

Eletrostática

Parte do eletromagnetismo dedicada aos *fenômenos elétricos estacionários*, em que as cargas elétricas não se movem.

Introdução

Há dois séculos a humanidade passou a utilizar as máquinas térmicas e hoje, simultaneamente, convive com a “Era da Eletricidade”.

No século XVIII, a eletricidade desenvolveu-se muito rápido e considera-se o século XIX como a consolidação de energia elétrica.

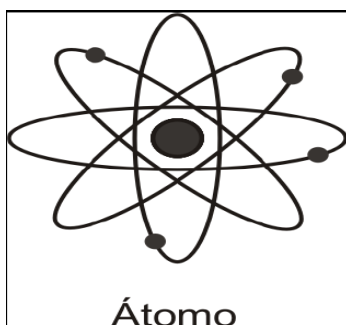
No século XX, a associação entre a eletricidade e o magnetismo propiciou a construção das máquinas e dos motores que revolucionaram o nosso modo de vida.

Será fundamental o entendimento do conceito de carga elétrica, que é um conceito primitivo tal como o tempo, isto é não se pode defini-la. Vamos caracterizá-la por seu efeito: **algo que permite ao corpo atritado manifestar a propriedade de atrair outros corpos.**

Modelo atômico atual

Com o modelo atômico que hoje conhecemos é possível entendermos a origem de toda eletricidade. Segundo o modelo, o átomo é formado por três tipos de partículas: prótons, elétrons e nêutrons. Os prótons e os nêutrons formam um arranjo compacto chamado núcleo e os elétrons movem-se em torno desse núcleo.

Átomo (100%) → núcleo (97%) e eletrosfera (3%).



O nêutron é eletricamente neutro (razão de seu nome), enquanto os prótons e os elétrons possuem em módulo, a menor quantidade de carga elétrica, não-nula, possível fisicamente, chamada de carga elementar (e). Cujo valor é: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$

$$e = \pm 1,6 \times 10^{-19} \text{ Coulomb} \quad \left. \begin{array}{l} (+) \text{ próton} \\ (-) \text{ elétron} \end{array} \right\}$$

A quantidade de carga elétrica total (Q)

A carga elétrica é uma grandeza **quantizada**, ou seja, ela só pode assumir valores inteiros da carga elétrica elementar, então: $Q = \pm e$, $Q = \pm 2e$, $Q = \pm 3e$, ..., **$Q = \pm n \cdot e$** , onde n é inteiro (positivo, negativo ou nulo).

A unidade de carga elétrica no Sistema Internacional (SI) é o Coulomb (C).

$$\text{Então: } Q = \pm n \cdot e$$

Prefixos utilizados

$$1 \text{ mC} = 10^{-3} \text{ C (1 milicoulomb);}$$

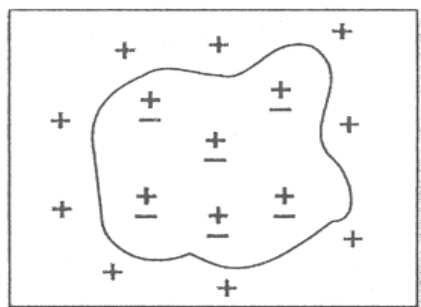
$$1 \text{ }\mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C (1 microcoulomb);}$$

$$1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C (1 nanocoulomb);}$$

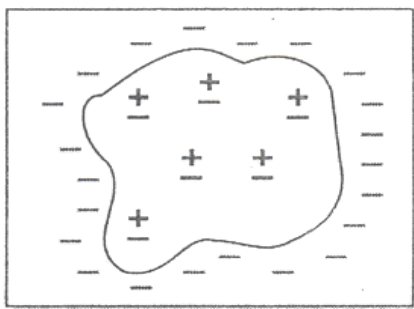
$$1 \text{ pC} = 10^{-12} \text{ C (1 picocoulomb).}$$

Corpo carregado

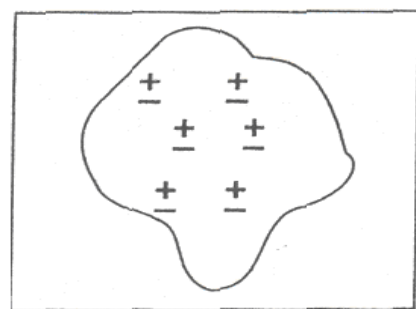
- Positivamente: Apresenta *falta* de elétrons.
- Negativamente: Apresenta *excesso* de elétrons.
- Eletricamente neutro: Não apresenta *falta* ou *excesso* de elétrons.



(Positivo) $n_p > n_e$



(Negativo) $n_p < n_e$



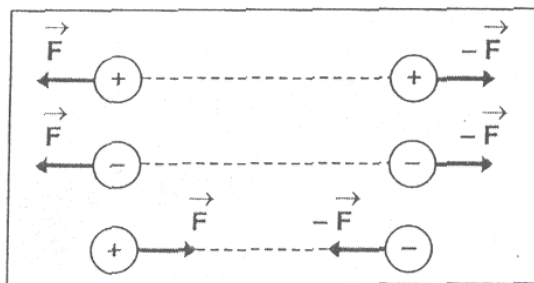
(Neutro) $n_p = n_e$

Princípios fundamentais da eletrostática

- **Princípio da atração e repulsão elétrica**: experimentalmente observa-se que corpos eletrizados com cargas de mesmo sinal repelem-se e que corpos eletrizados com cargas de sinais contrários atraem-se.

