

Mauro Noriaki Takeda



Eletrotécnica Geral

Revisada por Mauro N. Takeda

APRESENTAÇÃO

É com satisfação que a Unisa Digital oferece a você, aluno(a), esta apostila de *Eletrotécnica Geral*, parte integrante de um conjunto de materiais de pesquisa voltado ao aprendizado dinâmico e autônomo que a educação a distância exige. O principal objetivo desta apostila é propiciar aos(as) alunos(as) uma apresentação do conteúdo básico da disciplina.

A Unisa Digital oferece outras formas de solidificar seu aprendizado, por meio de recursos multidisciplinares, como *chats*, fóruns, aulas *web*, material de apoio e *e-mail*.

Para enriquecer o seu aprendizado, você ainda pode contar com a Biblioteca Virtual: www.unisa.br, a Biblioteca Central da Unisa, juntamente às bibliotecas setoriais, que fornecem acervo digital e impresso, bem como acesso a redes de informação e documentação.

Nesse contexto, os recursos disponíveis e necessários para apoiá-lo(a) no seu estudo são o suplemento que a Unisa Digital oferece, tornando seu aprendizado eficiente e prazeroso, concorrendo para uma formação completa, na qual o conteúdo aprendido influencia sua vida profissional e pessoal.

A Unisa Digital é assim para você: Universidade a qualquer hora e em qualquer lugar!

Unisa Digital

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| INTRODUÇÃO..... | 5 |
| 1 CARGA ELÉTRICA E CAMPO ELÉTRICO..... | 7 |
| 1.1 Eletrostática | 7 |
| 1.2 Carga Elétrica Elementar (E) | 8 |
| 1.3 Condutores e Isolantes | 9 |
| 1.4 Eletrização por Atrito..... | 9 |
| 1.5 Eletrização por Contato..... | 10 |
| 1.6 Eletrização por Indução | 11 |
| 1.7 Exercícios Resolvidos..... | 12 |
| 1.8 Lei de Coulomb | 13 |
| 1.9 Exercícios Resolvidos..... | 15 |
| 1.10 Campo Elétrico..... | 18 |
| 1.11 Exercício Resolvido | 19 |
| 1.12 Campo Elétrico Uniforme | 20 |
| 1.13 Exercício Resolvido | 20 |
| 1.14 Resumo do Capítulo | 21 |
| 1.15 Atividades Propostas | 21 |
| 2 POTENCIAL ELÉTRICO..... | 25 |
| 2.1 Energia Potencial Elétrica | 25 |
| 2.2 Potencial Elétrico | 25 |
| 2.3 Diferença de Potencial..... | 26 |
| 2.4 Exercício Resolvido | 26 |
| 2.5 Resumo do Capítulo | 27 |
| 2.6 Atividades Propostas..... | 27 |
| 3 CAPACITÂNCIA..... | 29 |
| 3.1 Capacidade de um Condutor..... | 29 |
| 3.2 Equilíbrio Elétrico entre Condutores..... | 30 |
| 3.3 Exercício Resolvido | 30 |
| 3.4 Resumo do Capítulo | 31 |
| 3.5 Atividades Propostas..... | 31 |
| 4 CORRENTE ELÉTRICA E RESISTÊNCIA ELÉTRICA | 33 |
| 4.1 Corrente Elétrica..... | 33 |
| 4.2 Tipos de Corrente Elétrica..... | 35 |
| 4.3 Exercício Resolvido | 35 |
| 4.4 Resistor | 36 |
| 4.5 Resistência Elétrica..... | 36 |
| 4.6 Primeira Lei de OHM | 37 |
| 4.7 Segunda Lei de OHM | 38 |
| 4.8 Exercícios Resolvidos..... | 38 |

| | |
|--|-----------|
| 4.9 Resumo do Capítulo | 39 |
| 4.10 Atividades Propostas | 40 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 41 |
| RESPOSTAS COMENTADAS DAS ATIVIDADES PROPOSTAS | 43 |
| REFERÊNCIAS | 51 |

INTRODUÇÃO

Caro(a) aluno(a),

Esta apostila destina-se a estudantes de graduação para os cursos de Engenharia Ambiental, Engenharia de Produção ou afins, para acompanhamento do conteúdo de Eletrotécnica Geral, nos cursos a distância.

Nela, você lerá a respeito de assuntos referentes à eletricidade, com ênfase em carga elétrica, campo elétrico, potencial elétrico, capacitores e dielétricos, corrente elétrica e resistência elétrica.

Com o intuito de simplificar a exposição dos tópicos abordados, procurou-se, através de uma linguagem simples, clara e direta, expor o conteúdo de forma sucinta e objetiva. Em todos os capítulos, são apresentadas questões resolvidas para auxiliar na compreensão do conteúdo teórico e orientar a resolução dos exercícios propostos. Para complementar a teoria e auxiliar na fixação do conteúdo apresentado, são propostos, ao final de cada tópico abordado, vários exercícios com grau de dificuldade gradativo.

Espera-se que os alunos tenham facilidade na compreensão do texto apresentado, bem como na realização dos exercícios propostos.

Finalmente, desejamos que faça um excelente módulo, que estude bastante e aprofunde seu conhecimento consultando as referências indicadas no final da apostila.

Mauro Noriaki Takeda

1.1 Eletrostática

Você já ouviu falar de carga elétrica ou eletricidade estática?

É sobre esses assuntos que vamos tratar agora, sendo que a eletrostática é a parte da Eletricidade que estuda as propriedades e a ação mútua das cargas elétricas em repouso.

Os primeiros estudos a respeito da eletrostática foram feitos pelo filósofo grego Tales, da cidade de Mileto, mais ou menos no ano 600 a.C. Tales observou que, ao fazer o atrito do âmbar (resina fóssil de coloração amarelada) com outros corpos, o âmbar adquire a propriedade de atrair corpos leves, como pedacinhos de palha e sementes pequenas que se encontram em sua proximidade.



Essa propriedade de atrair os corpos é caracterizada por uma grandeza denominada *carga elétrica*. Nesse caso, dizemos que o âmbar adquiriu carga elétrica ou ficou eletrizado.

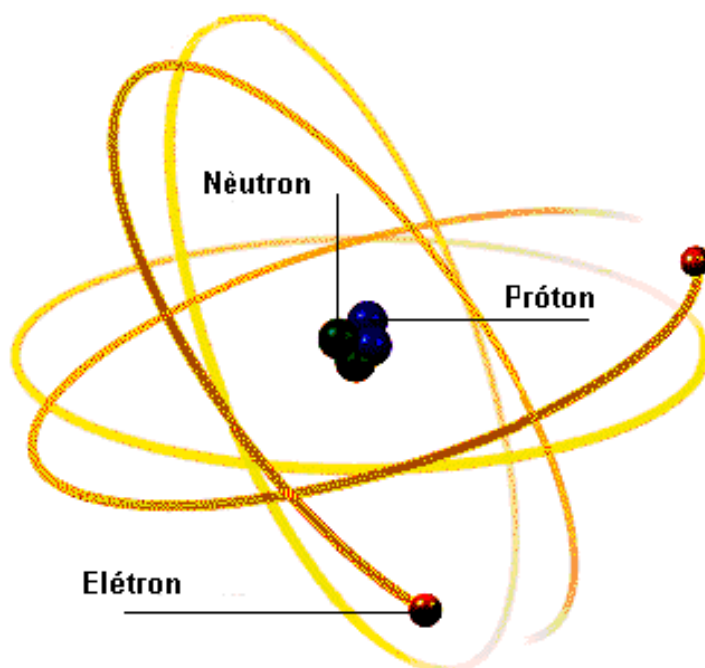
Após esse estudo feito por Tales, somente no século XVI, William Gilbert descobriu que outros corpos, quando atritados, adquirem a propriedade de atrair corpos leves, como ocorre com o âmbar.

Como o âmbar, em grego, chama-se *eléktron*, Gilbert utilizou o termo “eletrizado” para indicar que esses corpos estavam se comportando como o âmbar e “fenômeno elétrico” para o fenômeno do surgimento dessa propriedade que aparece quando os corpos são atritados, originando o termo “eletricidade”, que é utilizado até hoje.

Foi convenicionado que um bastão de vidro, quando atritado com um pano de lã, fica com carga elétrica positiva e a lã, com carga elétrica negativa.

Hoje, a explicação para o processo pelo qual os corpos eletrizam-se é baseada no fato de que todos os corpos são constituídos de átomos. O átomo apresenta uma parte central, chamada *núcleo*, onde temos as partículas chamadas *prótons*, que apresentam carga elétrica positiva, e os *nêutrons*, que não apresentam carga elétrica. Ao redor do núcleo, na região chamada eletrosfera, temos as partículas chamadas *elétrons*, que apresentam carga elétrica negativa.

Átomo – Modelo de Bohr



Normalmente, o átomo tem quantidades iguais de prótons no núcleo e de elétrons ao seu redor, ou seja, a mesma quantidade de cargas positivas e negativas; portanto, o átomo é eletricamente neutro.

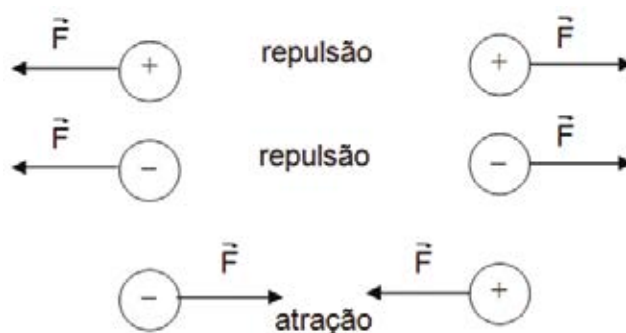
Atenção

Prótons apresentam carga elétrica positiva e *elétrons* apresentam carga elétrica negativa.

Quando o corpo encontra-se eletrizado, significa que há um desequilíbrio na quantidade de prótons e elétrons, ou seja, possui excesso ou falta de elétrons. O corpo está eletrizado negativamente quando há excesso de elétrons, significando que foram acrescentados elétrons ao corpo.

Quando há falta de elétrons, significa que foram retirados elétrons do corpo, deixando o corpo eletrizado positivamente.

Ao aproximarmos dois corpos eletrizados com cargas elétricas de mesmo sinal, eles repelem-se e, quando eletrizados com cargas elétricas de sinais opostos, eles atraem-se.



