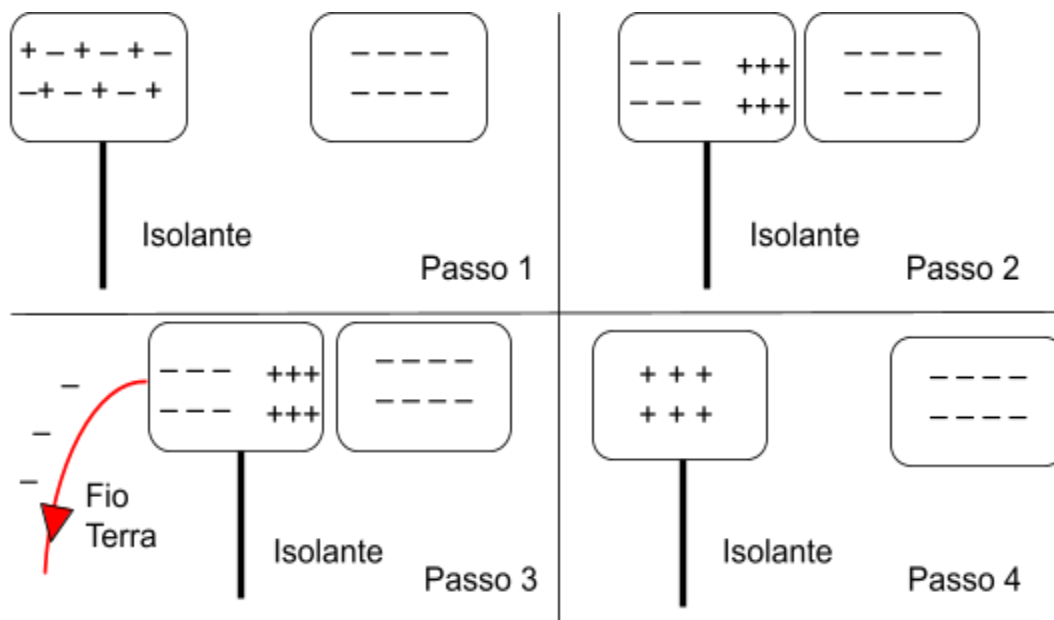


II. Indutor Negativo

Neste caso ocorre o seguinte:

- **Passo 1:** Um dos corpos está neutro e o outro está carregado negativamente (indutor negativo).
- **Passo 2:** O corpo neutro se aproxima, sem encostar, no corpo indutor. As cargas negativas do indutor vão atrair as cargas positivas do corpo neutro, de tal forma que as cargas positivas vão para um lado e as negativas para outro lado.
- **Passo 3:** Depois basta colocar um fio terra, de forma que os elétrons vão sair do corpo neutro.
- **Passo 4:** Por fim, basta desconectar o fio e afastar os corpos, que o corpo que era inicialmente neutro agora estará com excesso de cargas positivas, ou seja,

ele ficará positivo. Chamamos o corpo que era neutro anteriormente de induzido, pois o mesmo foi induzido a ficar positivo.



Exercícios

1)(UFPel-Adaptado) Em relação à eletrização de um corpo, analise as afirmativas a seguir, dizendo as corretas e explicando o erro das erratas.

- I. Se um corpo neutro perder elétrons, ele fica eletrizado positivamente;
- II. Atritando-se um bastão de vidro com uma flanela, ambos inicialmente neutros, eles se eletrizam com cargas iguais;
- III. O fenômeno da indução eletrostática consiste na separação de cargas no induzido pela presença do indutor eletrizado;
- IV. Aproximando-se um condutor eletrizado negativamente de outro neutro, sem tocá-lo, este permanece com carga total nula, sendo, no entanto, atraído pelo eletrizado.
- V. Um corpo carregado pode repelir um corpo neutro.

2) Tem-se três esferas condutoras, A, B e C. A esfera A (positiva) e a esfera B (negativa) são eletrizadas com cargas $Q_A=0,04C$, $Q_B=-0,04C$ e a esfera C está inicialmente neutra. São realizadas as seguintes operações:

- I) toca-se C em B, com A mantida à distância, e em seguida separa-se C de B.
 - II) toca-se C em A, com B mantida à distância, e em seguida separa-se C de A.
 - III) toca-se A em B, com C mantida à distância, e em seguida separa-se A de B.
- Qual a carga final da esfera A?

3) Um condutor A, eletrizado positivamente e colocado em contato com outro condutor B, inicialmente neutro. Com base nisso, responda:

- a) B se eletriza positiva ou negativamente?
- b) Durante a eletrização de B ocorre uma movimentação de elétrons ou de prótons? De A para B ou de B para A?

4) Se um corpo neutro é colocado em contato com um corpo eletrizado negativamente, ou seja, com excesso de elétrons, pode-se afirmar que:

- a) Ele permanece neutro;
- b) Adquire carga positiva;
- c) Adquire carga negativa;
- d) Neutraliza eletricamente o outro corpo.

5) Um experimento de laboratório de física, um professor atritou um tecido de lã com um cano de PVC para demonstrar o efeito de eletrização. Consultando a imagem de afinidade eletrônica da página 7, assinale a alternativa correta e diga os erros das demais.

- a) Ambos ficaram com sinal negativo.
- b) O PVC fica positivo e a lã negativa.

c)O PVC fica negativo e a lã positiva.

d)Ambas ficam nulas.

e)Nada pode ser afirmado.

1.3. A FORÇA ELÉTRICA: LEI DE COULOMB

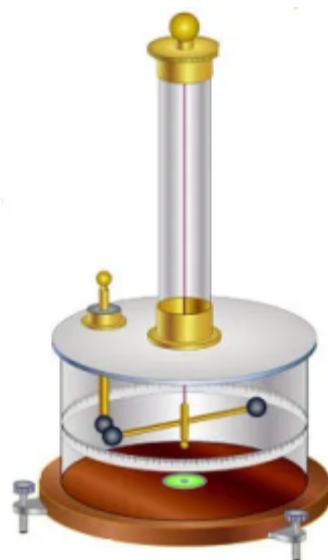
Em 1785, o cientista Charles Augustin Coulomb publicou trabalhos acerca de forças elétricas. Coulomb utilizou do que é chamado de balança de torção, como mostrado na Figura⁴ ao lado. A balança de torção tem duas pontas, uma é eletrizada com uma carga, e outra é eletrizada com outra carga diferente.

Coulomb, realizando diversos experimentos e cálculos de força, constatou que a força elétrica depende das cargas em cada corpo e vai depender do quadrado do inverso da distância entre essas cargas. Coulomb então formulou, empiricamente, a seguinte fórmula:

$$F = \frac{kQq}{d^2}$$

Fórmula acima é chamada de Lei de Coulomb, ao qual como dito anteriormente, a força depende de cada carga, do inverso do quadrado da distância, e Coulomb percebeu que existe uma constante ao qual é associada, chamamos essa constante de constante eletrostática k , com valor $k=9 \cdot 10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2$. Para facilitação do aprendizado dos estudantes da EJA, vamos fazer algumas considerações:

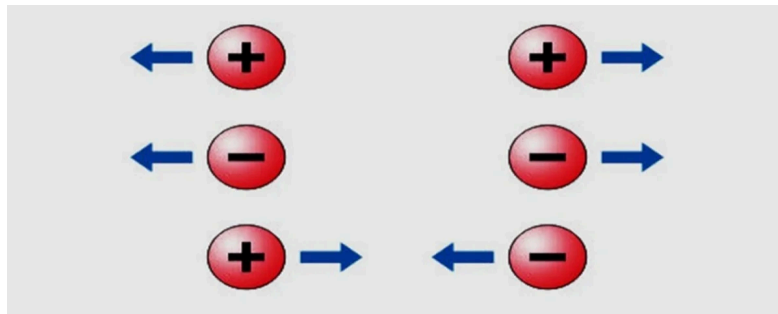
- Vamos usar que $k \propto 9 \text{Nm}^2/\text{C}^2$ pois geralmente as cargas são colocadas, para esse tipo de problema, proporcionais a milicoulomb (10^{-3}C), microcoulomb (10^{-6}C) ou até mesmo nanocoulomb (10^{-9}C) mais para facilitar vamos usar a notação $Q \propto [\text{C}]$ ao invés de $Q = [\mu\text{C}]$ ou $Q = [\text{mC}]$;



⁴ Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/charles-coulomb.htm>. Acesso em 20 de Janeiro de 2024.

- Quando usamos as cargas proporcionais a microcoulomb, milicoulomb e $k=9.10^9\text{Nm}^2/\text{C}^2$, podemos fazer o seguinte cálculo $10^{-3}.10^{-6}.9.10^9=9\text{Nm}^2$;

Coulomb também percebeu que quando dois corpos possuem cargas opostas, uma positiva e outra negativa, a força é atrativa, e, quando dois corpos possuem carga de mesmo sinal (positiva ou negativa), a força é repulsiva, como mostrado na imagem⁵ abaixo:



Em outras palavras, sinais iguais se repelem e sinais opostos se atraem. Vejamos exemplos adiante.

Exemplo: Dois corpos A e B possuem cargas $Q \propto 3\text{C}$ e $q \propto 4\text{C}$ respectivamente, e estão separados por uma distância de 2 metros. Calcule a intensidade da força elétrica e diga se é atrativa ou repulsiva. Dado que $k \propto 9\text{Nm}^2/\text{C}^2$.

Resposta: Como $F = \frac{kQq}{d^2}$, $Q=3\text{C}$, $q=4\text{C}$, $d=2\text{m}$, então $F = \frac{9.3.4}{2^2}$, $F = \frac{27.4}{4}$, $F=27\text{N}$. Como as cargas possuem o mesmo sinal (positivo), então a força é repulsiva.

Exemplo: Dois corpos A e B possuem cargas $Q \propto 2\text{C}$ e $q \propto -1\text{C}$ respectivamente, e estão separados por uma distância de 1 metro. Calcule a intensidade da força elétrica e diga se é atrativa ou repulsiva. Dado que $k \propto 9\text{Nm}^2/\text{C}^2$.

Resposta: Como $F = \frac{kQq}{d^2}$, $Q \propto 2\text{C}$, $q \propto -1\text{C}$, $d=1\text{m}$, então $F = \frac{9.2.1}{1^2}$, $F = \frac{18}{1}$, $F=18\text{N}$. Como as cargas possuem sinais opostos, então a força é atrativa.

⁵ Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/forca-eletrica/>. Acesso em 21 de Janeiro de 2024.

Note que neste caso o sinal de $q \propto -1C$ não precisou entrar na conta, pois estamos interessados em calcular a intensidade da força, e, como possuem sinais opostos, sabemos que a força é atrativa

Exemplo: Dois corpos A e B possuem cargas de $Q \propto -5C$ e $q \propto -5C$ respectivamente, e estão separados por uma distância de 3 metros. Calcule a intensidade da força elétrica e diga se é atrativa ou repulsiva. Dado que $k \propto 9Nm^2/C^2$.