Sinais iguais $\rightarrow$ Repulsão

Sinais opostos $\rightarrow$ Atração



- **Princípio da conservação da carga elétrica**

A partir de um sistema eletricamente isolado (significa que nenhuma carga entra ou sai do sistema), o somatório algébrico de cargas positivas e cargas negativas deve permanecer constante.

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

Logo, não se pode criar nem destruir cargas elétricas (pelo menos, na física clássica).

Apenas transferi-las através de algum processo de eletrização.

Exemplo:



$92e \rightarrow 2e + 90e$ (nota-se então que, tanto antes como depois do processo, a carga elétrica do sistema é $92e$. Portanto houve conservação da carga).

Condutores e Isolantes (dielétricos)

Para que um material seja condutor de eletricidade é necessário que ele possua portadores de carga elétrica livres.

- **Condutores líquidos:** Em soluções eletrolíticas, há movimentos de portadores de carga elétrica (íons: cátions e ânions) em ambos os sentidos.
- **Em condutores gasosos:** Nos gases nobres e misturas o movimento de portadores de carga elétrica é feito por elétrons e íons (cátions e ânions).
- **Condutores sólidos:** Nos metais o movimento de portadores de carga elétrica é feito por elétrons.

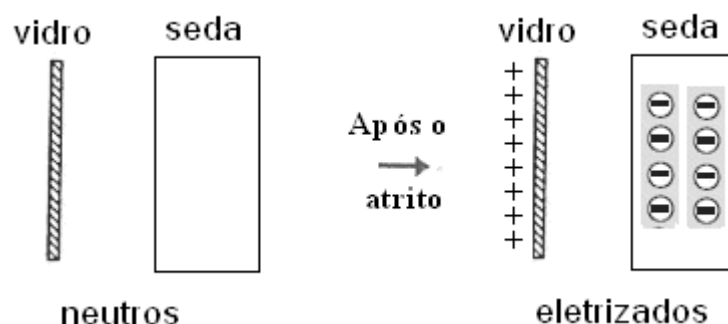
Por outro lado, os materiais que possuem portadores de carga elétrica livres em pequena quantidade em relação ao total de partículas são chamados de isolantes (borracha, porcelana, madeira seca, plástico, verniz, etc.).

Na prática, não existem isolantes (dielétricos) perfeitos, mas sim maus condutores.

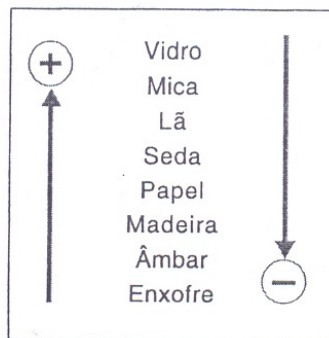
Processos de eletrização

Eletrizar um corpo neutro consiste, basicamente, em acrescentar-lhe ou retirar-lhe alguns elétrons. Existem três modos elementares para eletrizar um corpo neutro (atrito, contato, indução).

a) Por atrito:



Os corpos adquirem, no final do processo: **cargas com sinais opostos e com mesmo módulo**. A princípio, não sabemos quem cede ou quem recebe elétrons. A tabela a seguir, elaborada experimentalmente, nos mostra alguns materiais e suas tendências a ceder ou receber elétrons. É a série triboelétrica.



Exemplo:

Vidro com seda: { * Vidro (+)
* Seda (-)

Seda com âmbar: { * Seda (+)
* Âmbar (-)

Repare que a carga adquirida vai depender dos materiais envolvidos, de acordo com a série triboelétrica ($Q_{\text{vidro}} = Q_{\text{seda}}$).

Exemplo: Quando atritamos dois corpos de materiais diferentes, observamos que eles se eletrizam. Por quê?

Resposta: Quando atritamos dois corpos, eles se aquecem. Há absorção dessa energia térmica pelos átomos dos corpos. Os elétrons, tendo absorvido energia, tendem a aumentar o seu nível energético, e o fazem aumentando sua distância em relação ao núcleo. Com isso, sua ligação ao núcleo enfraquece, possibilitando, assim, sua retirada do átomo. Como os corpos são de materiais diferentes, um terá maior tendência a perder elétrons.

Nota:

- Gerador Eletrostático de Van de Graaff → usado em laboratório para criar eletricidade estática. O aluno deve está isolado do chão e a esfera descarregada, então com a mão na esfera, o sistema começa a carregar (eletrizar). No aluno, o excesso de cargas elétricas se escoam por seus cabelos, que se arrepiam como se fossem as linhas de força de um campo elétrico. A energia elétrica armazenada é pequena (a voltagem pode chegar a 100.000 volts).