1.2 Carga Elétrica Elementar (E)

A menor carga elétrica conhecida atualmente é a carga do elétron, ou a do próton, conhecida como carga elementar e representada pela letra "e". As cargas do elétron e do próton são iguais em valor absoluto e sua intensidade é:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Portanto, para o elétron, que tem carga elétrica negativa, sua intensidade será $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ e, para o próton, que tem

carga elétrica positiva, sua intensidade será $e = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

1.3 Condutores e Isolantes

Os metais, em geral, são bons condutores de eletricidade, pois apresentam os chamados elétrons livres, que são os elétrons que se encontram mais afastados do núcleo e libertam-se facilmente das últimas camadas do átomo, movimentando-se livremente pelo material e facilitando o movimento de cargas elétricas. Os materiais capazes de conduzir a eletricidade são chamados condutores.

A unidade de carga elétrica no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o *Coulomb*, representado pela letra C.

Isolantes de eletricidade ou **dielétricos** são os materiais que apresentam os elétrons fortemente ligados ao núcleo do átomo, dificultando o movimento de cargas elétricas. Como exemplos, temos a borracha, o vidro e a mica.

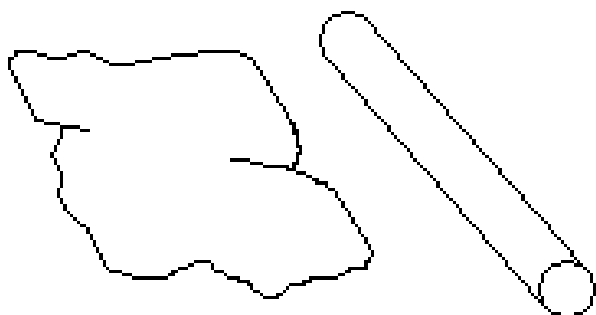
Dicionário

Dielétrico: é a substância que não conduz ou conduz muito mal a corrente elétrica; isolador de eletricidade.

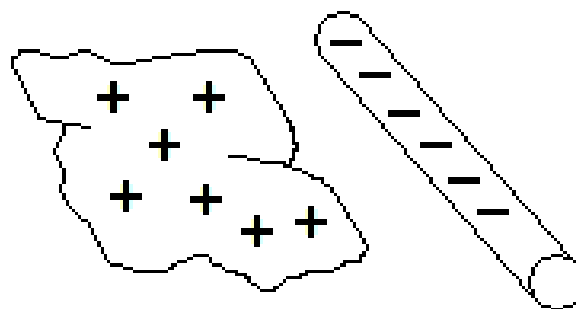
1.4 Eletrização por Atrito

Quando dois corpos neutros são atritados, pode ocorrer a transferência de elétrons de um corpo para o outro, isto é, um dos corpos perde elétrons, ficando com falta de elétrons, e o outro ganha esses elétrons, ficando com excesso de elétrons. Nesse caso, dizemos que os corpos ficaram eletrizados, ou seja, os corpos passam a manifestar propriedades elétricas.

Corpos neutros antes do atrito



Corpos eletrizados após o atrito



Na eletrização por atrito, os corpos ficam carregados com cargas de sinais contrários, porém com a mesma quantidade de carga.

A tabela a seguir é chamada série triboelétrica e mostra a tendência de alguns elementos ganharem ou perderem elétrons de acordo com os elementos que estão sofrendo atrito.



Quando dois elementos da tabela são atritados, o elemento que se encontra acima perde elétrons e o que se encontra abaixo ganha elétrons. Por exemplo, se for feito o atrito entre o vidro e o algodão, o vidro irá adquirir carga elétrica positiva e o algodão, carga elétrica negativa, enquanto que, se o atrito for entre o algodão e o âmbar, o algodão perde elétrons, ficando com carga positiva, e o âmbar fica com carga negativa.

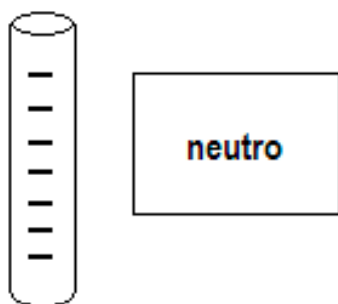
1.5 Eletrização por Contato

Quando um corpo eletrizado é colocado em contato com outro neutro, pode ocorrer a transferência de elétrons de um para o outro, fazendo com que o corpo neutro também fique eletrizado.

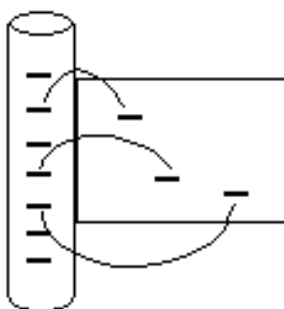
Considere um bastão de plástico eletrizado negativamente e uma chapa de cartolina neutra

que se encontram separados. Quando colocamos os dois corpos em contato, alguns elétrons que estão em excesso no bastão são transferidos para a chapa de cartolina neutra. Separando os corpos novamente, a chapa de cartolina fica eletrizada negativamente, devido aos elétrons que foram transferidos do bastão.

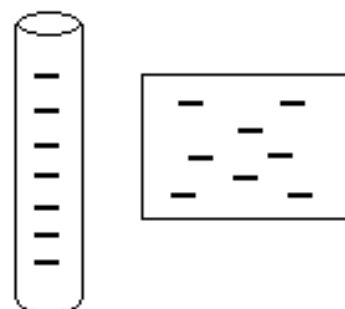
Corpos antes do contato



Corpos durante o contato



Corpos após o contato



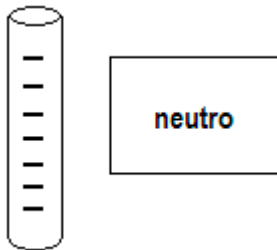
Após o contato, os corpos ficam eletrizados com cargas elétricas de mesmo sinal.

Se os corpos forem condutores e idênticos,

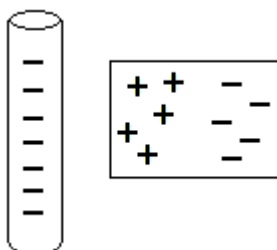
ou seja, se tiverem a mesma forma e mesmas dimensões e estiverem isolados, as cargas elétricas dos condutores após o contato serão iguais.

1.6 Eletrização por Indução

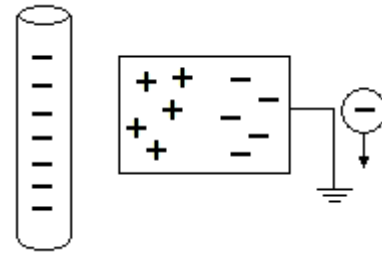
Considere um bastão de plástico eletrizado negativamente e uma chapa de cartolina neutra que se encontram separados. É possível eletrizar a chapa de cartolina sem o contato com o bastão, como no processo anterior, através do fenômeno denominado indução eletrostática, bastando aproximá-la do bastão.



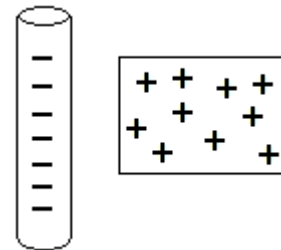
Aproximando o bastão eletrizado negativamente da chapa de cartolina, as cargas elétricas negativas da cartolina são repelidas para a extremidade oposta, fazendo as cargas elétricas da cartolina ficarem com uma distribuição diferente da inicial, ou seja, há uma concentração de cargas elétricas de um tipo em uma extremidade da chapa e de outro tipo na outra extremidade. Esse fenômeno é chamado indução eletrostática, o bastão é chamado indutor e a chapa de cartolina, induzido.



Fazendo a ligação da chapa com a terra, alguns elétrons irão escoar para a terra.



Em seguida, é feita a interrupção da ligação da chapa com a terra, fazendo com que a cartolina fique eletrizada positivamente.



Desse modo, consegue-se fazer um corpo que se encontra neutro ficar eletrizado sem que haja o contato com outro corpo.

Um corpo se encontra eletrizado quando apresenta excesso de elétrons ou falta de elétrons, que acarreta excesso de prótons. A quantidade de carga elétrica (Q) de um corpo que se encontra eletrizado pode ser determinada multiplicando-se a quantidade de partículas (elétrons ou prótons) em excesso no corpo pelo valor da carga elementar.

$$Q = n \cdot e$$

Na qual:

- Q = quantidade de carga elétrica do corpo;
- n = quantidade de partículas (elétrons ou prótons) em excesso no corpo;
- e = valor da carga elementar, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Quando o corpo apresenta excesso de elétrons, sua carga elétrica é negativa, pois o elétron apresenta carga negativa. e a intensidade da carga elementar é $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Quando o corpo apresenta excesso de prótons, sua carga elétrica é positiva, pois o próton apresenta carga positiva. e a intensidade da carga elementar é $e = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Saiba mais

Eletroscópios são instrumentos que servem para indicar a presença de corpos eletrizados e fazer investigação qualitativa de fenômenos elétricos.