Resposta: Como $F = \frac{kQq}{d^2}$, $Q \propto -5C$, $q \propto -5C$, $d=3m$, então $F = \frac{9 \cdot 5 \cdot 5}{3^2}$, $F = \frac{9 \cdot 25}{9}$, $F=25N$. Como as cargas possuem o mesmo sinal, então a força é repulsiva.

Exercícios

1)Um corpo A possui uma carga $Q \propto 1C$ e está separada por uma distância de 2 metros de um corpo B, de carga $q \propto 4C$. Sabendo que $k \propto 9Nm^2/C^2$, calcule a força elétrica e diga se é atrativa ou repulsiva.

2)Uma carga $Q \propto 3C$ está a uma distância d de uma carga $q \propto 3C$. Sabendo que a intensidade da força elétrica é de $F=9N$ e que $k \propto 9Nm^2/C^2$, calcule a distância d em metros.

3)Pode existir força elétrica entre dois corpos que estão neutros, distante de 1 metro entre si? Explique.

4)Uma carga $Q \propto 2C$ está a uma distância de 2 metros de uma carga q . Sabendo que a intensidade da força elétrica é de $F=18N$, que a força é atrativa e que $k \propto 9Nm^2/C$, calcule o valor da carga q em Coulomb.

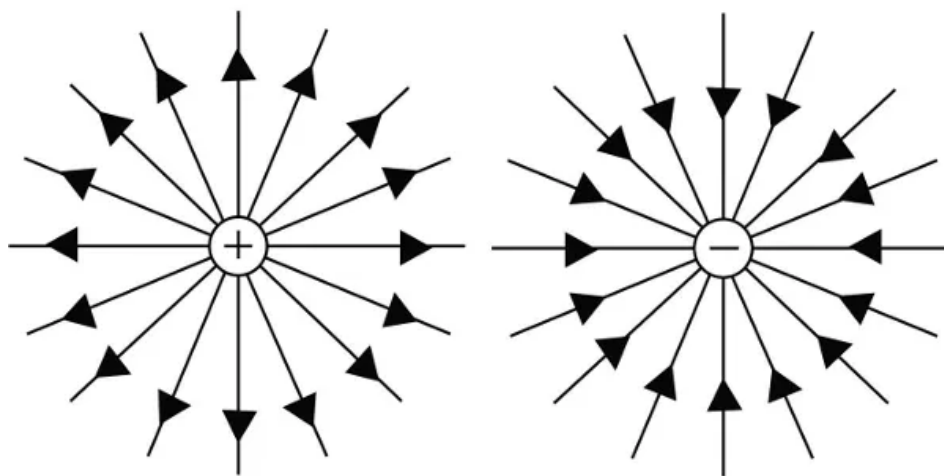
1.4. CAMPOS ELÉTRICOS

A ideia de campos elétricos vem posterior à ideia de força elétrica. Maxwell, um grande físico escocês, propôs e demonstrou que uma carga elétrica (positiva ou negativa) gera um campo elétrico. Ou seja, as cargas interagem entre si através dos chamados campos elétricos.

Um campo elétrico gerado por uma carga, só pode ser detectado por outra carga. A carga que detecta um campo elétrico, chamamos de carga de prova (carga elétrica pequena e positiva). O campo elétrico tem algumas propriedades e definições, veremos abaixo.

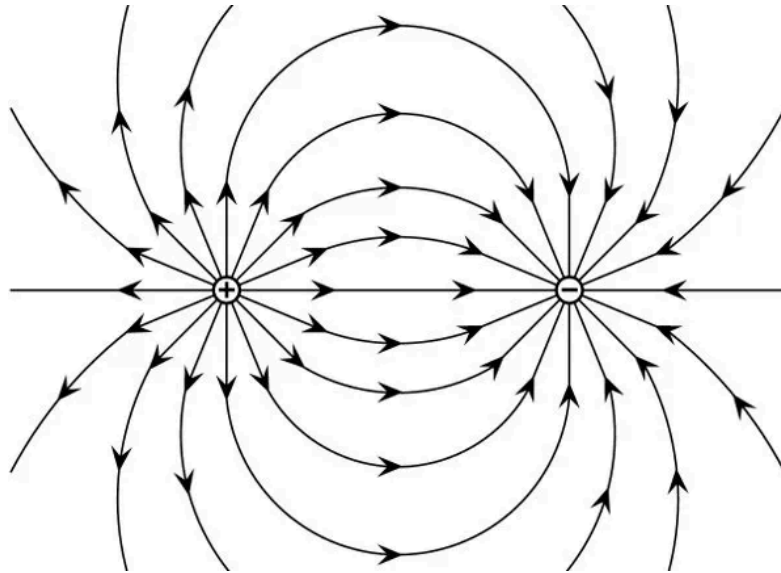
- 1) Corpos com cargas neutras não geram campos elétricos;
- 2) Cargas positivas tem a propriedade de afastar;
- 3) Cargas negativas tem a propriedade de aproximar;
- 4) Existem regiões ao qual estão no mesmo potencial elétrico de afastar ou aproximar (veremos mais adiante, no próximo subcapítulo);

A figura⁶ abaixo mostra um esquema sobre as chamadas linhas de campo de cada carga elétrica, sendo uma positiva, e outra negativa.

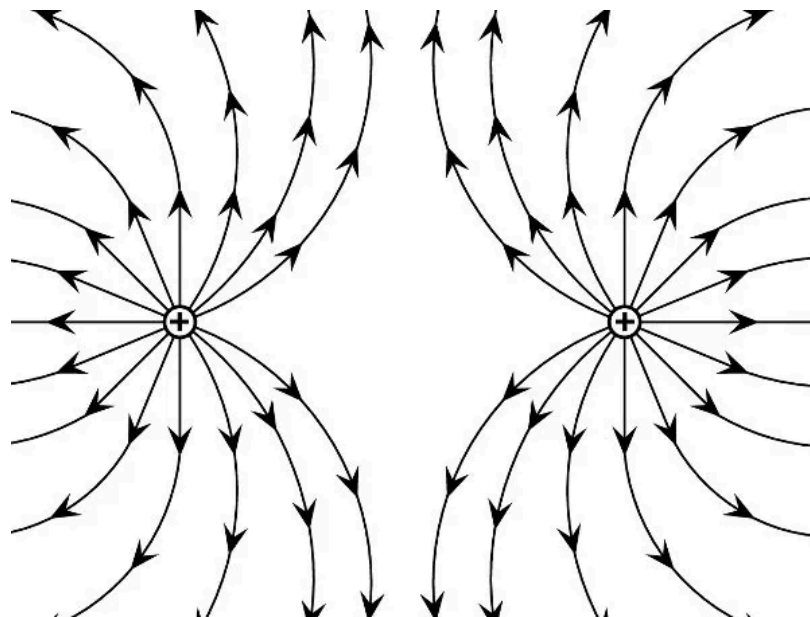


Quando uma carga se aproxima da outra, sendo as cargas opostas, o campo elétrico é descrito conforme a figura⁵ abaixo:

⁶ Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/campo-eletrico.htm>. Acesso em 23 de Janeiro de 2024.

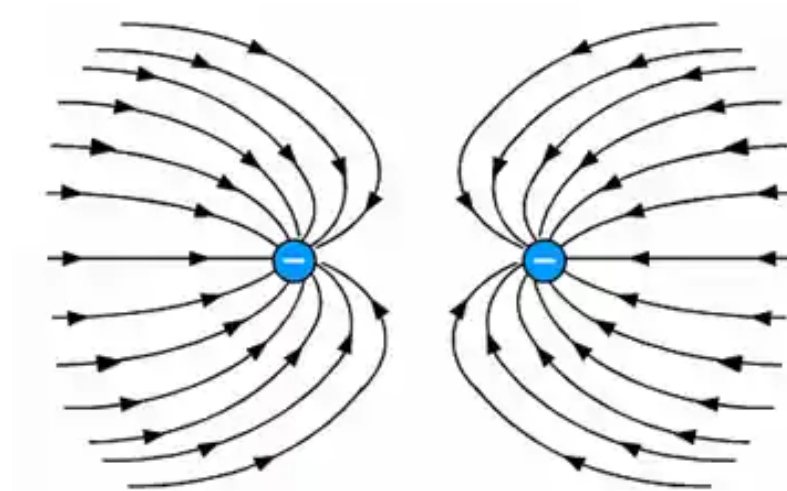


A pergunta que vocês devem estar pensando é: E se aproximarmos cargas de mesmo sinal, positivo-positivo ou negativo-negativo? Neste caso as linhas de campo para cargas positivas ficam conforme mostrado na figura⁵ abaixo:



Para duas cargas negativas, as linhas de campo são mostradas na figura⁷ abaixo:

⁷ Disponível em :<https://www.respondeai.com.br/conteudo/fisica/eletricidade/linhas-de-campo-eletrico/320>. Acesso em 25 de Janeiro de 2024.



Pode-se notar que ambos os casos mostrados acima, as linhas são bem parecidas, com a diferença que as positivas afastam e as negativas atraem (ver as setas - Pense sempre o que acontece ao aproximar uma carga de prova).

A intensidade do campo elétrico pode ser calculado da seguinte forma:

$$E = \frac{kQ}{d^2}$$

Em outras palavras, o campo elétrico depende da carga do corpo eletrizado, da constante $k \propto 9\text{Nm}^2/\text{C}^2$ e da distância ao qual um ponto está, em relação ao centro dessa carga. A unidade do campo elétrico é N/C (Newton por Coulomb), vejamos um exemplo abaixo:

Exemplo: Um corpo A possui carga $Q \propto 3\text{C}$. Calcule a intensidade do Campo Elétrico a uma distância de 1 metro e depois a uma distância de 3 metros. Dado que $k \propto 9\text{Nm}^2/\text{C}^2$.

Resposta: Como $E = \frac{kQ}{d^2}$, $Q = 3\text{C}$, $d = 1\text{m}$, então $E = \frac{9 \cdot 3}{1^2}$, $E = \frac{27}{1}$, $E = 27\text{N/C}$. Para $d = 3\text{m}$, têm-se $E = \frac{9 \cdot 3}{3^2}$, $E = \frac{9 \cdot 3}{9}$, $E = 3\text{N/C}$.

O exemplo acima mostra que quanto maior a distância, menor o campo elétrico, ou seja, para $d=1\text{m}$, $E=27\text{N/C}$, enquanto para $d=3\text{m}$, $E=3\text{N/C}$, ou seja, 9 vezes menor.

Existe uma relação entre campo elétrico e força elétrica: quando temos uma carga Q , ela vai produzir um campo elétrico, mas esse campo elétrico só pode ser sentido por outra carga elétrica. Para detectar então esse campo elétrico, colocamos uma carga de prova q , a uma distância d , de modo que gera uma força elétrica:

$$F = \frac{kQq}{d^2}$$

Mas o campo elétrico gerado por Q é da forma:

$$E = \frac{kQ}{d^2}$$

Compare as duas fórmulas acima, você provavelmente irá notar que:

$$F = qE \text{ ou } E = \frac{F}{q}$$

Em outras palavras, se temos o valor da força e da carga de prova, conseguimos saber o valor da intensidade do campo elétrico, vejamos alguns exemplos abaixo.