Fig 3: www.cidepe.com.br



Fig 4: www.faculty.clintoncc.suny.edu

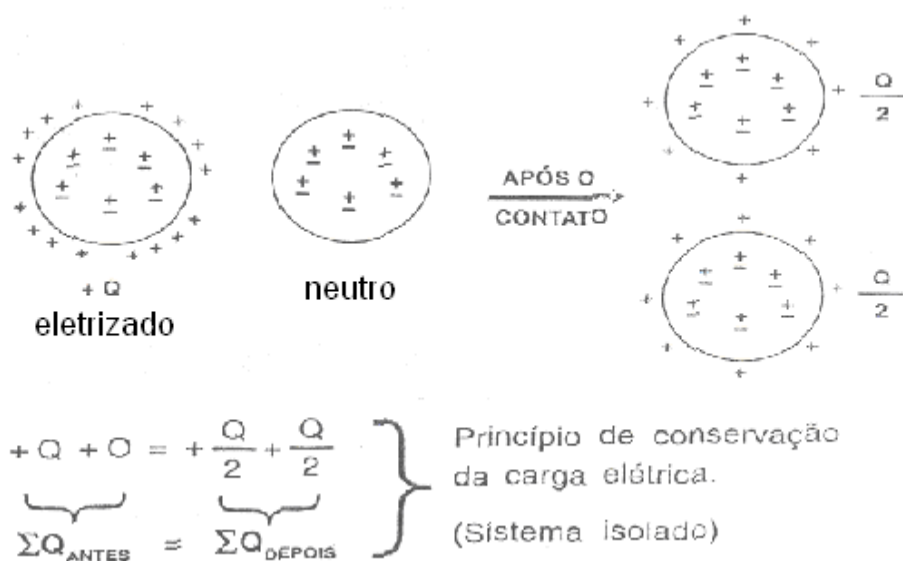
- Na eletrização por atrito, pelo menos um dos corpos deve ser isolante. Se atritarmos dois condutores, eles **não** vão manter a eletrização (os elétrons retornam ao corpo original antes que se desfaça a interação).

b) Por contato:

A eficiência nessa forma de eletrização vai depender de os corpos serem condutores ou isolantes. Se um deles for isolante, a eletrização será local, isto é, vai restringir-se aos pontos de contato.

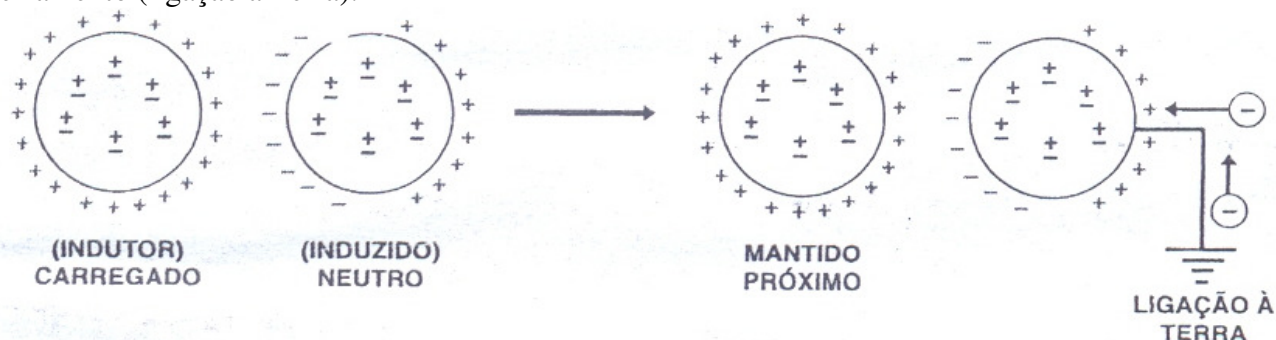
Se os dois corpos forem condutores, durante o contato, que pode durar uma fração de segundo, os elétrons distribuir-se-ão pelos dois corpos, de acordo com a capacidade que cada um tem de armazenar cargas elétricas.

Os corpos adquirem, no final do processo, **cargas de mesmo sinal**. O **módulo** das cargas adquiridas vai depender das dimensões dos corpos carregados. Se os corpos forem idênticos, as cargas se distribuem igualmente entre os mesmos.

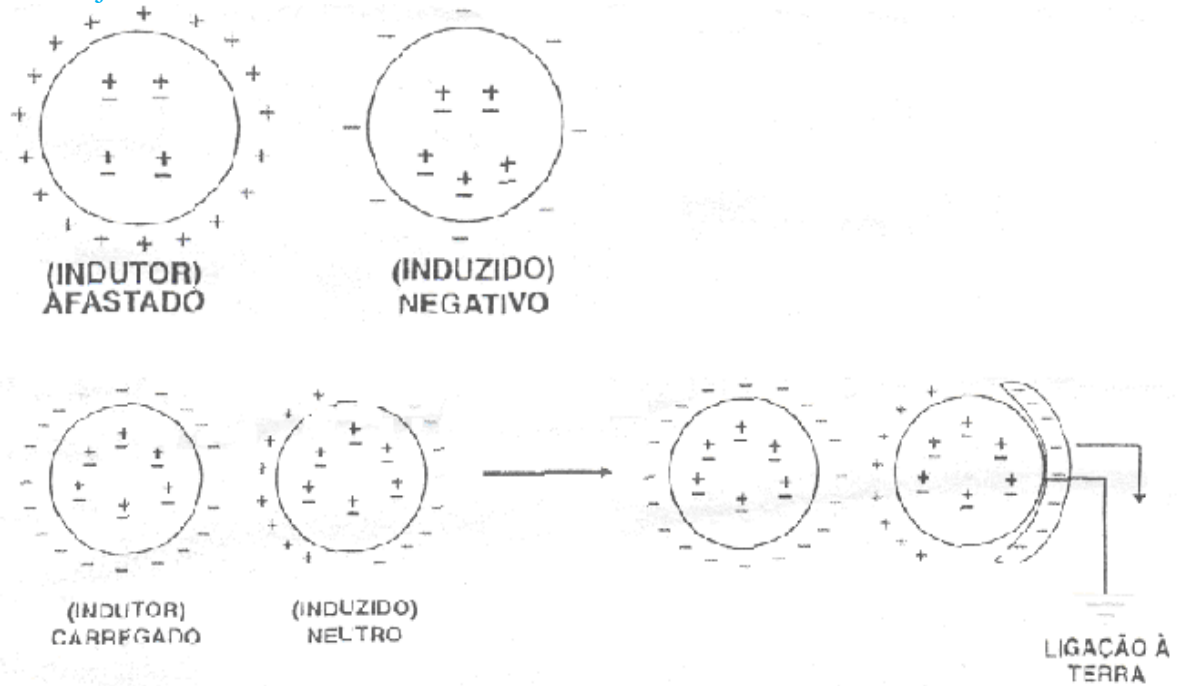


c) Por indução:

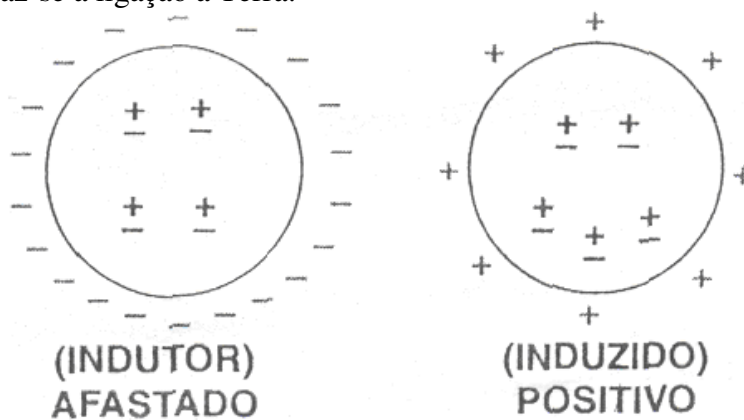
Os corpos são aproximados sem tocar um no outro. A eletrização é efetivada após, por exemplo, o aterramento (ligação à Terra):



Afasta-se o indutor e desfaz-se a ligação à Terra:

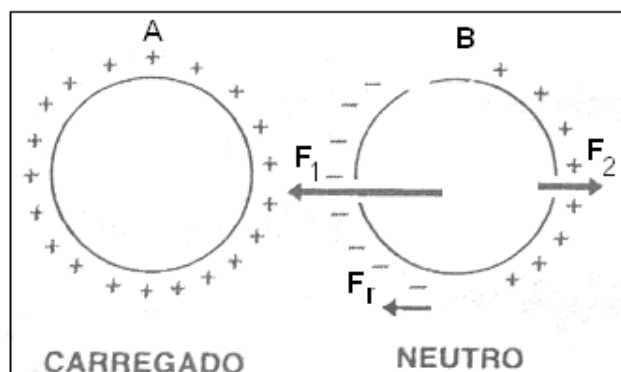


Afasta-se o indutor e desfaz-se a ligação à Terra:



Obs: Ligação a Terra: significa corpos de grandes dimensões que podem funcionar como doadores ou receptores de elétrons, quando conectados a um condutor carregado eletricamente.

Nota:

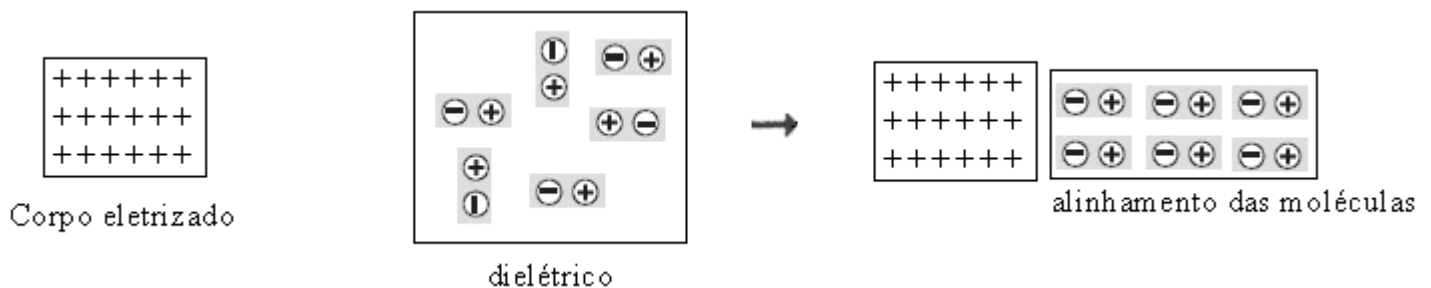


As cargas negativas de B são atraídas pelo corpo A (força F_1) enquanto as cargas positivas de B são repelidas por A (força F_2). Porém, a distância entre o corpo A e as cargas negativas de B é menor do que a distância entre o corpo A e as cargas positivas de B. Assim, pela Lei de Coulomb, $|F_1| > |F_2|$ o que faz com que a força resultante (F_r) seja de **atração**.

De modo geral, durante a indução, sempre haverá **atração** entre o corpo eletrizado (indutor) e o corpo neutro (induzido).

- **Choque elétrico do automóvel:** Ao se movimentarem, os automóveis se eletrizam por atrito com o ar. Isso é mais notado em climas secos. É muito comum um passageiro levar um choque quando um ônibus (por exemplo) acaba de chegar ao ponto: basta ele encostar-se a qualquer uma das partes metálicas do veículo. Nesse caso, o passageiro faz o papel de fio-terra (corpo de grandes dimensões: Terra, uma estrutura metálica).