1.7 Exercícios Resolvidos

1. Determine a quantidade de carga elétrica de um corpo eletrizado que apresenta $2 \cdot 10^{12}$ elétrons em excesso.

Resolução:

De acordo com o enunciado do problema, tem-se:

$$n = 2 \cdot 10^{12} \text{ elétrons}$$

Como o corpo apresenta excesso de elétrons, subentende-se que o valor da carga elementar é:

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

A quantidade de carga elétrica de um corpo é dada por:

$$Q = n \cdot e$$

Substituindo os valores fornecidos pelo problema, tem-se:

$$Q = 2 \cdot 10^{12} \cdot (-1,6 \cdot 10^{-19})$$

Como é uma multiplicação, primeiramente devem-se multiplicar os coeficientes das potências de 10, ou seja, $2 \cdot (-1,6) = -3,2$:

$$Q = 2 \cdot 10^{12} \cdot (-1,6 \cdot 10^{-19})$$

$$Q = -3,2 \cdot 10^{12} \cdot 10^{-19}$$

Em seguida, efetuar a multiplicação das potências de 10. Lembrando que, na multiplicação de potências de mesma base, conserva-se a base e somam-se os expoentes. Tem-se:

$$Q = -3,2 \cdot 10^{12+(-19)}$$

$$Q = -3,2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$$

2. Quantos prótons em excesso apresenta um corpo eletrizado com carga elétrica de 1 C?

Resolução:

De acordo com o enunciado do problema, tem-se:

$$Q = 1 \text{ C}$$

Como o corpo apresenta excesso de prótons, subentende-se que o valor da carga elementar é $e = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

A quantidade de carga elétrica de um corpo é dada por:

$$Q = n \cdot e$$

Substituindo os valores fornecidos pelo problema, tem-se:

$$1 = n \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$$

Isolando n na equação, tem-se:

$$n = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19}}$$

Como o numerador é igual a 1, pode-se escrever o numerador como $1 \cdot 10^0$, pois $10^0 = 1$, não alterando a igualdade, ficando:

$$n = \frac{1 \cdot 10^0}{1,6 \cdot 10^{-19}}$$

Primeiramente, efetua-se a divisão entre os coeficientes das potências de

10, ou seja, $\frac{1}{1,6} = 0,625$, ficando:

$$n = 0,625 \cdot \frac{10^0}{10^{-19}}$$

Em seguida, efetua-se a divisão entre as potências de base 10. Lembrando que, na divisão de potências de mesma base, conserva-se a base e subtraem-se os expoentes. Tem-se:

$$n = 0,625 \cdot 10^{0-(-19)}$$

$$n = 0,625 \cdot 10^{19} \text{ prótons}$$

ou

$$n = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ prótons}$$

Isso significa que, para um corpo adquirir a carga elétrica de 1 C, é necessário que ele tenha $6,25 \cdot 10^{18}$ partículas (prótons ou elétrons) em excesso. A carga elétrica de 1 C é muito grande, portanto, é comum utilizar os submúltiplos do Coulomb, que são:

$$\underline{1 \text{ mC}} = 10^{-3} \text{ C}$$



Lê-se: 1 mili Coulomb

$$\underline{1 \mu\text{C}} = 10^{-6} \text{ C}$$



Lê-se: 1 micro Coulomb

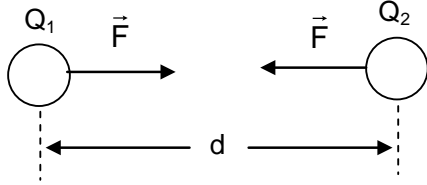
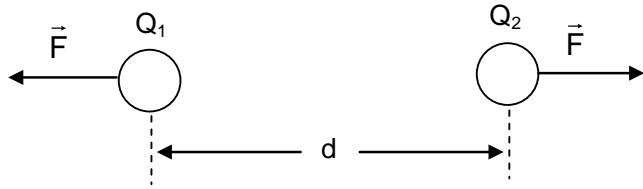
1.8 Lei de Coulomb

Você viu que, ao aproximarmos dois corpos de cargas elétricas puntiformes (cargas que apresentam dimensões desprezíveis em relação à distância que as separa de outra carga) de mesmo sinal, eles repelem-se e, quando eletrizados com cargas elétricas de sinais opostos, eles se atraem. Você sabia que isso se deve à ação de forças de natureza elétrica sobre eles?

Charles Augustin de Coulomb determinou experimentalmente, em 1785, o valor dessa força elétrica de atração ou repulsão através da balança

de torção, obtendo também a lei que a descreve.

Analisando as mais diversas situações, chegou à conclusão que a força de interação entre duas cargas elétricas puntiformes é diretamente proporcional ao produto dos valores absolutos das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa.



$$\vec{F}_{12} \propto \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d_{12}^2}$$

Podemos associar ao segmento de reta d_{12} um vetor \hat{e}_{12} , que dará sua direção e sentido.

$$\vec{F}_{12} \propto \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d_{12}^2} \hat{e}_{12}$$

Podemos escrever a expressão na forma de uma igualdade, introduzindo o valor da constante de proporcionalidade $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, logo:

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d_{12}^2} \hat{e}_{12}$$

Na qual, ϵ_0 é chamado permissividade elétrica do vácuo, sendo seu valor:

$$\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

Desse modo:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \approx 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

Generalizando para n+1 cargas no vácuo, a força numa carga i-ésima será:

$$\vec{F}_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \sum_{j=1}^n \frac{Q_i \cdot Q_j}{d_{ij}^2} \hat{e}_{ij}$$

Chamando $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = k_0$, a Lei de Coulomb pode ser escrita como:

$$F = k_0 \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$$

Na qual:

- F é a força de interação entre as cargas elétricas;
- Q_1 e Q_2 são as cargas elétricas;
- d é a distância entre as cargas;
- k_0 é a constante eletrostática do vácuo.

A constante eletrostática do vácuo vale

$$k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

Na expressão anterior, os sinais de Q_1 e Q_2 indicam apenas se a força é de atração ou de repulsão, portanto, são tomados em valor absoluto.

1.9 Exercícios Resolvidos

1. Duas cargas puntiformes, $Q_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ e $Q_2 = -7 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, no vácuo, estão separadas por uma distância de 30 cm. Determine a força elétrica entre elas.

Dado $k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$.

Resolução:

Os dados fornecidos pelo problema são:

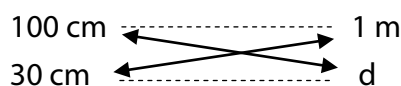
$$Q_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$Q_2 = -7 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$d = 30 \text{ cm}$$

$$k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

Como a distância foi fornecida em centímetros (cm), devemos passar a distância para metros (m). Essa conversão pode ser feita utilizando a seguinte relação:



$$100 \text{ cm} \quad \longleftrightarrow \quad 1 \text{ m}$$

$$30 \text{ cm} \quad \longleftrightarrow \quad d$$

$$100 \cdot d = 30 \cdot 1$$

$$d = \frac{30}{100}$$

Portanto, a distância é:
 $d = 0,3 \text{ m}$

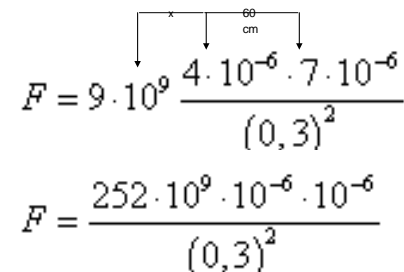
De acordo com a Lei de Coulomb, a força elétrica é dada por:

$$F = k_0 \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$$

Substituindo os valores fornecidos, temos:

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 7 \cdot 10^{-6}}{(0,3)^2}$$

Primeiramente, devem-se multiplicar os coeficientes das potências de 10, ou seja, $9 \cdot 4 \cdot 7 = 252$:



$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 7 \cdot 10^{-6}}{(0,3)^2}$$

$$F = \frac{252 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6}}{(0,3)^2}$$

Em seguida, efetuar a multiplicação das potências de 10. Lembrando que, na multiplicação de potências de mesma base, conserva-se a base e somam-se os expoentes.

Tem-se:

$$F = \frac{252 \cdot 10^{9+(-6)+(-6)}}{(0,3)^2}$$

Calculando $(0,3)^2$, temos:

$$F = \frac{252 \cdot 10^{-3}}{0,09}$$

Efetuada a divisão $\frac{252}{0,09} = 2800$, fica:

$$F = 2800 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Ou

$$F = 2,8 \text{ N}$$

Como os sinais das cargas são diferentes, a força é de atração e tem intensidade $F = 2,8 \text{ N}$.

2. Duas cargas puntiformes,

$$Q_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C} \text{ e } Q_2 = 8 \cdot 10^{-6} \text{ C},$$

estão fixadas nos pontos A e B e distantes entre si 30 cm, no vácuo. Sendo

a constante eletrostática do vácuo

$$k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2},$$

determine a intensidade da força elétrica resultante sobre

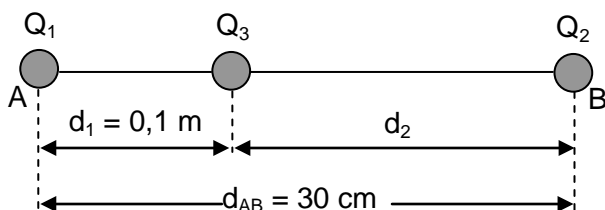
uma carga $Q_3 = -2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, colocada

a 0,1 m de A, sobre o segmento AB que

une as duas cargas.

Resolução:

O esquema da situação é:



Os dados fornecidos pelo problema são:

$$Q_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$Q_2 = 8 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$Q_3 = -2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$$

$$d_{AB} = 30 \text{ cm}$$

$$d_1 = 0,1 \text{ m}$$

Como a distância d_{AB} foi dada em centímetros, devemos passar para metros, portanto, $d_{AB} = 0,3 \text{ m}$.

A distância d_2 será $0,3 - 0,1$, portanto, $d_2 = 0,2 \text{ m}$.

A carga Q_3 sofre a ação de duas forças: a força exercida por Q_1 sobre Q_3 , que vamos chamar de F_{13} (lê-se: F, um, três), e a força exercida por Q_2 sobre Q_3 , que vamos chamar de F_{23} (lê-se: F, dois, três). Inicialmente, vamos calcular a força F_{13} . Aplicando a Lei de Coulomb, temos:

$$F_{13} = k_0 \frac{|Q_1| \cdot |Q_3|}{d_1^2}$$

Substituindo os valores fornecidos, temos:

$$F_{13} = 9 \cdot 10^9 \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{(0,1)^2}$$

Multiplicando-se os coeficientes das potências de 10, ou seja, $9 \cdot 4 \cdot 2 = 72$, temos:

$$F_{13} = \frac{72 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6}}{(0,1)^2}$$

Efetuada-se a multiplicação das potências de 10 e calculando $(0,1)^2$, temos:

$$F_{13} = \frac{72 \cdot 10^{-3}}{0,01}$$

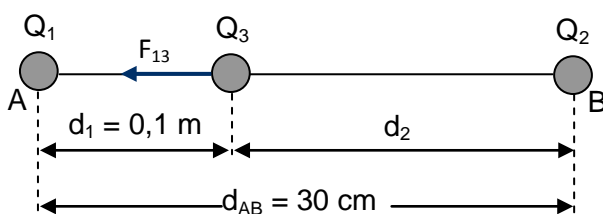
Efetuada a divisão $\frac{72}{0,01} = 7200$, fica:

$$F_{13} = 7200 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Ou

$$F_{13} = 7,2 \text{ N}$$

Como os sinais das cargas são diferentes, a força é de atração, ou seja, a carga Q_1 atrai a carga Q_3 , com intensidade $F_{13} = 7,2 \text{ N}$.