Exemplo: Uma carga de prova $q=1\text{C}$ se aproxima de um campo elétrico gerado por uma carga Q . Em determinado ponto, sente uma força elétrica de 10N . Calcule a intensidade do campo elétrico nesse ponto.

Resposta: Como $E = \frac{F}{q}$, então $E = \frac{10}{1}$, logo $E=10\text{N/C}$.

Como vocês podem perceber, é bem simples calcular o campo elétrico quando possuímos o valor da força e da carga de prova.

Exercícios

1) Um corpo A possui uma carga $Q \approx 16\text{C}$. Sabendo que $k \approx 9\text{Nm}^2/\text{C}^2$, responda:

a) O campo elétrico a uma distância de 1m .

b)O campo elétrico a uma distância de 2m.

c)O campo elétrico a uma distância de 4m.

d)O campo elétrico é de forma atrativa, ou repulsiva? Explique

2)A uma distância de 5 metros, temos o campo elétrico produzido por uma carga Q, cujo valor é proporcional à -25 C. Sabendo que a constante eletrostática do vácuo vale $k \propto 9\text{Nm}^2/\text{C}^2$, encontre o valor desse campo elétrico neste ponto e explique se o campo é atrativo ou repulsivo.

3)(FEI SP-Adaptada) A intensidade do campo elétrico num ponto P é $E=6\text{N/C}$. Uma carga puntiforme $q=3\text{C}$ é colocada em P e ficará sujeita a uma força elétrica de qual intensidade?

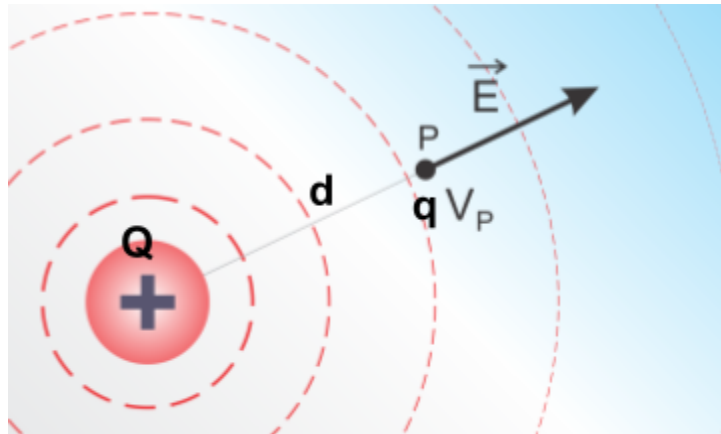
4)Uma carga de $Q=2\text{C}$, está situada num ponto P, e nela atua uma força de 4N. Se esta carga Q for substituída por uma de $Q'=3\text{C}$, qual será a intensidade da força sobre essa carga quando ela for colocada no ponto P?

1.5. POTENCIAL ELÉTRICO

O potencial elétrico é muito importante para o estudo de eletrostática, ele vai trazer informações do quanto de energia (Joules) é necessária para mover uma carga de prova de um ponto do espaço para outro ponto. A unidade do potencial é o chamado Volts e denotado por V. O potencial é dado por:

$$V = \frac{kQ}{d}$$

O potencial é gerado por uma carga Q , essa distância d é a distância da carga unitária em relação à carga Q . Parece meio confuso, então veremos a imagem⁸ abaixo:



Na imagem acima temos uma carga Q e uma carga q , separadas por uma distância d . Do subcapítulo anterior, já sabemos que a carga q , situada no ponto p , vai “sentir” o campo elétrico gerado por Q . Agora o que queremos dizer é que neste mesmo ponto, existirá um potencial V dado por $V = \frac{kQ}{d}$. Agora, cuidado, o potencial de q é gerado pela carga Q , então, é o valor de Q que vai entrar na conta, não o valor de q , vejamos um exemplo.

Exemplo: Sabendo que $k \propto 9\text{Nm}^2/\text{C}^2$, calcule o potencial elétrico gerado por uma carga $Q \propto 2\text{C}$ em uma distância de 1 metro e 10 metros.

Resposta: Como $V = \frac{kQ}{d}$, então para $d=1\text{m}$ $V = \frac{9 \cdot 2}{1}$, logo $V=18\text{Volts}$. Para $d=10\text{m}$, $V = \frac{9 \cdot 2}{10}$, logo $V=1,8\text{Volts}$.

O exemplo acima mostra que quanto mais distante a carga de prova estiver, menor será o potencial elétrico. Como foi falado no início do capítulo, o potencial fornece informação sobre o quanto de energia é necessária para mover uma carga ao longo de um espaço, ou distância. Esse movimento iremos chamar de Diferença de Potencial (DDP), que será dado por:

⁸ Imagem adaptada, disponível em: <https://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2019/04/cursos-do-blog-eletricidade.html>. Acesso em 26 de Janeiro de 2024.

$$\Delta V_{A-B} = V_B - V_A$$

Sendo V_A o potencial gerado por uma carga Q em um ponto de distância d_A e V_B o potencial gerado pela mesma carga em outro ponto distinto d_B , logo:

$$\Delta V_{A-B} = \frac{kQ}{d_B} - \frac{kQ}{d_A}$$

Ou então, isolando os termos comuns, obtemos:

$$\Delta V_{A-B} = kQ \left(\frac{1}{d_B} - \frac{1}{d_A} \right)$$

Vejam os exemplos abaixo:

Exemplo: Sabendo que $k \propto 9\text{Nm}^2/\text{C}^2$, calcule a diferença de potencial elétrico gerado por uma carga $Q \propto 2\text{C}$ entre uma distância $d_A=1\text{m}$ e $d_B=2\text{m}$.

Resposta: Como $\Delta V_{A-B} = kQ \left(\frac{1}{d_B} - \frac{1}{d_A} \right)$, então $\Delta V_{A-B} = 9 \cdot 2 \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{1} \right)$, logo

$\Delta V_{A-B} = -9$ Volts. Ou seja, se uma carga de prova se afasta, a diferença de potencial (ddp) é negativa.

Exemplo: Sabendo que $k \propto 9\text{Nm}^2/\text{C}^2$, calcule a diferença de potencial elétrico gerado por uma carga $Q \propto 2\text{C}$ entre uma distância $d_A=2\text{m}$ e $d_B=1\text{m}$.

Resposta: Como $\Delta V_{A-B} = kQ \left(\frac{1}{d_B} - \frac{1}{d_A} \right)$, então $\Delta V_{A-B} = 9 \cdot 2 \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{2} \right)$, logo

$\Delta V_{A-B} = 9$ Volts. Ou seja, se uma carga de prova se aproxima, a diferença de potencial (ddp) é positiva.

Exercícios

1) Qual o potencial elétrico em um ponto no vácuo distante a 0,4 metros de uma carga elétrica de 0,2C? Dado: $k=9 \cdot 10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2$

2) Determine o valor Q da carga elétrica que gera um potencial elétrico de $V \propto 18\text{Volts}$ em um ponto P , distante de 2 metros dessa carga.

3) Analise as alternativas abaixo referentes às unidades de medida estudadas no potencial elétrico e diga quais são verdadeiras e explique o erro das erratas.

I. A unidade de medida da carga elétrica é metro por segundo.

II. A unidade de medida do potencial elétrico é Volt.

III. A unidade de medida do campo elétrico é Newton por Coulomb.

IV. A unidade de medida da energia potencial elétrica é Coulomb.

4) Uma carga de $Q \propto 2C$ gera um potencial em um ponto P de $V \propto 3\text{Volts}$. Calcule a distância desse ponto P até a carga, sabendo que $k \propto 9\text{Nm}^2/\text{C}^2$.

5) Uma carga de $Q \propto 3C$ gera um potencial em um ponto P de $V \propto 27\text{Volts}$. Calcule a distância desse ponto P até a carga e calcule a diferença de potencial desse ponto P até o ponto F, afastado de 4 metros em relação à carga. Adote $k \propto 9\text{Nm}^2/\text{C}^2$.

2. ELETRODINÂMICA

2.1. CONCEITOS INICIAIS

Quando estudamos sobre eletrostática, estávamos preocupados apenas em abordar os conceitos de cargas paradas, ou seja, sem movimento. Agora os conceitos vão ser diferentes, pois as cargas em movimento irão gerar efeitos totalmente diferentes. Lembrando que as cargas que se movem são sempre as negativas, pois o que é capaz de se mover dentro de um corpo são os elétrons, não os prótons.

Mas antes de abordarmos conceitos mais complexos, precisamos antes de alguns conceitos mais básicos, como o conceito de materiais condutores, semicondutores e isolantes.

A. Materiais Condutores: Um material é dito condutor quando possui o que chamamos de elétrons livres, ou então, quando esse material possui a

propriedade de deixar elétrons se moverem de forma livre. Como exemplo podemos citar o cobre, aço, ferro e metais em geral.

B. Materiais Semicondutores: Nos materiais semicondutores os elétrons podem se mover, porém com certa dificuldade, ou seja, não são tão livres. Como exemplo, podemos citar o germânio e silício.

C. Materiais Isolantes: Como vocês podem imaginar, os materiais isolantes vão ser o oposto dos materiais condutores, ou seja, os materiais isolantes não vão permitir que os elétrons se movam, ou até mesmo passem elétrons entre eles. Como exemplo podemos citar a borracha, madeira e concreto.

2.2. CORRENTE ELÉTRICA

No início do capítulo, falamos que a eletrodinâmica é o estudo das cargas em movimento. Tais cargas em movimento, no caso elétrons, vão gerar um efeito que conhecemos como corrente elétrica. Em outras palavras, a corrente elétrica é uma quantidade de elétrons que se movimenta em um determinado tempo, dentro de um condutor, logo, a corrente i é dada por:

$$i = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

A unidade da corrente elétrica, chamamos de Ampére(s).

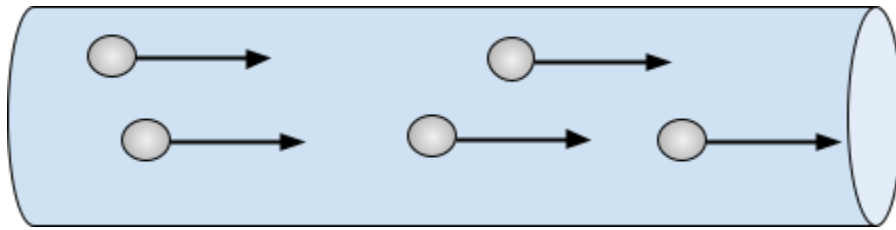
Exemplo: Em um condutor de cobre, foi medido uma corrente de $i=2$ A, durante 100 segundos. Calcule a quantidade de carga que atravessou o fio de cobre.