Polarização de um isolante (dielétrico)

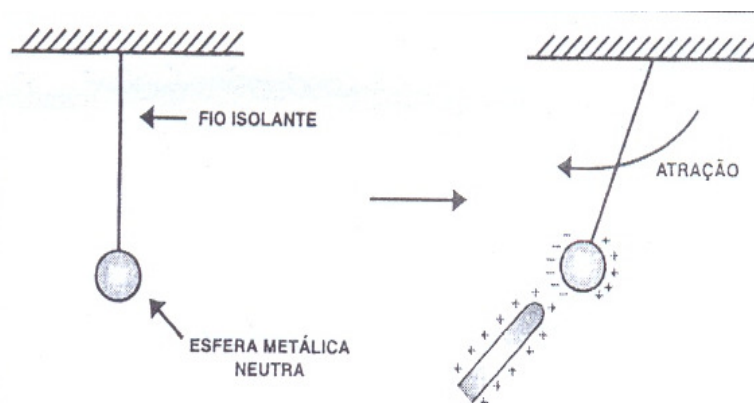


A polarização é um fenômeno característico de substâncias isolantes, uma vez que, não possuindo elétrons livres, **apenas** orienta suas moléculas.

ELETROSCÓPIOS

São dispositivos que nos permitem verificar se um corpo está eletrizado.

a) **PÊNDULO ELÉTRICO:**

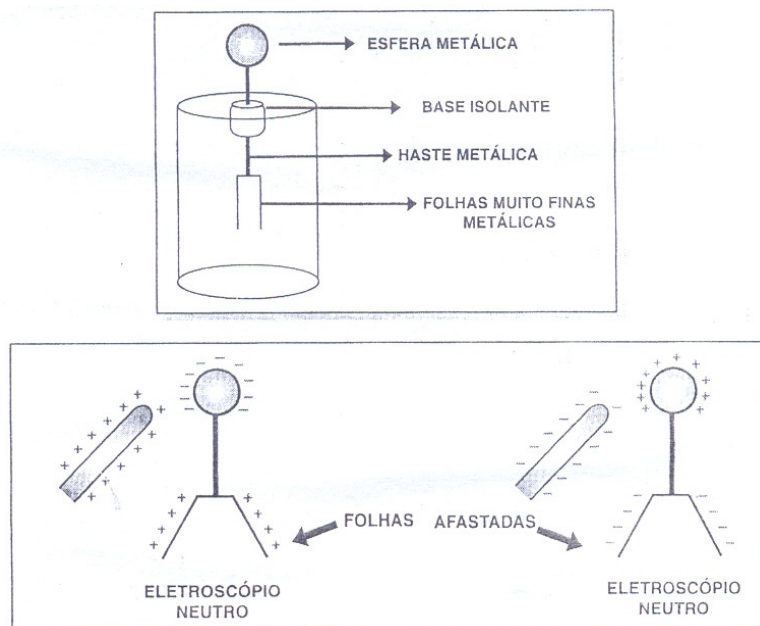


Neste experimento, verificamos que:

- **Atração:** sinais opostos ou, pelo menos, um CARREGADO e outro NEUTRO.
- **Repulsão:** sinais iguais.

b) **ELETROSCÓPIO DE FOLHAS**

É constituído, basicamente, de duas lâminas metálicas ligadas por uma haste condutora a uma esfera metálica. Aproximando um corpo eletrizado positiva ou negativamente da esfera, ocorre a indução eletrostática resultando no afastamento das lâminas.

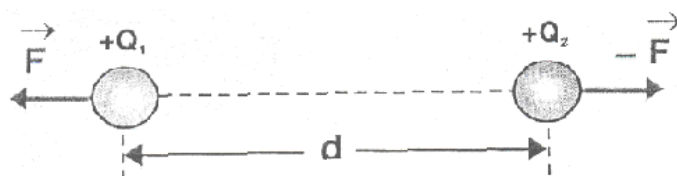


FORÇA ELÉTRICA

LEI DE COULOMB:

A Lei de Coulomb incorporada à estrutura da Física Quântica, descreve corretamente as forças que ligam os átomos e as moléculas entre si para formar os sólidos e os líquidos (e todas as estruturas vivas).

“A intensidade da força de atração ou de repulsão entre duas cargas elétricas é diretamente proporcional ao produto dos valores absolutos das cargas e inversamente proporcionais ao quadrado da distância que as separa”.



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

$k \rightarrow$ constante eletrostática do meio.

No vácuo $\rightarrow k_0 = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$

Nota:

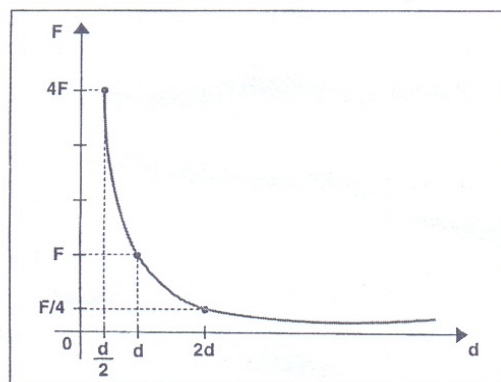
$$\vec{F} = -\vec{F}$$

Terceira Lei de Newton

Nota: Daniel Bernoulli (1760) sugeriu esta expressão, mas foi Coulomb (1785) que fez a verificação experimental, utilizando uma balança de torção, que foi adaptada por Cavendish para determinar a constante G da Lei de Gravitação de Newton.