Calculando a força F_{23} , aplicando a Lei de Coulomb, temos:

$$F_{23} = k_0 \frac{|Q_2| \cdot |Q_3|}{d_2^2}$$

Substituindo os valores fornecidos, temos:

$$F_{23} = 9 \cdot 10^9 \frac{8 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{(0,2)^2}$$

Multiplicando-se os coeficientes das potências de 10, ou seja, $9 \cdot 8 \cdot 2 = 144$, temos:

$$F_{23} = \frac{144 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-6}}{(0,2)^2}$$

Efetuada-se a multiplicação das potências de 10 e calculando $(0,2)^2$, temos:

$$F_{23} = \frac{144 \cdot 10^{-3}}{0,04}$$

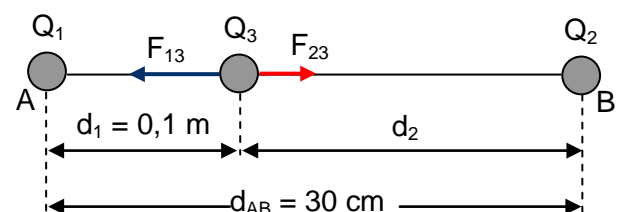
Efetuada a divisão $\frac{144}{0,04} = 3600$, fica:

$$F_{23} = 3600 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Ou

$$F_{23} = 3,6 \text{ N}$$

Como os sinais das cargas são diferentes, a força é de atração, ou seja, a carga Q_2 atrai a carga Q_3 , com intensidade $F_{23} = 3,6 \text{ N}$.



Como as forças F_{13} e F_{23} têm sentidos opostos, a força resultante F_R sobre a carga Q_3 será:

$$F_R = F_{13} - F_{23}$$

$$F_R = 7,2 - 3,6$$

$$F_R = 3,6 \text{ N}$$

1.10 Campo Elétrico

Uma carga Q , no espaço, produz ao seu redor um campo elétrico. Outra carga q , chamada carga de prova, ao ser colocada a uma determinada distância de Q dentro do campo elétrico, sofrerá a ação de uma força de atração ou de repulsão.

Se colocarmos uma carga de prova q num ponto do espaço e esta sofrer a ação de uma força \vec{F} , a intensidade do vetor campo elétrico \vec{E} é a grandeza definida por:

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

De acordo com a Lei de Coulomb, temos:

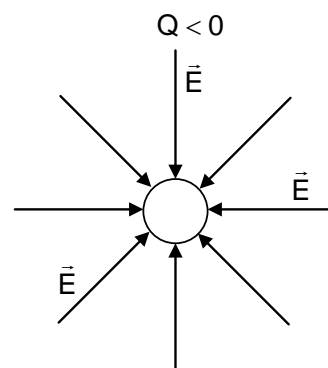
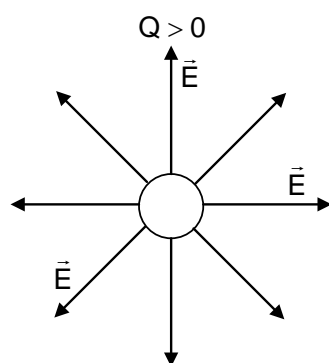
$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2}$$

Mas $\vec{F} = \vec{E} \cdot q$, portanto:

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

Simplificando q em ambos os lados da igualdade, temos:

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



A unidade de campo elétrico no SI é o Newton por Coulomb $\left(\frac{N}{C}\right)$.

ou

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

Que fornece a intensidade do campo elétrico a uma distância d da carga Q .

Para o caso de \vec{E} ser produzido por n cargas puntiformes Q_1, Q_2, \dots, Q_n , o campo resultante \vec{E} em um dado ponto é a soma vetorial dos campos produzidos por cada carga, ou seja:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$

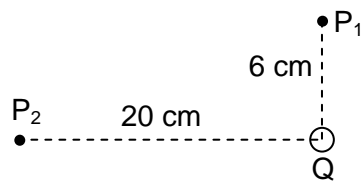
Que corresponde a:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{d_i^2} \hat{e}_i$$

Quando a carga Q que gera o campo elétrico é positiva, o vetor \vec{E} tem sentido de afastamento (para fora, saindo da carga) e, se a carga Q for negativa, o vetor \vec{E} tem sentido orientado para ela (entrando na carga).

1.11 Exercício Resolvido

1. Determine a intensidade, a direção e o sentido do vetor campo elétrico nos pontos P_1 e P_2 indicados na figura. O campo elétrico é gerado pela carga puntiforme $Q = 3 \mu\text{C}$ e o meio é o vácuo. A seguir, determine a intensidade da força elétrica que atua em $q = 0,1 \mu\text{C}$, colocada em P_1 e P_2 .



Resolução:

Para o ponto P_1 , temos:

$$Q = 3 \mu\text{C} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$d = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

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

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

$$E = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{3 \cdot 10^{-6}}{(6 \cdot 10^{-2})^2}$$

Efetuada a multiplicação dos coeficientes das potências de 10, multiplicando as potências de 10 e efetuado o quadrado da distância, temos:

$$E = \frac{27 \cdot 10^3}{36 \cdot 10^{-4}}$$

$$E = 0,75 \cdot 10^7 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

A força elétrica é:

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

Substituindo os valores de E e q, temos:

$$0,75 \cdot 10^7 = \frac{F}{0,1 \cdot 10^{-6}}$$

$$F = 0,75 \cdot 10^7 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}$$

$$F = 0,75 \text{ N}$$

Para o ponto P_2 , temos:

$$Q = 3 \mu\text{C} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$d = 20 \text{ cm} = 0,20 \text{ m} = 2 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

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

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

$$E = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{3 \cdot 10^{-6}}{(2 \cdot 10^{-1})^2}$$

Efetuada a multiplicação dos coeficientes das potências de 10, multiplicando as potências de 10 e efetuado o quadrado da distância, temos:

$$E = \frac{27 \cdot 10^3}{4 \cdot 10^{-2}}$$

$$E = 6,75 \cdot 10^5 \frac{N}{C}$$

A força elétrica é:

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

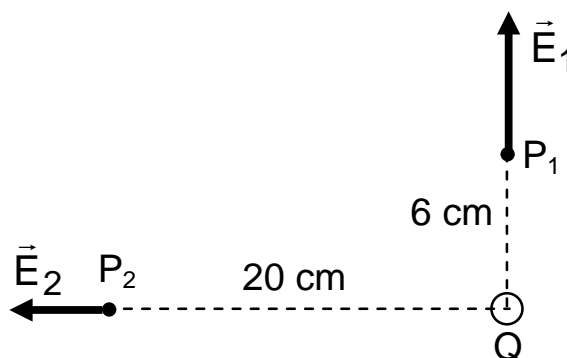
Substituindo os valores de E e q, temos:

$$6,75 \cdot 10^5 = \frac{F}{0,1 \cdot 10^{-6}}$$

$$F = 6,75 \cdot 10^5 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}$$

$$F = 6,75 \cdot 10^{-2} N$$

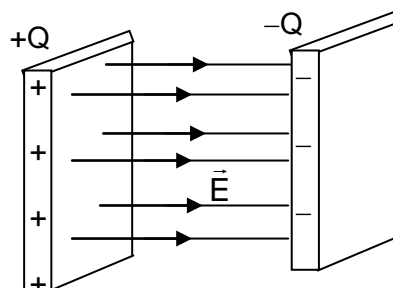
A direção e o sentido do campo elétrico em P_1 e P_2 estão representados na figura:



1.12 Campo Elétrico Uniforme

É aquele no qual o vetor campo elétrico \vec{E} é o mesmo em todos os pontos de uma região do espaço, ou seja, mesma direção, mesmo sentido e mesma intensidade. As linhas de força são retas paralelas de mesmo sentido e igualmente espaçadas.

Pode-se obter um campo elétrico uniforme entre duas placas paralelas eletrizadas com a mesma carga, porém de sinais contrários.



1.13 Exercício Resolvido

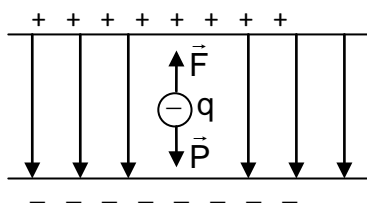
- Uma pequena esfera de peso $10^{-3} N$ e carga negativa está em equilíbrio num campo elétrico uniforme de intensidade $10^6 \frac{N}{C}$. Estando sujeita somente às forças dos campos elétrico e gravitacional, supostos também uniformes, determine:

- A direção e o sentido das linhas de força do campo elétrico.
- O valor da carga elétrica.

Resolução:

- O peso da esfera tem direção vertical e sentido para baixo; desse modo, é

necessário que haja uma força vertical para cima para manter a esfera em equilíbrio. Nessa situação, o campo elétrico deve ser vertical e de cima para baixo, portanto, a placa superior deve estar com carga positiva e a inferior, com carga negativa.



b)

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

Substituindo os valores fornecidos no problema, temos:

$$10^6 = \frac{10^{-3}}{q}$$

$$q = \frac{10^{-3}}{10^6}$$

$$q = 10^{-9} \text{ C}$$

1.14 Resumo do Capítulo

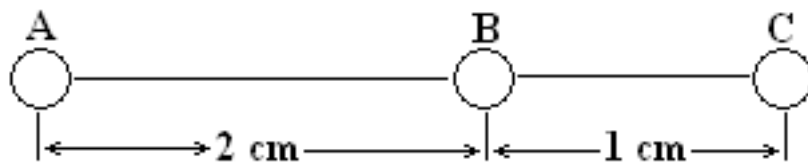
Caro(a) aluno(a), neste capítulo, estudamos que a eletrostática é a parte da Eletricidade que estuda as propriedades e a ação mútua das cargas elétricas em repouso, passando por:

- Carga elétrica elementar (e);
- Condutores e isolantes;
- Eletrização por atrito;
- Eletrização por contato;
- Eletrização por indução;
- Lei de Coulomb;
- Campo elétrico;
- Campo elétrico uniforme
- Exercícios resolvidos.

1.15 Atividades Propostas

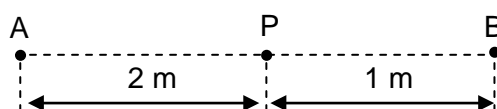
1. Um corpo é eletrizado com carga de $8 \cdot 10^{-5} \text{ C}$. Determine o número de elétrons em falta no corpo.
2. Quantos elétrons em excesso tem um corpo eletrizado com carga $-6,4 \mu\text{C}$?