Resposta: Como $i = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$, $i=2$ A, $\Delta T=100$ s, então, $2 = \frac{\Delta Q}{100}$, $\Delta Q=100 \cdot 2$, $\Delta Q=200$ C é a quantidade de carga que atravessou o fio de cobre.

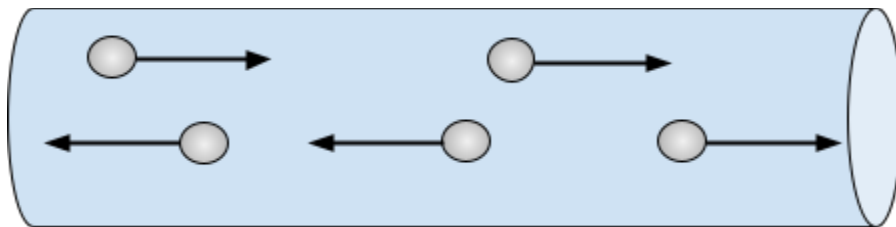
A corrente pode ser dividida de 2 formas:

- 1) **Corrente Contínua:** A corrente contínua é dada pelo movimento ordenado dos elétrons. Esse tipo de corrente é muito comum nos aparelhos eletrônicos no cotidiano, tais como TVs. Nesse tipo de corrente é muito comum estar associado a baixas tensões, como por exemplo 5, 9, 12, 18 ou 24 volts e

sempre possuir um lado “certo”, como na bateria ou pilha, ao qual se mudarmos a posição, iremos queimar ou danificar o aparelho eletrônico.



- 2) **Corrente Alternada:** A corrente alternada é dada pelo movimento de duplo sentido dos elétrons, “ora para direita, ora para esquerda”. Esse tipo de corrente é muito comum nas tomadas residenciais. Esse tipo de corrente é associado a altas tensões, como por exemplo 110, 117, 220 e 240 volts e não possui um lado “certo”, ao qual tanto faz ligar a tomada em uma posição ou não. Note que uma tomada sempre possui 2 pinos, um é positivo e outro é negativo, mas por conta do movimento ser duplo, não importa a posição. Esse tipo de corrente também é associado a transporte de cargas a longas distâncias, como os fios nos postes, que trazem energia elétrica das usinas, percorrem diversos quilômetros.



Exercícios

- 1)(UEL-Adaptado) Pela secção reta de um condutor de eletricidade passam 12,0C a cada minuto. Nesse condutor, calcule a intensidade da corrente elétrica, em Amperes.

2) Uma corrente elétrica de 0,1 A percorre um fio condutor durante 3 minutos. Qual é o módulo da carga elétrica que percorreu o fio durante esse tempo?

3) A cada 10 s, 1 C de carga elétrica é transportada de um ponto a outro em um fio condutor. Calcule a corrente elétrica formada nesse condutor.

4) Uma bateria ideal capaz de armazenar até 36 C de carga elétrica forma, em um circuito ideal, uma corrente elétrica de 0,1 A. O tempo necessário para essa bateria descarregar, em minutos, é igual a:

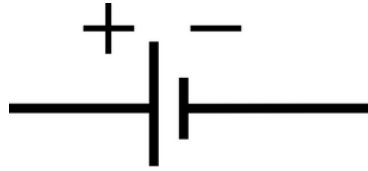
2.3. PILHAS E BATERIAS

As pilhas e as baterias são muito utilizadas no nosso cotidiano. Seja para alimentar o controle da nossa televisão, nosso smartphone ou até mesmo utilizá-la para dar start no nosso carro. Elas são dispositivos capazes de armazenar as cargas e, por esse motivo, dizemos que as mesmas alimentam os circuitos elétricos.



É muito comum dizer que a pilha tem uma tensão U ou diferença de potencial (ddp) associada, ou seja, uma pilha AA mostrada na imagem⁹, por exemplo, possui uma tensão de $U=1,5V$ (volts), uma bateria de notebook possui uma tensão de $U=12V$ (volts). Uma bateria geralmente é representada em um circuito de acordo com a imagem abaixo.

⁹ Disponível em: <https://blog.londrina.pr.gov.br/?p=64910>. Acesso em 17 de Fevereiro de 2024.



A unidade da tensão, no SI, sempre será o Volt. Note que qualquer bateria ou pilha, sempre terá um pólo positivo e um negativo, que irão gerar o movimento das cargas ao longo do circuito, iremos discutir mais adiante, quando falarmos do circuito completo. Como cada pólo possui um sinal diferente (opostos), isso irá produzir o que chamamos de diferença de potencial (ddp) e, é por causa de tal ddp que vai gerar o movimento dos elétrons nos fios condutores, em outras palavras, é por conta da ddp que os elétrons se movem, gerando a corrente elétrica dentro dos fios condutores. Falaremos mais sobre corrente elétrica mais adiante.

2.4. FIOS

Os fios de cobre são muito utilizados nos circuitos, na rede elétrica das residências por possuírem o que chamamos de condutibilidade elétrica alta. Em outras palavras, o cobre é capaz de conduzir eletricidade sem grandes perdas.

Quando falamos em conduzir eletricidade, devemos lembrar que estamos falando de capacidade de poder conduzir uma corrente elétrica. Em outras palavras, os elétrons podem se mover livremente no interior de um fio de cobre.



Existem vários tipos de fios de cobre vendidos no mercado, como mostrado na figura¹⁰, e cada tipo de fio possui propriedades diferentes, como a capacidade de aguentar correntes altas, por exemplo.

A resistência de um fio pode ser definida como a capacidade de ele permitir as cargas atravessarem ou se moverem ao longo de cada extremidade. Em outras palavras, quanto maior a resistividade, maior será a dificuldade das cargas se

¹⁰ Disponível em: <https://www.weg.net/tomadas/blog/arquitetura/desmistificando-a-fiacao-eletrica/>. Acesso em 18 de Fevereiro de 2024.

moverem pelo fio, e, conseqüentemente, o fio não será um bom condutor. A resistividade do fio pode ser calculada da seguinte forma:

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

Sendo R a resistividade do fio, em Ω (ohm), ρ (lê-se rô) uma constante de resistividade elétrica em Ωm (ohm metro), que varia de material para material, L o comprimento do fio em m (metro) e A a área da seção transversal do fio. Basicamente, o que a equação acima diz é:

- Fios de materiais diferentes, possuem resistências diferentes;
- Se o comprimento do fio for alto, a resistividade é alta e vice-versa;
- Se a área da seção transversal do fio for alta, a resistividade é baixa e vice-versa;

Isso explica o motivo de se ter diferentes tipos de fios para diferentes funções. Por exemplo, um fio de alta tensão é bem mais grosso que um fio de componente eletrônico dentro de um computador. A constante de resistividade de alguns materiais pode ser vista na tabela abaixo:

Material	Resistividade elétrica ρ ($10^{-8}\Omega\text{m}$)
Cobre	1,7
Ouro	2,2
Prata	1,6
Chumbo	19,2
Alumínio	2,2
Tungstênio	5,0
Latão	8,0
Liga de Níquel-Cromo	110

Vejamos alguns exemplos abaixo:

Exemplo: Certo fio de cobre possui uma área transversal de 3 mm², largura de 10 cm. Sabendo que o fio é de cobre, calcule a resistência R do fio.

Resposta: Como $R = \frac{\rho \cdot L}{A}$, $\rho(\text{cobre}) = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$, $A = 3 \text{mm}^2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{m}^2$,
 $L = 10 \text{cm} = 0,1 \text{m}$, $R = \frac{1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 0,1}{3 \cdot 10^{-6}}$, $R = 0,57 \cdot 10^{-3} \Omega$ é a resistência

Exemplo: 2 fios possuem largura de 10 metros e uma área de 5cm². Sendo um fio de cobre e outro de prata, calcule a resistência de cada fio.

Resposta: Como $R = \frac{\rho \cdot L}{A}$, para o cobre, $\rho(\text{cobre}) = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$, $A = 5 \text{cm}^2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$,
 $L = 10 \text{m}$, $R = \frac{1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 10}{5 \cdot 10^{-4}}$, $R = 0,34 \cdot 10^{-3} \Omega$ é a resistência do fio de cobre. Para o
fio de prata, $\rho(\text{prata}) = 1,6 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}$, $A = 5 \text{cm}^2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{m}^2$, $L = 10 \text{m}$, $R = \frac{1,6 \cdot 10^{-8} \cdot 10}{5 \cdot 10^{-4}}$,
 $R = 0,32 \cdot 10^{-3} \Omega$ é a resistência do fio de cobre

Exemplo: Dada a tabela anterior, qual o metal que possui a maior resistência elétrica? E qual possui a menor?

Resposta: De acordo com a tabela, a maior resistência é da liga níquel-cromo e a menor é a da prata

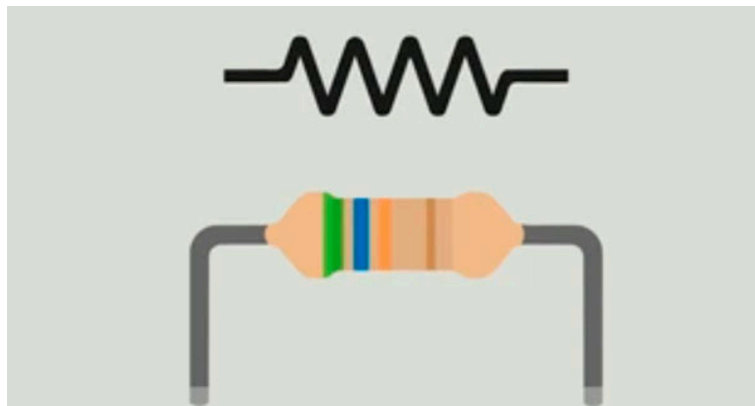
2.5. RESISTORES

Os resistores são dispositivos que diminuem a tensão (voltagem) de um circuito. Eles possuem a capacidade de transformar a tensão elétrica em energia térmica (calor). É muito comum, no cotidiano, falarmos por exemplo da resistência elétrica do chuveiro. O que está ocorrendo ali é uma transformação da energia elétrica em energia térmica, e essa energia térmica aquece a água.

Nas placas de circuitos elétricos, os resistores possuem a função de proteger algum outro componente elétrico de uma tensão alta. É muito comum encontrar resistores como na imagem¹¹ abaixo.



No Sistema Internacional de Unidades (SI) a unidade de medida de resistência é dada em Ω (ohm). Também é muito comum usarmos um dos desenhos como mostrado na figura¹² abaixo como representação de um resistor.