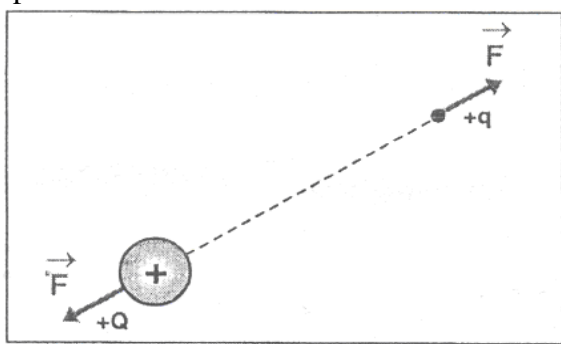
O gráfico abaixo revela como a intensidade da força elétrica varia com os módulos das cargas e com a distância.

GRÁFICO $F \times d$:



CAMPO ELÉTRICO: agente transmissor de interações elétricas.

Região do espaço ao redor de uma carga em que, se colocando uma carga muito pequena (carga de prova ou carga teste) esta fica submetida a uma força de natureza elétrica. Seria a força elétrica para todos os Coulomb de carga colocada nesse ponto.



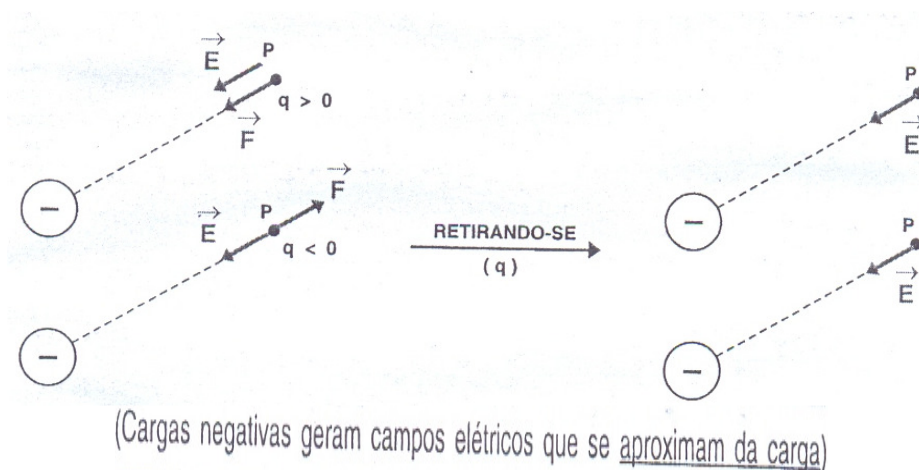
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

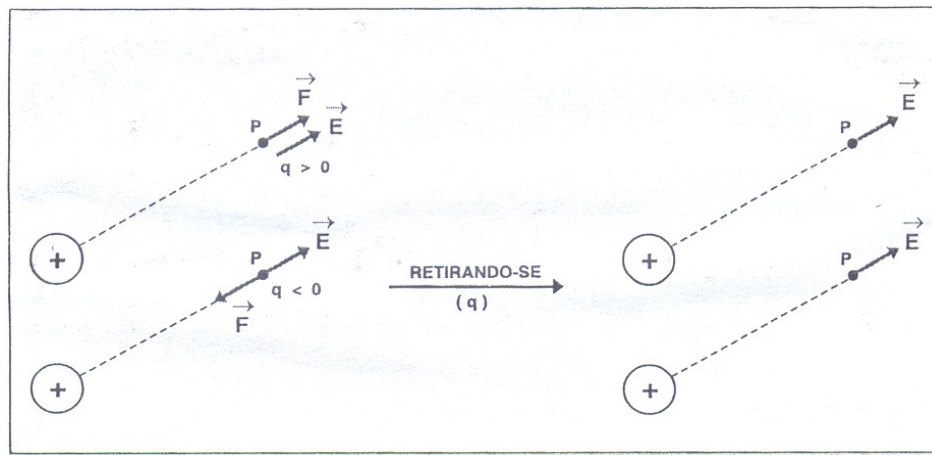
Proposto por Faraday, na primeira metade do século XIX, foi criado a partir da necessidade de se explicar o fenômeno da ação à distância. Como é possível um bastão eletrizado atrair ou repelir um pêndulo? Como o bastão exerce essa ação? Como o pêndulo “sente” essa ação?

VETOR CAMPO ELÉTRICO

O campo elétrico pode ser representado, em cada ponto do espaço, por um vetor $\vec{E}$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \left\{ \begin{array}{l} \vec{E} \text{ e } \vec{F} \text{ terão mesmo sentido para } q > 0. \\ \vec{E} \text{ e } \vec{F} \text{ terão sentidos opostos para } q < 0. \end{array} \right.$$





(Cargas positivas geram campos elétricos que se afastam da carga)

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \left. \begin{array}{l} \vec{E} \text{ e } \vec{F} \text{ terão mesmo sentido para } q > 0. \\ \vec{E} \text{ e } \vec{F} \text{ terão sentidos opostos para } q < 0. \end{array} \right\}$$

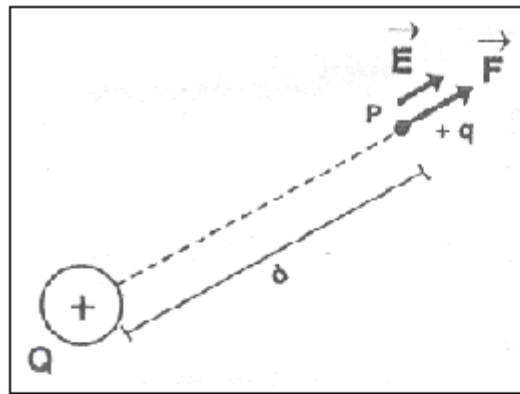
No Sistema Internacional, a unidade de campo elétrico é o Newton / Coulomb (**N/C**).