3. Qual a carga elétrica de um corpo que apresenta $3 \cdot 10^{17}$ elétrons em excesso?
4. Qual a carga elétrica de um corpo que apresenta $4 \cdot 10^{14}$ prótons em excesso?
5. Duas cargas puntiformes, $q_1 = 3,0 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ e $q_2 = 5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$, estão no vácuo, separadas por uma distância de 10 cm. Determine a intensidade da força de repulsão eletrostática entre elas.
6. Dois corpos, A e B, estão separados um do outro pela distância de 3 cm. A força de repulsão entre eles tem intensidade $4 \cdot 10^{-5} \text{ N}$. Qual a intensidade da força elétrica, se a distância entre os corpos for aumentada para 6 cm?
7. A figura representa três corpos com carga elétrica igual a q. A força elétrica que a partícula A exerce em B tem intensidade $3,0 \cdot 10^{-6} \text{ N}$.



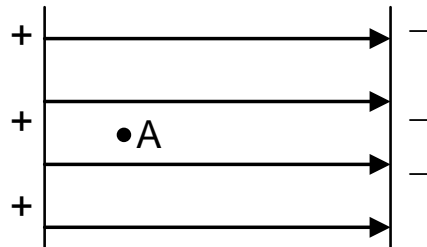
Determine:

- a) A intensidade da força elétrica que C aplica em B.
 - b) A intensidade da força elétrica resultante em B.
8. (FAAP-SP) No ponto A da figura, existe uma carga de $8 \mu\text{C}$. Determine a carga em B para que o campo elétrico em P seja nulo.



9. (PUC-SP) Uma carga de prova negativa q é colocada num ponto A, no qual há um campo elétrico \vec{E} gerado por uma carga Q positiva. Fica, então, sujeita a uma força \vec{F} de intensidade 10 N. Sendo $q = -50 \text{ mC}$, determine a intensidade do vetor campo elétrico, a direção e o sentido de \vec{E} e \vec{F} no ponto A.

10. Uma carga elétrica puntiforme de $2 \mu\text{C}$ e massa $5 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$ é abandonada, em repouso, num ponto A de um campo elétrico uniforme de intensidade $6 \cdot 10^7 \frac{\text{N}}{\text{C}}$, conforme a figura. Determine:

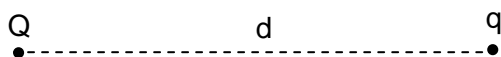


- a) A intensidade da força elétrica que atua na carga elétrica.
b) A aceleração da carga elétrica.
11. (FUVEST-SP) Uma partícula de água, com massa $0,80 \cdot 10^{-9} \text{ kg}$, eletrizada com carga $q = 16 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, está em equilíbrio no interior de um campo elétrico uniforme de placas paralelas e horizontais. (Adote $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$).
- a) Represente as linhas de força desse campo.
b) Calcule a intensidade do campo elétrico entre as placas.

2 POTENCIAL ELÉTRICO

2.1 Energia Potencial Elétrica

Você viu que duas cargas elétricas **puntiformes**, quando separadas entre si de uma distância d , no vácuo, ficam sujeitas à ação de força elétrica.



Dicionário

Puntiforme: diz-se dos corpos que apresentam as dimensões de um ponto.

Você sabia que esse sistema possui energia armazenada?

Essa energia é chamada energia potencial elétrica. É uma grandeza escalar diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional à distância entre elas.

$$E_p = k_0 \frac{Q \cdot q}{d}$$

A unidade de energia potencial no SI é o joule (J).

2.2 Potencial Elétrico

O potencial elétrico em um ponto A (V_A) de um campo elétrico é definido como a razão entre o trabalho realizado pela força elétrica, para deslocar uma carga de prova q desse ponto até um ponto B no infinito, e o valor dessa carga.

$$V_A = \frac{\tau_{AB}}{q}$$

Mas $\tau = F \cdot d$ e $F = E \cdot q$. Substituindo F na expressão de trabalho, temos:

$$\tau = E \cdot q \cdot d$$

Podemos obter o valor do potencial em um ponto qualquer substituindo a expressão de trabalho na equação de potencial, obtendo:

$$V = \frac{E \cdot q \cdot d}{q}$$

Simplificando q , temos:

$$V = E \cdot d$$

$$\text{Mas } E = k_0 \cdot \frac{Q}{d^2}, \text{ portanto:}$$

$$V = k_o \cdot \frac{Q}{d^2} \cdot d$$

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

A unidade de potencial elétrico no SI é o joule por Coulomb $\left(\frac{J}{C}\right)$, que recebe um nome especial, o volt (V).

2.3 Diferença de Potencial

A diferença de potencial (ddp) entre os pontos A e B é representada por U e determinada por:

$$U = V_A - V_B$$

Desse modo, generalizando, temos:

$$V_A - V_B = \frac{\tau_{AB}}{q}$$

2.4 Exercício Resolvido

1. Uma carga puntiforme de $2 \mu C$ é transportada de um ponto A até um ponto B de um campo elétrico. A força elétrica que age em q realiza um trabalho de $2 \cdot 10^{-4} J$. Determine:
 - a) A ddp entre os pontos A e B.
 - b) O potencial elétrico de A, considerando o ponto B no infinito.

Saiba mais

Para um condutor esférico eletrizado com carga elétrica Q e raio R, temos os seguintes potenciais elétricos:

- A uma distância $d > R$, ou seja, ponto externo do

$$\text{condutor } V_{\text{ext}} = k_o \cdot \frac{Q}{d};$$

- A uma distância $d < R$, ou seja, ponto interno do

$$\text{condutor } V_{\text{int}} = k_o \cdot \frac{Q}{R}. \text{ O potencial elétrico é constante em todos os pontos internos.}$$

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

$$\tau_{AB} = q \cdot U$$

Atenção

A diferença de potencial, ou ddp, também é chamada tensão ou voltagem.

Resolução:

a)

$$\tau_{AB} = q \cdot U$$

$$2 \cdot 10^{-4} = 2 \cdot 10^{-6} \cdot U$$

$$U = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 10^{-6}}$$

$$U = 10^2 \text{ V}$$

ou

$$U = 100 \text{ V}$$

$$V_B = 0$$

$$U = V_A - V_B$$

b) Considerando o ponto B no infinito, temos:

$$100 = V_A - 0$$

$$V_A = 100 \text{ V}$$

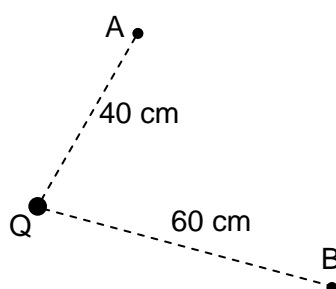
2.5 Resumo do Capítulo

Caro(a) aluno(a), neste capítulo, estudamos a parte da eletricidade que está relacionada com potencial elétrico, passando por:

- Energia potencial elétrica;
- Potencial elétrico;
- Diferença de potencial;
- Exercício resolvido.

2.6 Atividades Propostas

1. Uma carga puntiforme de $2,4 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ indicada na figura gera um campo elétrico no vácuo.



Determine:

- a) Os potenciais elétricos nos pontos A e B.
 - b) O trabalho realizado pela força elétrica ao deslocar uma carga de $0,1 \mu\text{C}$ de A para B.
2. Determine a energia potencial elétrica adquirida por uma carga $q = 4 \mu\text{C}$ ao ser colocada num ponto de um campo elétrico cujo potencial vale 250 V .

3 CAPACITÂNCIA

Você já ouviu falar de capacitor? É sobre uma propriedade específica de um capacitor, chamada capacitância, que você irá estudar neste capítulo.

Saiba mais

Capacitor é um componente elétrico constituído por um par, ou mais, de condutores separados entre si por dielétricos.

3.1 Capacidade de um Condutor

A capacidade que um condutor isolado tem de armazenar cargas elétricas é limitada e depende da sua dimensão e do meio que o envolve.

Essa capacidade recebe o nome de capacitância e é definida como o quociente da carga armazenada Q pelo seu potencial V , ou seja:

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

Na qual:

- C é a capacitância ou capacidade de um condutor;
- Q é a carga elétrica;
- V é o potencial elétrico.

Em um condutor esférico, o potencial é $V = k_0 \cdot \frac{Q}{R}$, portanto, temos:

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

$$C = \frac{Q}{k_0 \cdot \frac{Q}{R}}$$

$$C = \frac{R}{k_0}$$

No SI, a unidade de capacitância é o Coulomb por volt $\left(\frac{C}{V}\right)$, que recebe o nome de farad (F).

Atenção

Submúltiplos do farad:

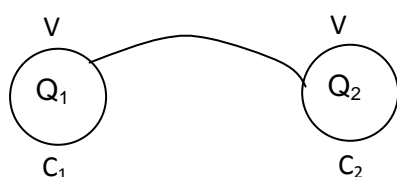
- Microfarad = $\mu F = 10^{-6} F$;
- Nanofarad = $nF = 10^{-9} F$;
- Picofarad = $pF = 10^{-12} F$.

3.2 Equilíbrio Elétrico entre Condutores

Considere dois condutores eletrizados com cargas Q_1 e Q_2 , com capacitâncias C_1 e C_2 e de potenciais V_1 e V_2 , respectivamente.



Ligando-os através de um fio de capacidade térmica desprezível, as cargas se redistribuem, devido à diferença de potencial, até atingirem o equilíbrio eletrostático.



Pelo princípio da conservação das cargas elétricas:

$$Q_1 + Q_2 = Q'_1 + Q'_2$$

$$C_1 V_1 + C_2 V_2 = C_1 V + C_2 V$$

$$C_1 V_1 + C_2 V_2 = C_1 V + C_2 V$$

$$V = \frac{C_1 V_1 + C_2 V_2}{C_1 + C_2}$$

$$V = \frac{Q_1 + Q_2}{C_1 + C_2}$$

3.3 Exercício Resolvido

- Um condutor metálico isolado possui carga elétrica de 10^{-6} C e potencial elétrico de 10^3 V . Se sua carga for alterada para $Q' = 1,2 \text{ } \mu\text{C}$, qual será seu novo potencial?