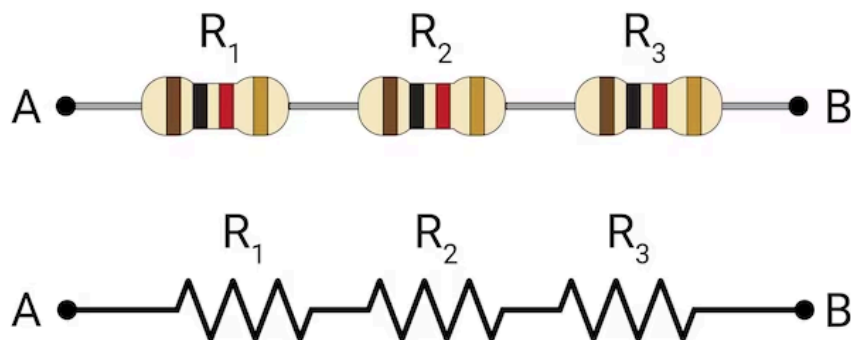
Nos circuitos, sempre iremos encontrar mais de um resistor, dependendo da placa de circuito ou da complexidade, podemos encontrar centenas de resistores. De modo geral as resistências nos circuitos podem ser associadas de duas formas:

- 1) **Resistores em Série:** A resistência em série é quando no final de um resistor vai estar outro resistor, como na figura¹³ abaixo:

¹¹ Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/resistores.htm>. Acesso em 9 de Maio de 2024.

¹² Disponível em: <https://blog.comptotal.com.br/resistor-de-fio-o-que-e-e-qual-principal-aplicacao/> . Acesso em 9 de Maio de 2024.

¹³ Disponível em: <https://br.freepik.com/vetores-premium/circuito-resistor-em-serie-com-simbolo-circuito-eletrico-e-eletronico->

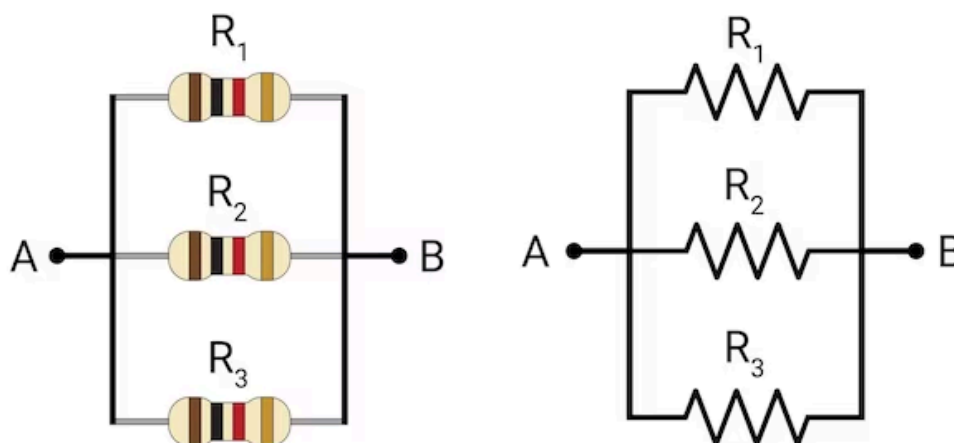


Note que acima temos três resistores, a saída de um conecta no outro. Para calcular a resistência equivalente, usamos a fórmula:

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

Em outras palavras basta somar a quantidade de resistores, ou seja, se um circuito possui 2 resistores, basta somar o valor desses dois resistores, se outro circuito possuir 12 resistores, basta somar esses 12 entre si, e assim por diante.

- 2) **Resistores em Paralelo:** A resistência em paralelo é quando o fio se divide em partes e cada resistor não irá encostar no outro resistor, como na figura¹⁴ abaixo:



simples-fisica_36952220.htm. Acesso em 9 de Maio de 2024.

¹⁴ Disponível em: https://br.freepik.com/vetores-premium/resistores-em-circuito-paralelo-com-simbolo-circuito-eletrico-simples-ciencia-do-ensino-de-fisica_36952208.htm. Acesso em 9 de Maio de 2024.

Note que acima temos três resistores, a saída de um não conecta com o outro. Para calcular a resistência equivalente, usamos a fórmula:

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

A conta é um pouco mais complicada que a conta dos resistores em série, pois envolve soma de frações. Para esse curso da EJA, vamos nos atentar a utilizar somente 2 resistores em paralelo, de forma que a equação acima pode se transformar em:

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

Nesse formato fica mais simples a conta, além de condizer com diversos vestibulares. Vejamos alguns exemplos abaixo:

Exemplo: 2 resistores se encontram de acordo com o esquema abaixo.

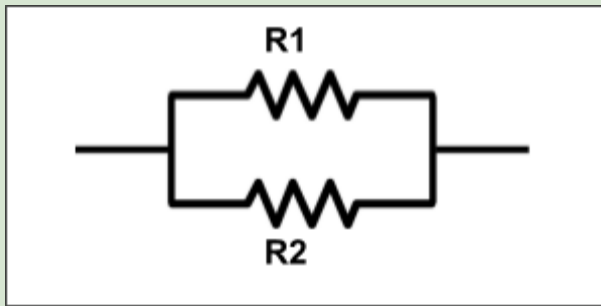


Os resistores se encontram em série ou paralelo? Se $R_1=3\Omega$ e $R_2=7\Omega$, qual a resistência equivalente?

Resposta: Os resistores se encontram em série. Para calcular a resistência equivalente, basta somar os valores dos resistores, $R_{eq} = R_1 + R_2$, logo

$$R_{eq} = 3 + 7, R_{eq} = 10\Omega.$$

Exemplo: 2 resistores se encontram de acordo com o esquema abaixo.

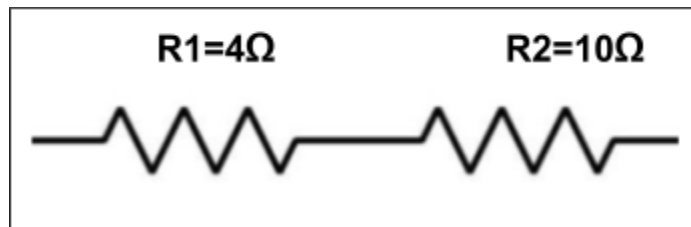


Os resistores se encontram em série ou paralelo? Se $R_1=3\Omega$ e $R_2=6\Omega$, qual a resistência equivalente?

Resposta: Os resistores se encontram em paralelo. Para calcular a resistência equivalente, basta usar a fórmula $R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$, logo, $R_{eq} = \frac{3 \cdot 6}{3 + 6}$, $R_{eq} = \frac{18}{9}$,
 $R_{eq} = 2\Omega$.

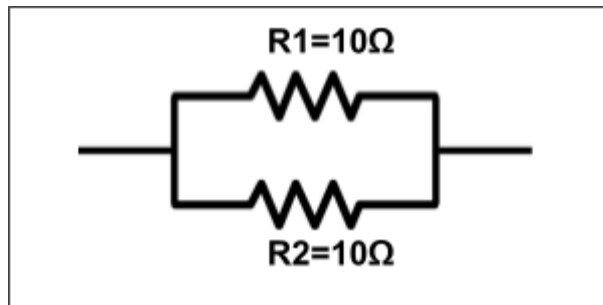
Exercícios

1) Dado a associação de resistores abaixo, responda.



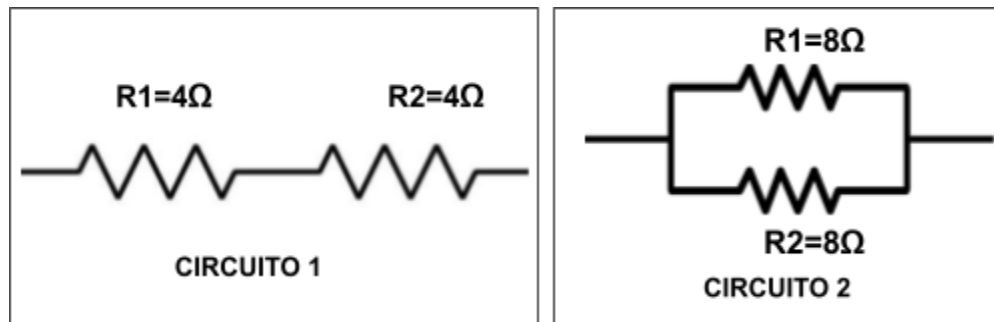
- A associação está em série ou paralelo?
- Calcule a resistência equivalente.

2) Dado a associação de resistores abaixo, responda.



- A associação está em série ou paralelo?
- Calcule a resistência equivalente.

3) Dado as associações de resistores abaixo, responda.

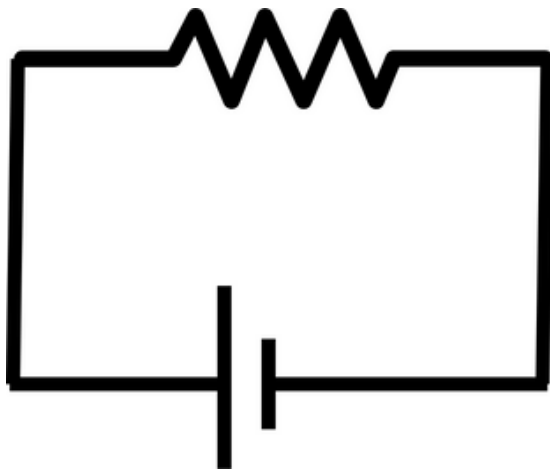


- Diga qual está em série e qual está em paralelo.
- Calcule cada resistência equivalente.
- Qual dessas associações a resistência equivalente é maior?

2.6. CIRCUITO COMPLETO LEI DE OHM

Quando falamos de circuito completo, estamos pensando em um circuito ao qual vai envolver bateria, fios e uma resistência. No subcapítulo de FIOS vimos que um fio possui uma resistência associada, aqui neste capítulo vamos desprezar essa

resistência, pelo fato dela ser muito baixa. Um circuito completo pode ser representado pela imagem abaixo:



Lembrando que:

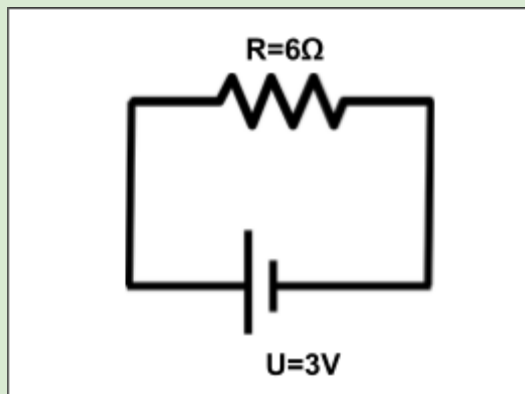
Elementos de Circuito	Símbolo
Bateria (Tensão)	
Fio (Corrente)	
Resistor (Resistência)	

A Lei de Ohm diz que a tensão é o produto da resistência equivalente (total) pela corrente. Ou seja, pode ser escrita pela fórmula:

$$U = R \cdot i$$

Lembrando que no SI, U (tensão) é dado em Volts (V), R (resistência) é dado em ohm (Ω) e i (corrente) é dado em ampéres (A). Vejamos alguns exemplos abaixo.