Exemplo: Considere uma partícula eletrizada em repouso. Esta partícula cria um campo elétrico. Pode a partícula mover-se pela ação do campo elétrico que ela criou?

Resposta: Não, pois de acordo com o princípio da inércia, uma partícula não pode aplicar força sobre si mesma. O campo elétrico que uma partícula eletrizada cria age sobre o resto do *UNIVERSO*, porém não atua sobre a própria partícula.

INTENSIDADE DO VETOR CAMPO ELÉTRICO ASSOCIADO A UMA CARGA PUNTIFORME NUM PONTO SITUADO A UMA DISTÂNCIA DA CARGA

As fontes de campo eletrostático são corpos eletrizados. Chamamos esses corpos de fontes de campo elétrico ou cargas-fonte (Q). Para obter o vetor campo elétrico $\vec{E}$ iremos colocar uma carga de prova a uma distância d .



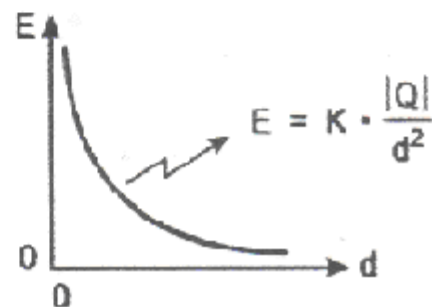
$$|\vec{E}| = \frac{|\vec{F}|}{q}$$

$$|\vec{F}| = \frac{k \cdot |Q| \cdot |q|}{d^2}$$

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

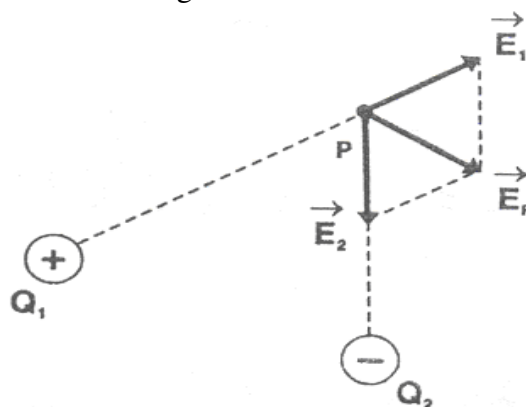


$$|\vec{E}| = \frac{K |Q|}{d^2}$$



Obs.: grandeza vetorial não assume valor negativo.

O vetor campo elétrico resultante devido à ação simultânea de cargas fonte é dada pela soma vetorial dos vetores campo elétrico correspondentes a cada carga:

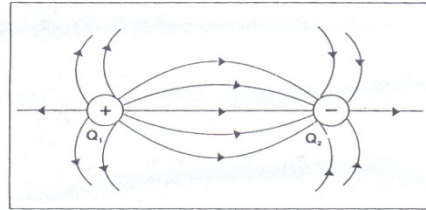
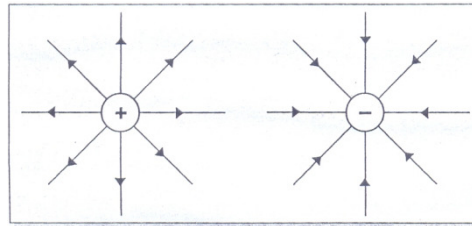


$$\vec{E}_R = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

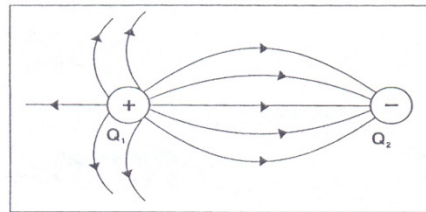
Obs.: Usar a lei do co-seno para achar o $\mathbf{E}_R$.

LINHAS DE FORÇA (são imaginárias)

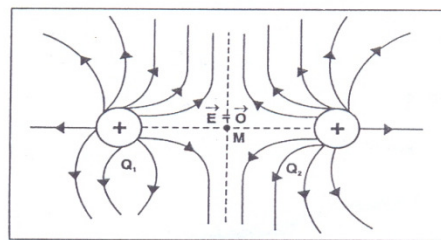
São linhas que servem para mostrar o comportamento do campo elétrico numa região do espaço. O número de linhas é proporcional ao módulo de carga.