Resolução:

Como é o mesmo condutor, a capacitância não se altera; desse modo, temos:

$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{ou} \quad C = \frac{Q'}{V'}$$

Portanto:

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

Substituindo os valores, temos:

$$\frac{10^{-6}}{10^3} = \frac{1,2 \cdot 10^{-6}}{V'}$$

$$V' = \frac{1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3}{10^{-6}}$$

$$V' = 1,2 \cdot 10^3 \text{ V}$$

3.4 Resumo do Capítulo

Caro(a) aluno(a), neste capítulo, estudamos a parte da eletricidade que está relacionada com capacitância, passando por:

- Capacidade de um condutor;
- Equilíbrio elétrico entre condutores;
- Exercício resolvido.

3.5 Atividades Propostas

1. Considerando a Terra um condutor esférico **imerso** no vácuo, calcule sua capacitância eletrostática. Admita o raio da Terra igual a $6,3 \cdot 10^6 \text{ m}$.

Dicionário

Imerso: mergulhado, afundado, submerso.

2. Um condutor isolado no vácuo possui capacitância eletrostática de 10^{-7} F . Sabendo-se que o potencial do condutor é 10^4 V , determine sua carga elétrica. Se o condutor for esférico, qual será seu raio?

4

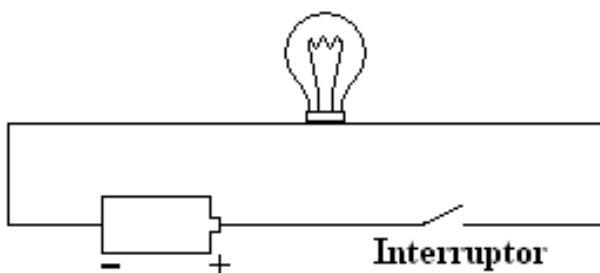
CORRENTE ELÉTRICA E RESISTÊNCIA ELÉTRICA

Caro(a) aluno(a), você já conhece o circuito elétrico simples, como o apresentado na figura a

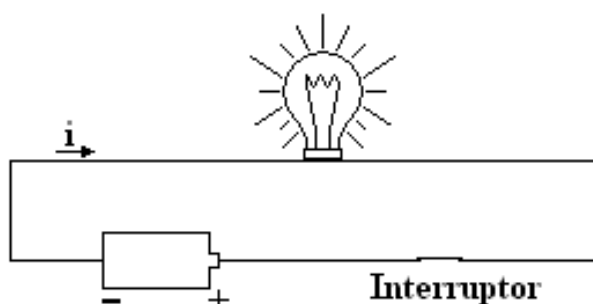
seguir. Neste capítulo, iremos estudar o fenômeno físico que faz a lâmpada ficar apagada ou acesa.

4.1 Corrente Elétrica

Quando o interruptor encontra-se aberto, observa-se que a lâmpada permanece apagada. Nesse caso, diz-se que não há passagem de corrente elétrica pelo circuito.



Na figura seguinte, o interruptor encontra-se fechado e observa-se que a lâmpada permanece acesa. Nesse caso, diz-se que há passagem de corrente elétrica pelo circuito.



A corrente elétrica depende de uma diferença de potencial, ou seja, um desnível elétrico. Essa diferença de potencial ou desnível elétrico precisa ser continuamente recriada por um gerador de tensão, que pode ser uma pilha, uma bateria ou um dínamo.

A diferença de potencial elétrico é representada através da simbologia ddp ou através da letra U. A diferença de potencial (ddp) é conhecida como tensão elétrica ou voltagem.

Podemos afirmar que um condutor é atravessado por uma corrente elétrica quando, em seu interior, há a migração de partículas carregadas. Os fios que transportam a corrente elétrica são percorridos por elétrons em movimento.

Saiba mais

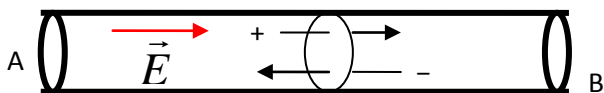
Podemos afirmar que, nos metais, os transportadores de carga são os elétrons. Nos líquidos, são os íons positivos e os íons negativos.

Para que haja a migração de partículas carregadas, é necessário que, dentro do condutor, haja forças elétricas em ação, capazes de colocar as cargas em movimento. Num condutor percorrido por uma corrente elétrica, deve existir um campo elétrico. Isso significa que, em seu interior, existem pontos que se encontram em níveis diferentes de potencial.

O movimento ordenado de partículas carregadas em um condutor é chamado *corrente elétrica*.

Considere um condutor cilíndrico, supondo que em suas extremidades A e B haja uma diferença de potencial, como na figura a seguir.

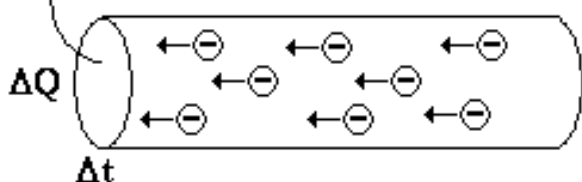
Representação de um condutor



A intensidade de corrente elétrica é um conceito análogo ao de vazão de um fluido.

Num condutor, cada seção transversal é atravessada por transportadores de carga positiva, que vão de A para B, e transportadores de carga negativa, que se movem em sentido contrário. Tanto uns quanto outros podem contribuir para a passagem da corrente.

seção transversal



A intensidade de corrente elétrica i pode ser definida como a razão entre a quantidade de carga ΔQ que atravessa a seção transversal de um condutor num intervalo de tempo Δt e esse próprio intervalo de tempo Δt , ou seja:

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

Atenção

Considerando Δt igual a um segundo, pode-se dizer que a intensidade i da corrente elétrica é a quantidade de carga que atravessa uma seção transversal de um condutor numa unidade de tempo.

Definimos também a corrente instantânea i como:

$$i = \frac{dQ}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

A intensidade de corrente elétrica é uma grandeza escalar. No SI, a corrente elétrica é medida em ampère (A). Essa medida é obtida analisando-se a razão da quantidade de carga de um Coulomb que passa através da seção transversal, em um condutor, por segundo, ou seja:

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

Saiba mais

A intensidade de corrente elétrica é medida com um instrumento chamado *amperímetro*.

Atenção

Submúltiplos do ampère:

- Miliampère = $mA = 10^{-3} A$;
- Microampère = $\mu A = 10^{-6} A$.

No século XIX, pensava-se que os transportadores de carga elétrica fossem apenas positivos. Por essa razão, atribuiu-se à corrente elétrica o sentido desses transportadores hipotéticos. Atualmente, sabe-se que, nos materiais sólidos, a corrente elétrica é levada pelos elétrons, que são negativos.

Seguindo uma antiga convenção, escolhemos como sentido da corrente elétrica aquele em que se movem as cargas positivas, ou seja, o sentido que vai dos pontos de potencial mais alto aos pontos de potencial mais baixo. Devemos lembrar que isso é simplesmente uma convenção, que não corresponde necessariamente ao movimento real dos elétrons no condutor.

4.2 Tipos de Corrente Elétrica

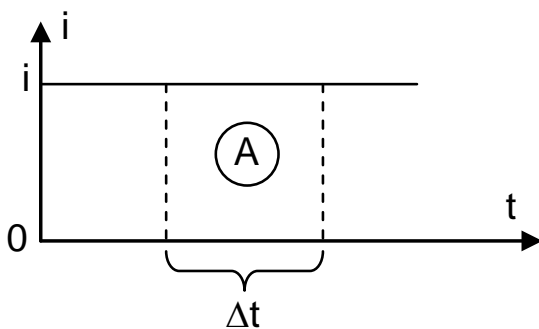
A corrente elétrica pode ser Corrente Contínua (CC) ou Corrente Alternada (CA).

Corrente Contínua

É aquela em que os portadores de carga se movimentam sempre no mesmo sentido. Quando a intensidade de corrente elétrica se mantém constante no decorrer do tempo, a quantidade de carga ΔQ que atravessa uma seção transversal do condutor é diretamente proporcional ao intervalo de tempo Δt , ou seja:

$$\Delta Q = i \cdot \Delta t$$

Nesse caso, o gráfico $i \times t$ é:

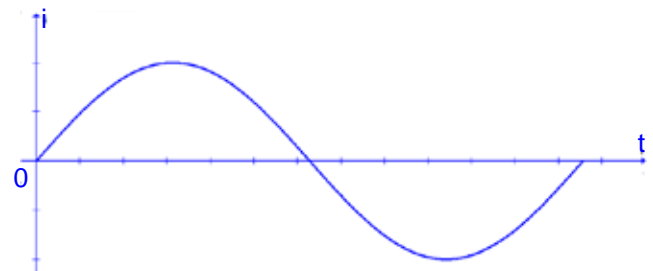


Através do gráfico, podemos concluir que a área, numericamente, é igual à variação da quantidade de carga, ou seja:

$$A = \int i \, dt = \Delta Q$$

Corrente Alternada

É aquela em que a intensidade e o sentido variam periodicamente, ou seja, os portadores de carga se movimentam ora num sentido, ora no outro.



4.3 Exercício Resolvido

1. Uma corrente elétrica de 5 A é mantida em um condutor metálico durante um minuto. Qual a carga elétrica, em Coulombs, que atravessa uma seção do condutor nesse tempo?

Resolução:

Dados fornecidos no problema:

$$i = 5 \text{ A}$$

$$\Delta t = 1 \text{ min.}$$

Como o tempo foi dado em minutos, devemos primeiro passar para segundos. Um minuto corresponde a 60 s, portanto:

$$\Delta t = 60 \text{ s.}$$

A corrente elétrica é dada por:

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

Substituindo os valores fornecidos pelo problema, temos:

$$5 = \frac{\Delta Q}{60}$$

Portanto, isolando ΔQ , temos:

$$\Delta Q = 5 \cdot 60$$

$$\Delta Q = 300 \text{ C}$$

4.4 Resistor

Resistor é um dispositivo que, quando percorrido por uma corrente elétrica, converte toda a energia elétrica em energia térmica. O fenômeno da conversão de energia elétrica em calor é denominado *efeito Joule*.

Dicionário

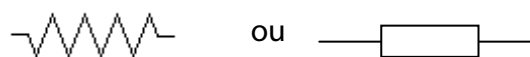
Resistor: componente elétrico que introduz uma resistência num circuito.