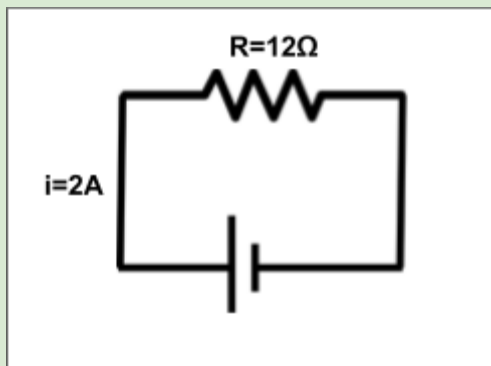
Exemplo: Um circuito é descrito no esquema abaixo:



Qual seria o valor da corrente i ?

Resposta: Como $U = R \cdot i$, $U=3V$, $R=6\Omega$, então, $3 = 6 \cdot i$, $i = \frac{3}{6}$, $i=0,5A$ é a corrente

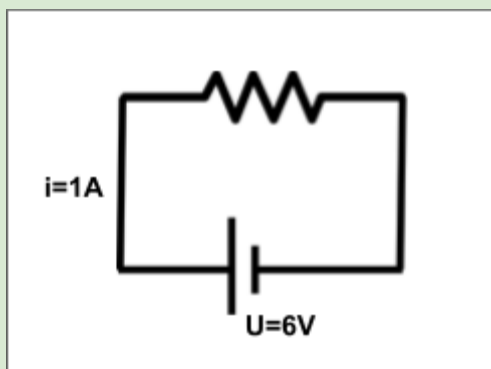
Exemplo: Um circuito é descrito no esquema abaixo:



Qual seria o valor da tensão U ?

Resposta: Como $U = R \cdot i$, $i=2A$, $R=12\Omega$, então, $U = 12 \cdot 2$, $U = 24V$ é a tensão que alimenta o circuito.

Exemplo: Um circuito é descrito no esquema abaixo:

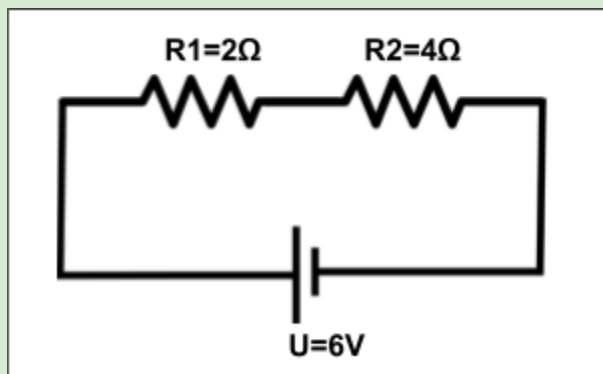


Qual seria o valor da resistência R?

Resposta: Como $U = R \cdot i$, $i=1A$, $U=6V$, então, $6 = R \cdot 1$, $R = \frac{6}{1}$, $R = 6\Omega$, é a resistência do circuito.

Raramente um circuito vem apenas com um resistor. É muito comum os circuitos virem com dezenas de resistores. Para esse curso de física básica para a EJA, vamos nos limitar a utilizar apenas dois resistores, podendo ser associados em paralelo ou em série. Vejamos alguns exemplos abaixo.

Exemplo: Com base no circuito descrito no esquema abaixo, responda.

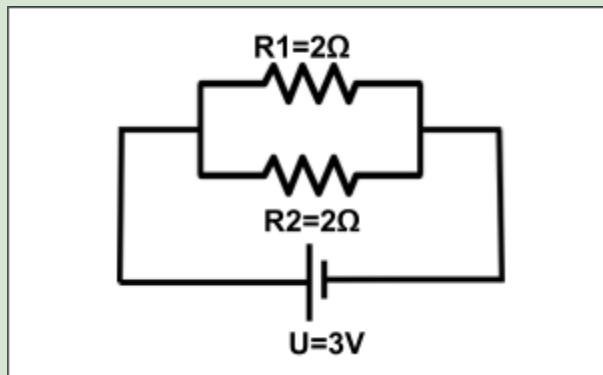


- As resistências estão associadas em paralelo ou em série?
- Qual o valor da resistência equivalente?
- Qual o valor da corrente elétrica?

Resposta:

- a) Como vimos anteriormente, estão associados em série.
- b) Para resistores em série, basta somar os valores de cada resistência, $R_{eq} = R_1 + R_2$, logo $R_{eq} = 2 + 4$, $R_{eq} = 6\Omega$.
- c) Como $U = R \cdot i$, $U=6V$, $R_{eq}=6\Omega$, então, $6 = 6 \cdot i$, $i = \frac{6}{6}$, $i = 1A$, é a corrente do sistema.

Exemplo: Com base no circuito descrito no esquema abaixo, responda.



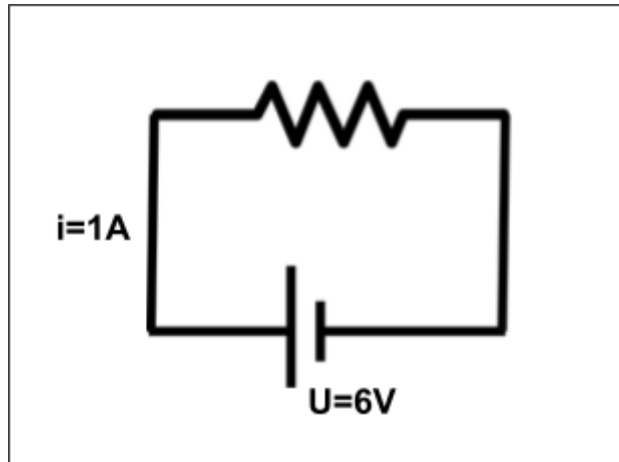
- a) As resistências estão associadas em paralelo ou em série?
- b) Qual o valor da resistência equivalente?
- c) Qual o valor da corrente elétrica?

Resposta:

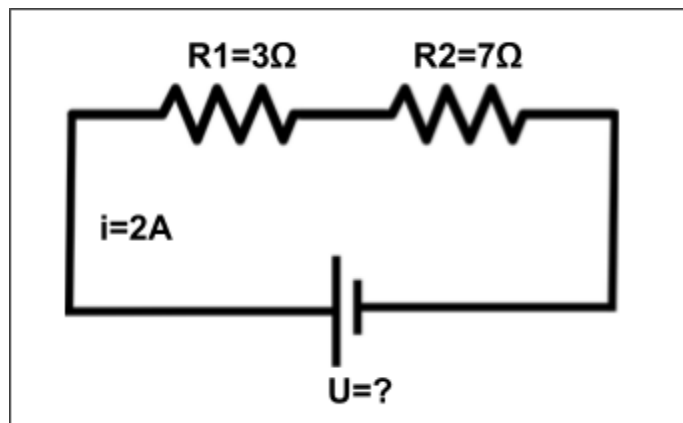
- a) Como vimos anteriormente, estão associados em paralelo.
- b) Para resistores em paralelo, usamos a fórmula $R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$, logo, $R_{eq} = \frac{2 \cdot 2}{2 + 2}$,
 $R_{eq} = \frac{4}{4}$, $R_{eq} = 1\Omega$.
- c) Como $U = R \cdot i$, $U=3V$, $R_{eq}=1\Omega$, então, $3 = 1 \cdot i$, $i = \frac{3}{1}$, $i = 3A$, é a corrente do sistema.

Exercícios

1) Dado o circuito abaixo, calcule a resistência.

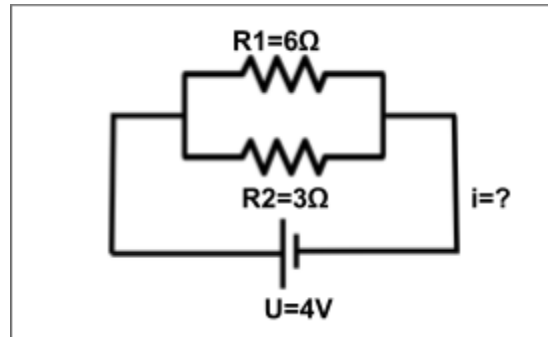


2) Dado o circuito abaixo, responda.



- A associação dos resistores está em série ou paralelo?
- Calcule a resistência equivalente.
- Calcule a tensão U , em volts.

3) Dado as associações de resistores abaixo, responda.



- A associação dos resistores está em série ou paralelo?
- Calcule cada resistência equivalente.
- Calcule a corrente, em amperes.

3. MAGNETISMO

3.1. CONCEITOS INICIAIS

Quando falamos sobre magnetismo, estamos falando sobre ímãs e suas propriedades. O ímã é um objeto bem comum no nosso cotidiano, seja para prender panfletos e propagandas na geladeira de casa, dentro das caixas de som, ou até mesmo no interior dos motores elétricos.

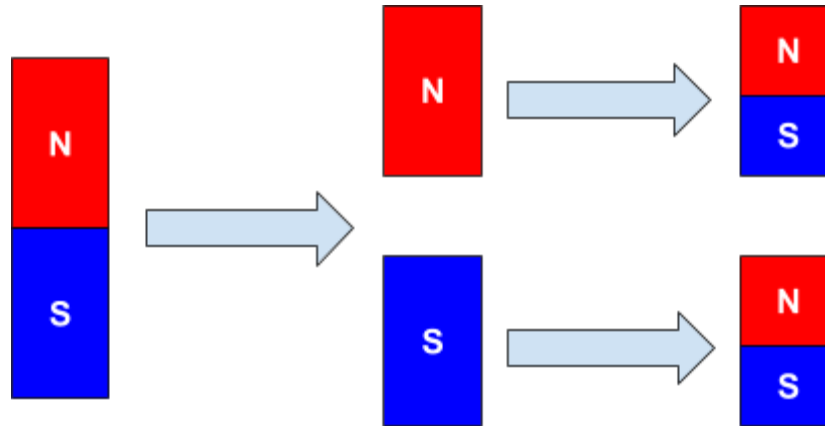
O ímã é um material chamado ferromagnético, ou seja, o ímã apenas atrai os metais ferro, níquel, cobalto e metais com esses elementos presentes (ligas de ferro, níquel e cobalto), em outras palavras, diferentemente do que as pessoas pensam, o ímã não atrai todos os metais. Por exemplo, ouro, prata e cobre não são magnéticos.

Uma coisa muito importante sobre ímãs é que possuem sempre 2 polos, sendo eles o polo norte e polo sul, como pode ser visto na imagem¹⁵ ao lado. Agora cuidado, se um ímã for serrado no meio, entre o pólo norte e pólo sul, não vamos ter 2 ímãs, sendo um



¹⁵ Imagem disponível em: <https://spinox.com.br/aco-inox-304-pega-ima/>. Acesso em 20 de Setembro de 2024.

somente norte e outro somente sul, pois cada metade se rearranja, de tal forma que vamos possuir 2 novos ímãs menores, cada um com seu pólo norte e sul respectivo, como mostra a figura abaixo.