O efeito Joule é devido à colisão dos elétrons da corrente elétrica com os átomos do dispositivo,

provocando o aumento do estado de agitação térmica desses átomos, que acarreta na elevação da temperatura do resistor.

Como exemplos de aparelhos que utilizam resistores, temos: o chuveiro elétrico, o ferro de passar, a lâmpada comum (incandescente) e os fios condutores em geral.

A representação do resistor é feita através dos símbolos:



4.5 Resistência Elétrica

A característica relevante do resistor é uma grandeza física que mede a oposição que os resistores oferecem à passagem da corrente elétrica, denominada *resistência elétrica* e representada pela letra R.

Portanto, quando dizemos que queimou a

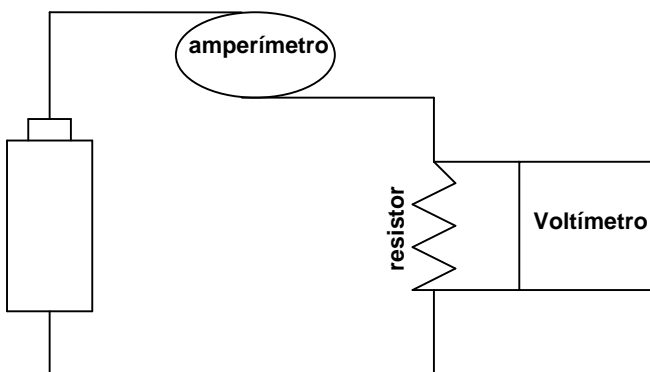
resistência do chuveiro, o correto seria dizer queimou o resistor, pois o dispositivo (peça) é o resistor e a resistência é a propriedade do resistor de opor a passagem da corrente elétrica. O mesmo é válido para comprar um resistor, ao invés de comprar uma resistência para o chuveiro.

4.6 Primeira Lei de OHM

Quando ligamos um fio de metal aos polos de uma pilha, os elétrons do interior do fio começam a se mover sob efeito da diferença de potencial, formando uma corrente elétrica. Vamos observar como varia essa corrente elétrica quando a diferença de potencial se altera.

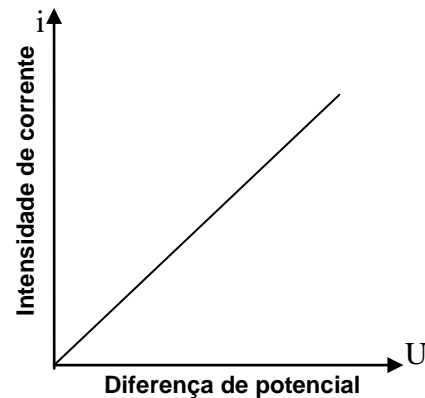
Um *amperímetro* ligado em série no circuito nos permitirá medir a corrente elétrica. Enquanto isso, um *voltímetro* (aparelho utilizado para medir a tensão elétrica ou voltagem), ligado em paralelo às extremidades de um trecho do fio, medirá a diferença de potencial à qual esse trecho de fio está submetido.

A figura a seguir representa o esquema de ligação do amperímetro e do voltímetro no mesmo circuito.



Se ligarmos duas pilhas idênticas ao circuito dado e em série, a diferença de potencial entre os extremos do resistor dobrará. Vamos observar também, por meio do amperímetro, que a intensidade da corrente também dobrará. Se triplicarmos o valor da diferença de potencial, observamos que a intensidade da corrente também ficará três vezes maior; portanto, constata-se que a corrente i nesse trecho do fio é diretamente proporcional à diferença de potencial U aplicado a seus extremos.

Um voltímetro ideal tem resistência infinita. Assim, a corrente que passa nele é desprezível. Analisando o gráfico a seguir, da diferença de potencial em função da intensidade de corrente, temos:



A razão entre a intensidade de corrente e a diferença de potencial fornecerá o valor da resistência, ou seja:

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

Obtendo-se a expressão $i = \frac{U}{R}$, observa-se que R é uma grandeza característica do condutor e depende de diversas propriedades dele. Quanto maior é R , tanto menor é a corrente que atravessa o fio condutor, para certa diferença de potencial entre seus extremos. Por essa razão, a grandeza R é chamada resistência elétrica do condutor e exprime a dificuldade que a corrente elétrica encontra para fluir no interior do condutor.

A equação $i = \frac{U}{R}$ ou $U = R \cdot i$ exprime a primeira Lei de Ohm, que recebeu esse nome em homenagem ao físico alemão Georg Simon Ohm, que a descobriu no início do século XIX.

No SI, a resistência elétrica é medida em *ohm*, cujo símbolo é a letra grega ômega (Ω). Um ohm é a resistência de um condutor que é percorrido por uma corrente elétrica de 1 A de intensidade quando se aplica aos seus extremos uma diferença de potencial de 1 V:

$$1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

4.7 Segunda Lei de OHM

Ohm estabeleceu experimentalmente uma segunda lei, que mostra como a resistência R depende das dimensões do condutor e do tipo de metal que o constitui.

A segunda Lei de Ohm nos informa que a resistência elétrica de um fio condutor é diretamente proporcional ao seu comprimento e inversamente proporcional à sua seção transversal. A resistência depende também da substância que constitui o fio e de sua temperatura.

Para exprimir a influência de todos esses fatores na segunda Lei de Ohm, podemos escrevê-la da seguinte forma:

$$R = \rho \frac{L}{A_{\text{seção}}}$$

Essa equação relaciona o comprimento do fio L , a seção transversal do fio A e o coeficiente de proporcionalidade ρ , que depende da substância de que o fio é feito e de sua temperatura.

O coeficiente de proporcionalidade ρ é chamado resistividade ou coeficiente de resistência específica da substância considerada.

A resistividade ρ de um material em função da temperatura t é determinada por:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t)$$

Na qual:

- ρ é a resistividade do condutor;
- ρ_0 é a resistividade do condutor a 0°C ;
- α é o coeficiente de temperatura, característico da substância do condutor;
- t é a temperatura.

Utilizando-se a segunda Lei de Ohm, podemos obter a dimensão da resistividade, conforme segue:

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

Substituindo-se os símbolos por unidades de medida das grandezas que eles representam, obteremos:

$$\rho = \Omega \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{m}} = \Omega \cdot \text{m}$$

Observamos que, no SI, a resistividade é medida em ohm multiplicado por metro.

Deve-se observar que as duas Leis de Ohm não valem apenas para os metais. Ainda que de modo aproximado, elas também são válidas para a maioria dos materiais sólidos, inclusive, os maus condutores de eletricidade e, até mesmo, os isolantes.

4.8 Exercícios Resolvidos

1. Determine a ddp entre os terminais de um condutor ôhmico de resistência elétrica $R = 10 \, \Omega$, quando uma corrente de $5 \, \text{A}$ o atravessa.

Resolução:

Condutor ôhmico é o condutor que obedece à Lei de Ohm.

Os dados fornecidos pelo problema são:

$$R = 10 \, \Omega$$

$$i = 5 \, A$$

De acordo com a 1ª Lei de Ohm, temos:

$$U = R \cdot i$$

Substituindo os valores na equação, temos:

$$U = 10 \cdot 5$$

$$U = 50 \, V$$

A unidade de ddp (tensão) é o volt (V).

2. Determine o comprimento de um fio de cobre, cuja área de seção é igual a $10^{-2} \, cm^2$ e cuja resistência é $R = 0,34 \, \Omega$. Considere $\rho_{Cu} = 1,7 \cdot 10^{-8} \, \Omega \cdot m$.

Resolução:

Os dados fornecidos no problema são:

$$A = 10^{-2} \, cm^2$$

$$R = 0,34 \, \Omega$$

$$\rho_{Cu} = 1,7 \cdot 10^{-8} \, \Omega \cdot m$$

Como a área está em cm^2 , é necessário transformar para m^2 . Essa conversão pode ser feita utilizando a seguinte relação:

$$\begin{array}{ccc} 1 \, cm^2 & \xrightarrow{\quad} & 10^{-4} \, m^2 \\ 10^{-2} \, cm^2 & \xrightarrow{\quad} & x \end{array}$$

$$x = 10^{-2} \cdot 10^{-4}$$

$$x = 10^{-6} \, m^2$$

Portanto, a área é:

$$A = 10^{-6} \, m^2$$

De acordo com a segunda Lei de Ohm, a resistência é dada por:

$$R = \rho \frac{L}{A_{seção}}$$

Substituindo os valores, tem-se:

$$0,34 = 1,7 \cdot 10^{-8} \frac{L}{10^{-6}}$$

$$L = \frac{0,34 \cdot 10^{-6}}{1,7 \cdot 10^{-8}}$$

$$L = 0,2 \cdot 10^2$$

$$L = 20 \, m$$

4.9 Resumo do Capítulo

Caro(a) aluno(a), neste capítulo, você estudou a corrente elétrica e a resistência elétrica, através dos seguintes tópicos:

- Corrente elétrica;
- Tipos de corrente elétrica;

- Resistor;
- Resistência elétrica;
- Primeira Lei de Ohm;
- Segunda Lei de Ohm;
- Exercícios Resolvidos.

4.10 Atividades Propostas

1. Determine a intensidade da corrente elétrica que atravessa um fio, sabendo que uma carga de 48 C atravessa uma seção transversal do fio em 4 s.
2. Uma seção transversal de um condutor é atravessada em 10 s por uma quantidade de carga igual a 5 C. Determine a corrente elétrica nesse condutor, em ampères.
3. Em 10 s, $1,0 \cdot 10^{20}$ elétrons passam pela seção transversal de um condutor. Qual a corrente elétrica nesse condutor, em ampères?
4. Calcule a intensidade da corrente elétrica em um condutor, sabendo que 2000 elétrons atravessam por segundo a seção transversal desse condutor.
5. O filamento de uma lâmpada tem resistência de $480 \, \Omega$. Determine a intensidade da corrente elétrica que passa pelo filamento, sabendo que a ddp entre os terminais do circuito é de 120 V.
6. Num fio de resistência $R = 8 \, \Omega$, circula uma corrente elétrica de intensidade 0,5 A. Determine a ddp entre seus terminais.
7. Um fio de ferro homogêneo, de 3 m de comprimento, tem área de seção transversal de $15 \, \text{cm}^2$. A resistividade do ferro é $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \, \Omega \cdot \text{m}$. Determine, no SI, a resistência do fio.
8. Um fio de ferro de comprimento 2 m tem resistência $5 \, \Omega$. Sabendo que a resistividade elétrica do ferro é $10,0 \cdot 10^{-8} \, \Omega \cdot \text{m}$, determine a área de sua seção transversal.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se que, com esta apostila, o(a) aluno(a) se envolva na disciplina, entenda e consiga definir os conceitos básicos de carga elétrica, campo elétrico, potencial elétrico, capacitores e dielétricos, corrente elétrica e resistência elétrica; saiba as grandezas envolvidas referentes à eletricidade; desenvolva o raciocínio lógico; e saiba utilizar e aplicar as equações pertinentes aos vários assuntos abordados e estudados na presente apostila no âmbito profissional e, conseqüentemente, na sociedade em que se encontra inserido(a).

RESPOSTAS COMENTADAS DAS ATIVIDADES PROPOSTAS

Prezado(a) aluno(a), a seguir, você poderá utilizar a resolução comentada das atividades propostas.

Faça uma revisão do texto escrito e refaça os exercícios resolvidos. Acredito que você vai conseguir resolver facilmente as atividades propostas.

Tenha em mãos uma calculadora científica para facilitar os cálculos.

Tente resolver os exercícios antes e, posteriormente, consulte a resolução.

CAPÍTULO 1

1. Como temos falta de elétrons no corpo, a carga está sendo criada pelos prótons em excesso. A quantidade de carga é determinada por $Q = n \cdot e$. Substituindo os valores, temos:

$$8 \cdot 10^{-5} = n \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$$

$$n = \frac{8 \cdot 10^{-5}}{1,6 \cdot 10^{-19}}$$

$$n = 5 \cdot 10^{14} \text{ elétrons}$$

2. Quem está criando a carga elétrica são os elétrons, portanto:

$$-6,4 \cdot 10^{-6} = n \cdot (-1,6 \cdot 10^{-19})$$

$$n = \frac{-6,4 \cdot 10^{-6}}{-1,6 \cdot 10^{-19}}$$

$$n = 4 \cdot 10^{13} \text{ elétrons}$$

3. A carga está sendo criada pelos elétrons em excesso, logo:

$$Q = 3 \cdot 10^{17} \cdot (-1,6 \cdot 10^{-19})$$

$$Q = -4,8 \cdot 10^{-2} \text{ C}$$

4. A carga está sendo criada pelos prótons em excesso, assim:

$$Q = 4 \cdot 10^{14} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$$

$$Q = 6,4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$$

5. Fazendo a conversão da distância para metros e substituindo na equação da força, temos:

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{3 \cdot 10^{-9} \cdot 5 \cdot 10^{-9}}{(0,1)^2}$$

$$F = \frac{135 \cdot 10^{-9}}{0,01}$$

$$F = 13500 \cdot 10^{-9} \text{ N}$$

$$F = 1,35 \cdot 10^{-5} \text{ N}$$

6. Pela Lei de Coulomb, a intensidade da força elétrica varia com o inverso do quadrado da distância; isso significa que, se dobrarmos a distância entre as cargas, a força diminui de fator 4 vezes; se triplicarmos a distância, a força fica 9 vezes menor e, se diminuirmos a distância, a força aumenta, ou seja, se a distância diminui para a metade, a força fica 4 vezes maior e assim sucessivamente.

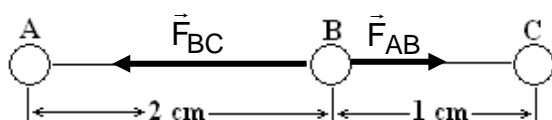
Nesse problema, a distância passou de 3 cm para 6 cm, ou seja, ficou 2 vezes maior; portanto, a força deve ficar 4 vezes menor. Assim, a força passa a ser de $1 \cdot 10^{-5} \text{ N}$.

7.

a) Como a distância entre B e C é a metade da distância entre A e B, a força entre B e C será 4 vezes maior, portanto, terá valor $12,0 \cdot 10^{-6} \text{ N}$.

b) Fazendo os esquemas das forças entre AB e BC, temos:

Como as forças têm sentidos contrários, a força resultante será:



$$F_R = F_{BC} - F_{AB}$$

$$F_R = 12 \cdot 10^{-6} - 3 \cdot 10^{-6}$$

$$F_R = 9 \cdot 10^{-6} \text{ N}$$

8. Para que o campo elétrico em P seja nulo, temos:

$$\vec{E}_A = \vec{E}_B$$

$$k_o \cdot \frac{Q_A}{d_A^2} = k_o \cdot \frac{Q_B}{d_B^2}$$

Simplificando k_o , temos:

$$\frac{Q_A}{d_A^2} = \frac{Q_B}{d_B^2}$$

$$\frac{8 \cdot 10^{-6}}{2^2} = \frac{Q_B}{1^2}$$

$$4 \cdot Q_B = 8 \cdot 10^{-6}$$

$$Q_B = \frac{8 \cdot 10^{-6}}{4}$$

$$Q_B = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

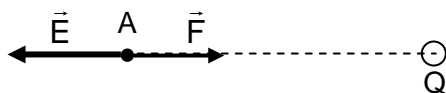
9. O campo elétrico é determinado por:

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

$$E = \frac{10}{50 \cdot 10^{-3}}$$

$$E = 200 \frac{N}{C}$$

Os sentidos estão apresentados na figura:



10.

a) A força elétrica é determinada por:

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

$$6 \cdot 10^7 = \frac{F}{2 \cdot 10^{-6}}$$

$$F = 6 \cdot 10^7 \cdot 2 \cdot 10^{-6}$$

$$F = 120 \text{ N}$$

b) A aceleração é determinada pela 2ª Lei de Newton:

$$F = m \cdot a$$

$$120 = 5 \cdot 10^{-6} \cdot a$$

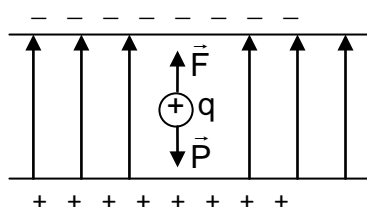
$$a = \frac{120}{5 \cdot 10^{-6}}$$

$$a = \frac{120}{5 \cdot 10^{-6}}$$

$$a = 2,4 \cdot 10^7 \frac{m}{s^2}$$

11.

a)



b) Como a partícula está em equilíbrio, temos:

$$\vec{F} = \vec{P}$$

$$E \cdot q = m \cdot g$$

$$E \cdot 16 \cdot 10^{-19} = 0,80 \cdot 10^{-9} \cdot 10$$

$$E = \frac{8,0 \cdot 10^{-9}}{16 \cdot 10^{-19}}$$

$$E = 5 \cdot 10^9 \frac{N}{C}$$

CAPÍTULO 2

1.

a) No ponto A

$$V_A = k_o \cdot \frac{Q}{d_A}$$

$$V_A = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2,4 \cdot 10^{-9}}{0,4}$$

$$V_A = 54 \text{ V}$$

No ponto B

$$V_B = k_o \cdot \frac{Q}{d_B}$$

$$V_B = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{2,4 \cdot 10^{-9}}{0,6}$$

$$V_B = 36 \text{ V}$$

b)

$$\tau = q \cdot (V_A - V_B)$$

$$\tau = 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot (54 - 36)$$

$$\tau = 18 \cdot 10^{-7} \text{ J}$$

2.

$$E_p = \tau$$

Mas $\tau = V \cdot q$, portanto:

$$E_p = V \cdot q$$

$$E_p = 250 \cdot 4 \cdot 10^{-6}$$

$$E_p = 10^{-3} \text{ J}$$

CAPÍTULO 3

1.

$$C = \frac{R}{k_o}$$

$$C = \frac{6,3 \cdot 10^6}{9 \cdot 10^9}$$

$$C = 0,0007 \text{ F}$$

Ou

$$C = 700 \text{ } \mu\text{F}$$

2.

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

$$10^{-7} = \frac{Q}{10^4}$$

$$C = 10^{-3} \text{ C}$$

$$V = k_o \cdot \frac{Q}{R}$$

$$10^4 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10^{-3}}{R}$$

$$R = 900 \text{ m}$$

CAPÍTULO 4

1.

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

$$i = \frac{48}{4}$$

$$i = 12 \text{ A}$$

2.

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

$$i = \frac{5}{10}$$

$$i = 0,5 \text{ A}$$

3.

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

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

$$i = \frac{1,0 \cdot 10^{20} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{10}$$

$$i = 1,6 \text{ A}$$

4.

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

$$i = \frac{2000 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{1}$$

$$i = 3,2 \cdot 10^{-16} \text{ A}$$

5.

$$U = R \cdot i$$

$$120 = 480 \cdot i$$

$$i = 0,25 \text{ A}$$

6.

$$U = R \cdot i$$

$$U = 8 \cdot 0,5$$

$$U = 4 \text{ V}$$

7.

$$R = \rho \frac{L}{A_{seção}}$$

$$R = 1,7 \cdot 10^{-8} \frac{3}{15 \cdot 10^{-4}}$$

$$R = 3,4 \cdot 10^{-5} \Omega$$

8.

$$R = \rho \frac{L}{A_{seção}}$$

$$5 = 10,0 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{2}{A_{seção}}$$

$$A_{seção} = 4 \cdot 10^{-8} m^2$$

REFERÊNCIAS

- AMALDI, U. **Imagens da física** – As idéias e as experiências do pêndulo aos quarks. São Paulo: Scipione, 1995.
- BONJORNO, R. A. et al. **Física fundamental**: 2º Grau, volume único. São Paulo: FTD, 1993.
- FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T.; SANTOS, J. I. C. **Física básica**: volume único. São Paulo: Atual, 1998.
- _____. **Aulas de física 3**. São Paulo: Atual, 2003.
- HERSKOWICZ, G.; PENTEADO, P. C. M.; SCOLFARO, V. **Curso completo de física**: volume único. São Paulo: Moderna, 1991.
- OREAR, J. **Fundamentos da física**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1981. v. 3.
- RAMALHO JUNIOR, F.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Os fundamentos da física**. São Paulo: Moderna, 1993. v. 3.
- RESNICK, R.; HALLIDAY, D. **Física**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2003. v. 3.
- YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física III** – Eletromagnetismo. 12. ed. São Paulo: Pearson-Addison Wesley, 2008.