Alguns planetas podem possuir um magnetismo associado, como é o caso do planeta Terra, devido ao fato do núcleo do planeta ser muito rico em ferro e níquel. Esse é o motivo pelo qual os ímãs são divididos em norte e sul: em meados do século I d.C. os chineses perceberam que alguns metais, quando apoiados por algo fino (agulha), ou quando colocados na água parada, apontavam sempre para o norte, essa tecnologia deu início ao objeto que conhecemos hoje como bússola, como mostra a imagem¹⁶ ao lado. Por muitos séculos a bússola serviu como guia para os navegantes saberem em qual direção seguir e se orientarem pelas chamadas cartas náuticas (mapas). Logo, podemos dizer que moramos em um imenso ímã.



3.2. PROPRIEDADES

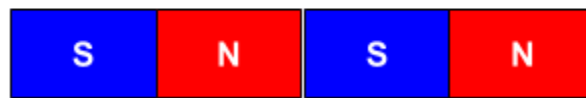
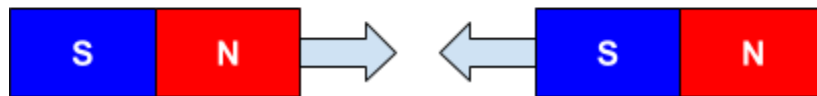
Em algum momento de nossas vidas pegamos algum ímã nas mãos, por exemplo, ímã de geladeira. Quando colocamos dois ímãs perto um do outro, percebemos que de um lado ele atrai e do outro existe alguma força “invisível” que nunca deixa um encostar no outro. Isso tem a ver com a polaridade dos ímãs, vale

¹⁶ Disponível em: <https://museuweg.net/blog/a-origem-da-bussola/>. Acesso em 30 de Agosto de 2024.

lembrar que a polaridade é norte ou sul. Por princípios físicos, o que ocorre é que pólos opostos se atraem (norte com sul) e pólos iguais se repelem (norte com norte e sul com sul), como pode ser visto na imagem a seguir.

ATRAÇÃO

Norte com Sul ou Sul com Norte



REPULSÃO

Norte com Norte

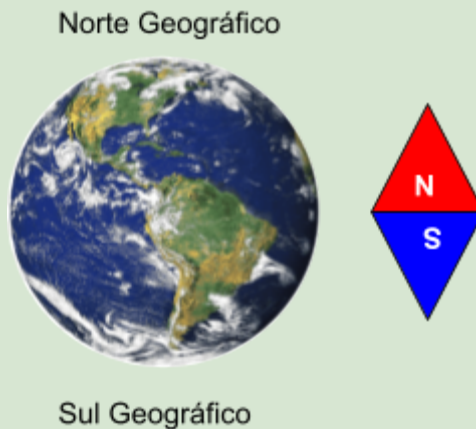


Sul com Sul



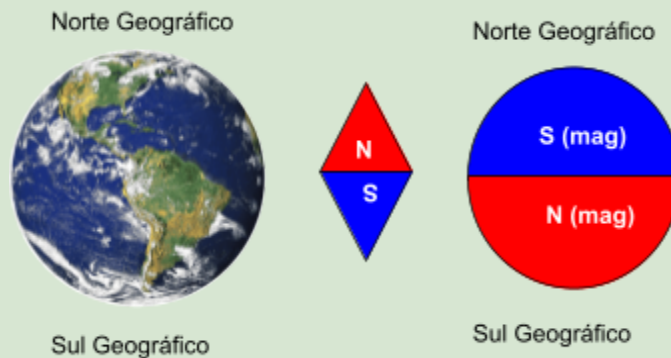
Se estamos então falando que ímãs podem se atrair ou se repelir, então a primeira coisa que poderíamos nos questionar é: mas o que é essa atração ou repulsão? Simples, é chamada de força magnética e vai depender do tipo de ímã ao qual estamos lidando.

Exemplo: O Norte magnético da bússola aponta para o norte geográfico do planeta Terra, assim como o Sul magnético aponta para o sul geográfico, como mostra a figura abaixo.



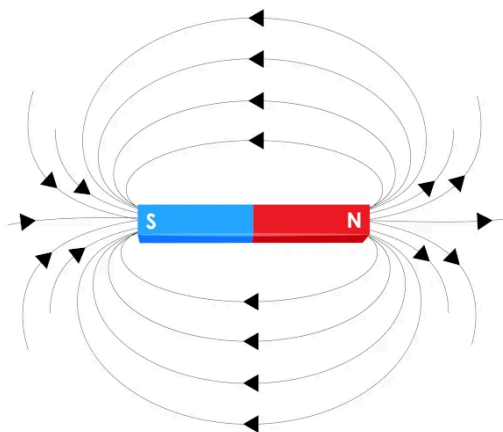
Sabendo disso, e utilizando as propriedades de atração e repulsão magnética, como é o norte e sul magnético do planeta Terra?

Resposta: Lembre que pólos magnéticos opostos se atraem e pólos iguais se repelem, logo o norte magnético da bússola aponta para o sul magnético da Terra, pois o norte magnético somente atrai o sul magnético. Em um desenho esquemático, ficaria:

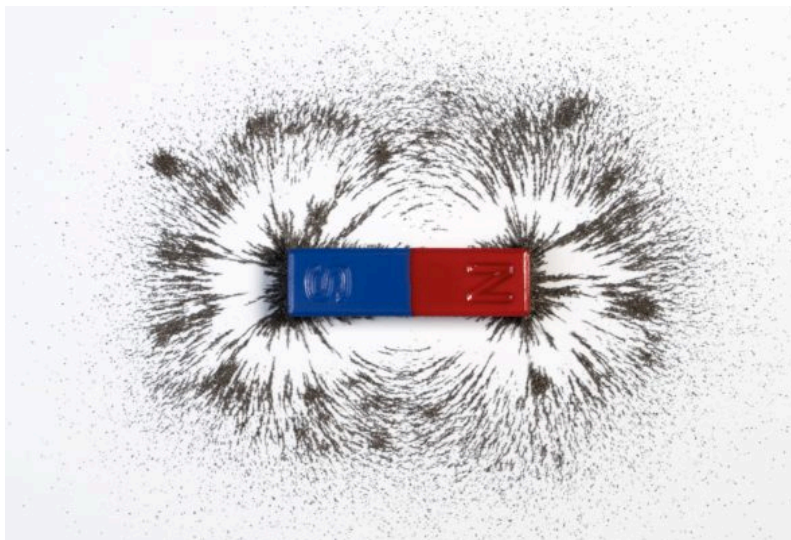


O exemplo acima nos mostra que no caso do planeta Terra, o **Norte geográfico** fica no mesmo ponto que o **Sul magnético**, enquanto que o **Sul geográfico** fica no mesmo ponto que o **Norte magnético**.

Uma outra propriedade bem importante é o chamado campo magnético. Vale lembrar que no capítulo de eletrostática falamos sobre os campos elétricos de cargas pontuais. Assim como as cargas, os ímãs vão possuir o chamado campo magnético, como pode ser visto na figura¹⁷ ao lado. Note que, pelas setas, o pólo norte tem a tendência de expulsar, enquanto que o sul tem a tendência de atrair. O campo magnético é denotado por B , então sempre que estivermos falando do campo B , então estamos falando de campo magnético.



Um experimento bem legal para detectar o campo magnético B , é usar ferro em pó (limalha de ferro): o ferro em pó vai sempre se alinhar às linhas de campo nas proximidades do ímã, como mostra a figura¹⁸ abaixo.

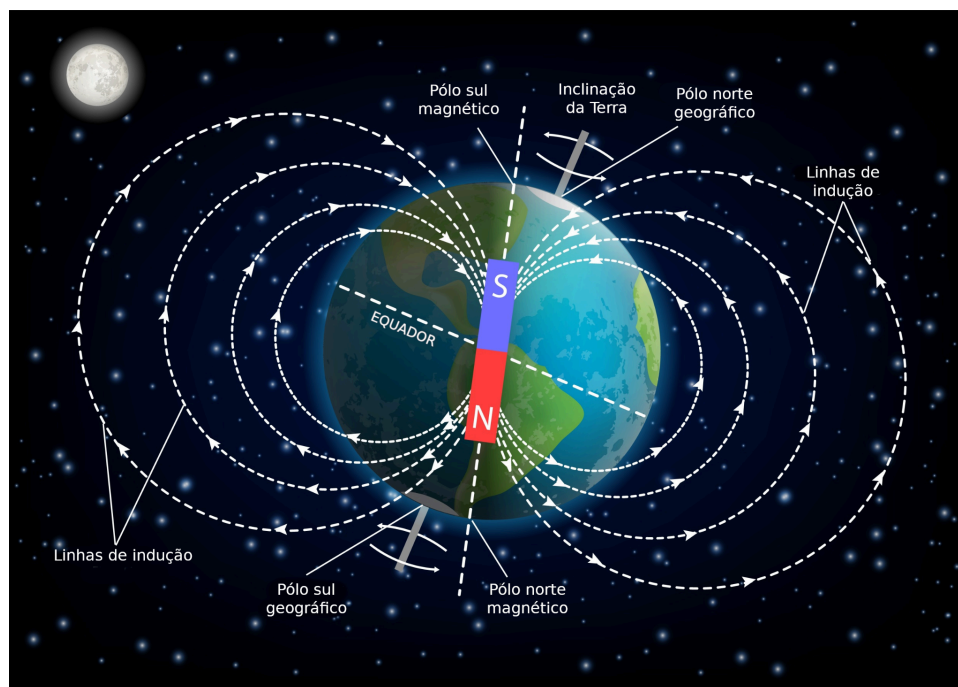


¹⁷ Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/campo-magnetico.htm>. Acesso em 4 de Julho de 2024.

¹⁸ Disponível em: <https://professorpinguim.com.br/blog/tudo-sobre-campo-magnetico-de-ima-exercicios-resolvidos/>. Acesso em 04 de Julho de 2024.

Note que em regiões mais longes do ímã a limalha de ferro não se alinha, pois o campo magnético passa a ser muito fraco nessas regiões, isso vai depender do quão intenso o ímã ao qual estamos utilizando vai ser: ímãs muito intensos vão provocar campos muito intensos.

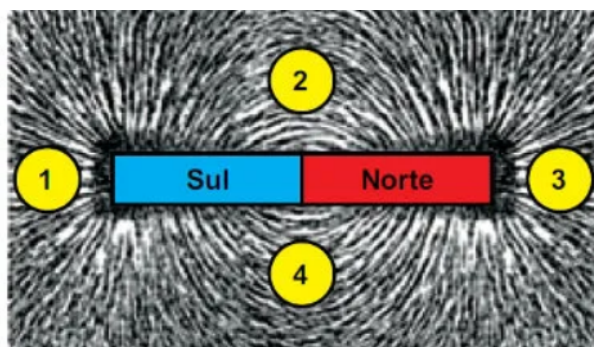
Lembra que falamos que o planeta Terra possui um magnetismo associado? Se possui tal magnetismo, então o planeta Terra possui um campo magnético. Esse campo magnético é muito intenso, e é por isso que as bússolas se alinham no sentido norte-sul, pois o que ocorre é que a agulha da bússola se alinha com o campo magnético da Terra, como mostra a figura¹⁹ abaixo.



Exercícios

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

¹⁹ Disponível em: https://www.infoescola.com/fisica/campo-magnetico-da-terra/#google_vignette. Acesso em 4 de Julho de 2024.



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

2) Sobre magnetismo, analise as afirmações:

I - Os polos opostos se atraem e os polos iguais se repelem.

II - Todo material magnético é um ímã permanente.

III - Linhas de campo magnético se originam nos polos sul e terminam nos polos nortes.

IV - O campo magnético terrestre é aproximadamente um dipolo, com um polo norte e um polo sul.

Assinale a alternativa que classifica, em ordem, cada afirmação como verdadeira (V) ou falsa (F) e explique o erro da alternativa falsa..

a) V - F - F - V

b) F - V - V - F

c) V - F - V - F

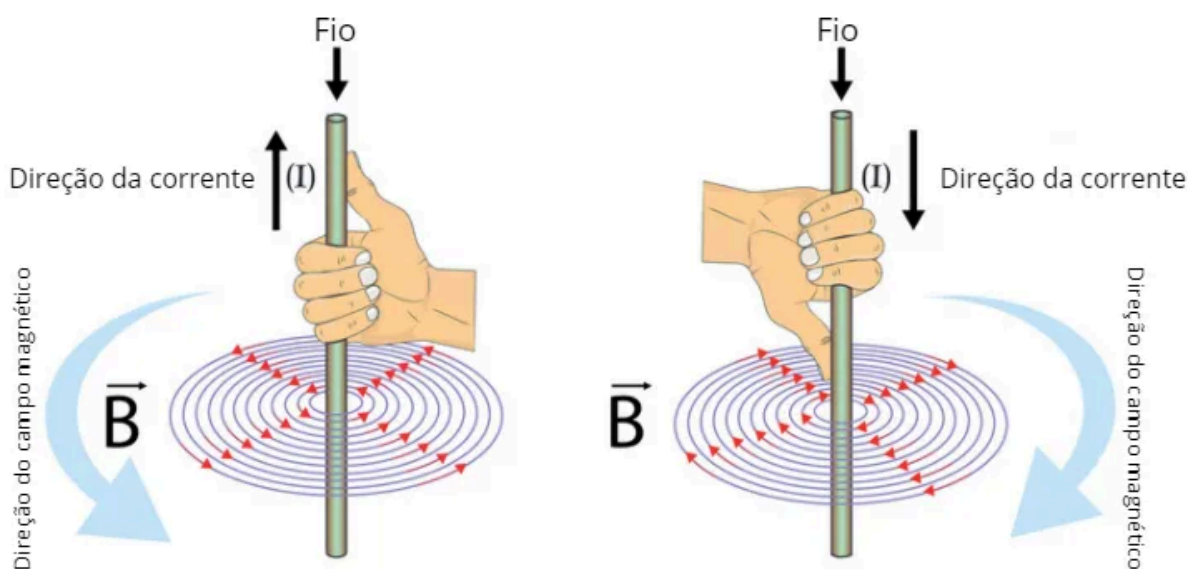
d) F - V - F - V

e) F - F - V - V

3.3. MAGNETISMO E ELETRICIDADE

Durante muito tempo, os cientistas achavam que fenômenos elétricos e fenômenos magnéticos eram coisas distintas. Em meados do século XIX, um cientista chamado James Clerk Maxwell, através de diversas pesquisas, conseguiu unificar as ideias vigentes da época, ou seja, ele unificou a eletricidade e o magnetismo em uma ideia só, o então chamado eletromagnetismo.

Então basicamente o que ocorre é que uma corrente elétrica, ao passar em um condutor, fios de cobre por exemplo, gera um campo magnético. Essa é chamada de regra da mão direita, como mostra a figura²⁰ abaixo.



Vale lembrar que corrente elétrica são cargas elétricas em movimento. Isso é bastante utilizado na indústria, como por exemplo os eletroímãs presentes em docas, portos ou até mesmo em fechaduras de portões em condomínios, como mostrado na figura²¹ ao lado.

Se o campo magnético só existe por causa da corrente e vai diminuindo de intensidade de acordo com a distância, então



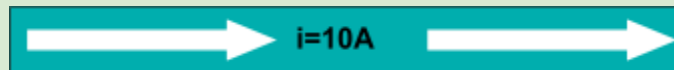
²⁰ Disponível em: <https://brainly.com.br/tarefa/54296105>. Acesso em 10 de Novembro de 2024.

²¹ Disponível em: <https://www.tudoforte.com.br/fechadura-eletoima-universal-magnetica-intelbras-fe-20150-s/sensor>

é de se esperar que o campo depende da intensidade da corrente i e da distância D , logo, sua intensidade pode ser calculado através da fórmula²²:

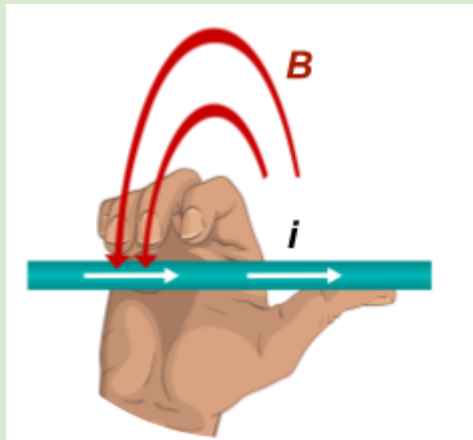
$$B \propto \frac{i}{D} \cdot 10^{-7}$$

Exemplo: Uma corrente de 10 ampéres atravessa um fio de cobre, ao qual se encontra na diagonal, conforme mostra a figura abaixo.



De acordo com a regra da mão direita, como fica o campo magnético?

Resposta: De acordo com a regra da mão direita o campo é da forma²³:



Exemplo: Uma corrente de 20 ampéres atravessa um condutor elétrico. Calcule a intensidade do campo magnético em uma distância $D=0,2\text{m}$ e em outra $D=0,4\text{m}$.

Resposta: Como $B \propto \frac{i}{D} \cdot 10^{-7}$, $i=20\text{A}$, para $D=0,2\text{m}$, então, $B \propto \frac{20}{0,2} \cdot 10^{-7}$, $B \propto 100 \cdot 10^{-7} \text{T}$, $B \propto 10^{-5} \text{T}$. Para $D=0,4\text{m}$, $B \propto \frac{20}{0,4} \cdot 10^{-7}$, $B \propto 50 \cdot 10^{-7} \text{T}$, $B \propto 5 \cdot 10^{-6} \text{T}$.

²² Para facilitação do aprendizado dos alunos da EJA, vamos ocultar as variáveis μ_0 (índice de permeabilidade elétrica no vácuo) e 2π e deixarmos a intensidade do campo em termos proporcionais a corrente e distância.

²³ Disponível em: <https://materialpublic.imd.ufrn.br/curso/disciplina/1/58/1/10>. Acesso em 12 de Novembro de 2024.

Exemplo: Uma corrente de 2 ampéres atravessa um fio de cobre, ao qual se encontra na horizontal, conforme mostra a figura abaixo.



1) Calcule a intensidade do campo magnético em:

- a) 0,1m;
- b) 1m;
- c) 2m;

2) Usando a regra da mão direita, como fica o campo magnético?

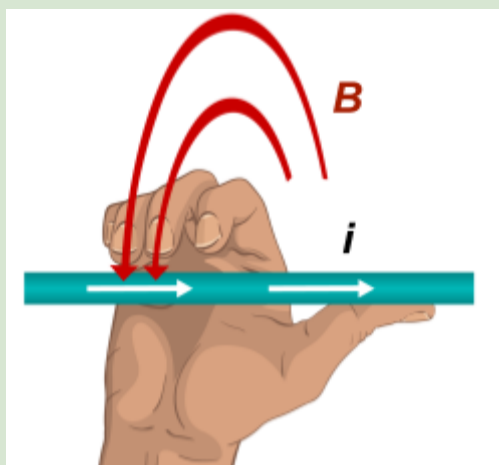
Resposta: Como $B \propto \frac{i}{D} \cdot 10^{-7}$,

1-a) Como $i=2A$, $D=0,1m$, então, $B \propto \frac{2}{0,1} \cdot 10^{-7}$, $B \propto 20 \cdot 10^{-7} T$, $B \propto 2 \cdot 10^{-6} T$

1-b) Como $i=2A$, $D=1m$, então, $B \propto \frac{2}{1} \cdot 10^{-7}$, $B \propto 2 \cdot 10^{-7} T$

1-c) Como $i=2A$, $D=2m$, então, $B \propto \frac{2}{2} \cdot 10^{-7}$, $B \propto 1 \cdot 10^{-7} T$

2) Usando a regra da mão direita:



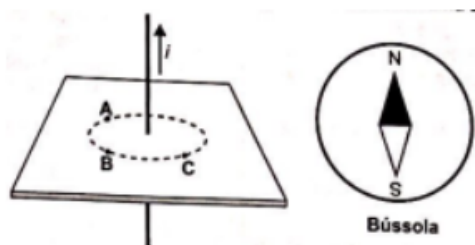
Exercícios

1) Uma corrente atravessa um fio como mostra abaixo. Desenhe o campo magnético B.



2) Em fios caseiros é muito comum usar corrente de 10A ou 20A. Para cada caso, calcule o valor da intensidade do campo magnético, considerando um ponto a 0,01m de cada fio.

3) (ENEM-Modificado) O físico Hans C. Oersted observou que um fio transportando corrente elétrica produz um campo magnético. A presença do campo magnético foi verificada ao aproximar uma bússola de um fio conduzindo corrente elétrica. A figura ilustra um fio percorrido por uma corrente elétrica i , constante e com sentido para cima. Os pontos A, B e C estão num plano transversal e equidistantes do fio. Em cada ponto foi colocada uma bússola.



Utilizando das ideias da regra da mão direita, como ficaria a bússola nos pontos A, B e C?

BIBLIOGRAFIA

DOCA, R. H. BISCUOLA, G. J. VILLAS BÔAS, N. **Tópicos de Física: Volume 3**. São Paulo: Saraiva, 1997;

HEWITT, P. G. **Física Conceitual**, 12^o edição. Porto Alegre: Bookman, 2015;

NUSSENZVEIG, H. MOYSÉS. **Curso de Física Básica: Eletricidade (Volume 3)**, 2^a Edição. São Paulo: Blucher, 2015.

KNIGHT, Randall D. **Física - Uma abordagem estratégica-Volume 3**, 2^a Edição. Porto Alegre: Bookman, 2009.