$$|Q_1| = |Q_2|$$

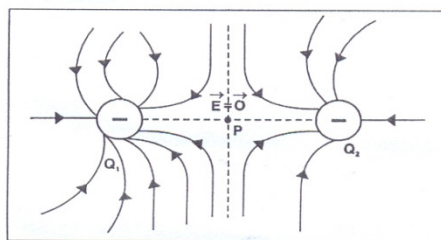


$$|Q_1| > |Q_2|$$



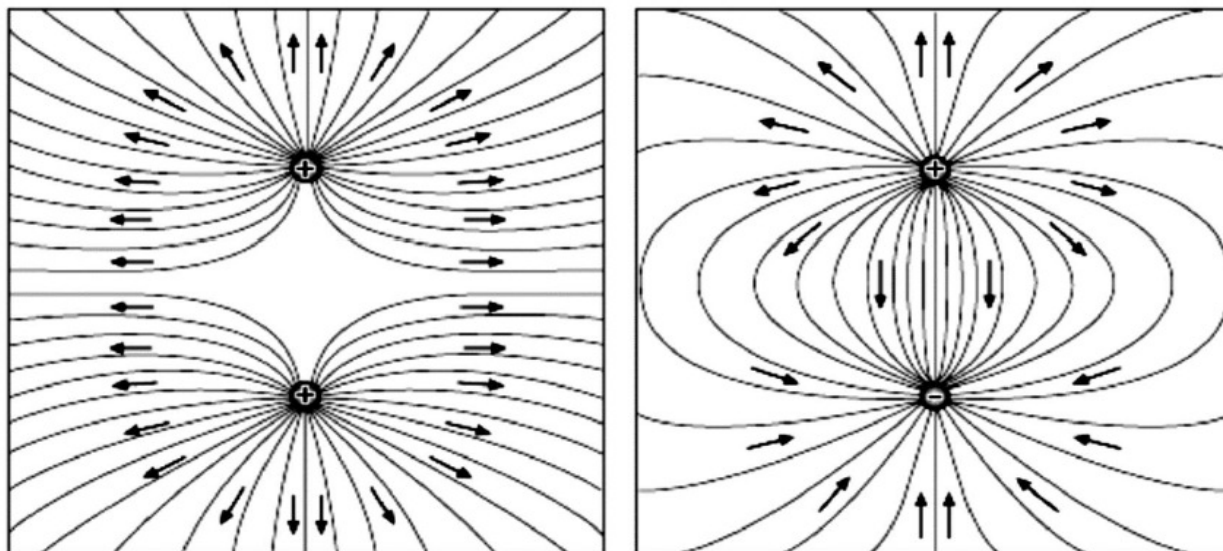
$$|Q_1| = |Q_2|$$

O campo se anula
no ponto médio $\underline{M}$.



$$|Q_1| > |Q_2|$$

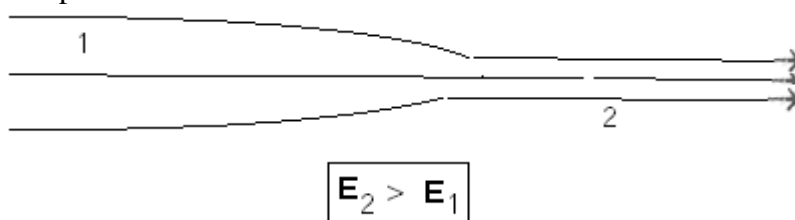
Repare que o campo se anula num ponto P mais próximo da carga de menor módulo.



Faraday entendia a repulsão e atração entre cargas elétricas como efeitos indiretos, produzidos pelas linhas de força.

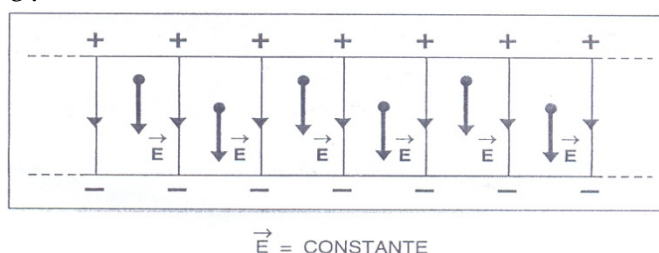
PROPRIEDADES DAS LINHAS DE FORÇA

- Linhas de força “nascem” em cargas (+).
- Linhas de força “morrem” em cargas (-).
- Duas linhas de força nunca se cruzam.
- O afastamento entre linhas de força está relacionado com a intensidade do campo na região: em linhas de força muito próximas o campo é muito intenso.



CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

Região em que as linhas de força são paralelas e os vetores $\vec{E}$, portanto, tem o mesmo *MÓDULO*, mesma *DIREÇÃO* e mesmo *SENTIDO*.



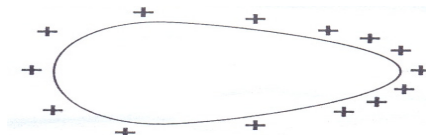
DENSIDADE SUPERFICIAL DE CARGA

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

Unidade:

$$\xrightarrow{\text{S. I.}} [\delta] = \frac{\text{Coulomb}}{\text{metro}^2} = \frac{\text{C}}{\text{m}^2}$$

Portanto, num condutor eletrizado, a densidade superficial de carga é maior em regiões onde a área é menor (regiões pontiagudas). Esse fato é conhecido como **poder das pontas**.



Poder das pontas (pára-raios):

Se o campo elétrico ficar muito intenso, ele ioniza os átomos dos elementos que compõem o ar. Com isso, o ar deixa de ser isolante e torna-se condutor elétrico.

A função do pára-raios é propiciar um caminho seguro para a descarga elétrica atmosférica. Ligando-o a terra, a energia elétrica é conduzida seguramente para o solo.

LEITURA: Raios! Relâmpagos! Trovões

As nuvens, em sua maioria, se carregam positivamente. Elétrons do solo sobem através das barras de um pára-raios. Nas pontas desses instrumentos, há um acúmulo de elétrons. Entre as nuvens e o pára-raios surge um campo elétrico. Quanto mais a nuvem fica carregada e quanto mais se aproxima do pára-raios, maior se torna o valor do campo elétrico.

Na maioria das vezes, os elétrons que escapam do pára-raios acabam por neutralizar as cargas positivas das nuvens. Mas, quando não há fluxo suficiente de elétrons, o valor do campo elétrico fica tão alto que ocorrem descargas para a nuvem.

Essas descargas são na verdade os raios.

Se não temos esses aparelhos (pára-raios) instalados em um prédio, essas descargas podem ocorrer através do próprio prédio, ou através de uma árvore próxima, o que pode provocar prejuízos de ordem financeira ou até problemas de saúde.

Entre duas nuvens, podem ocorrer o mesmo tipo de fenômeno. O campo elétrico agora é criado entre uma nuvem carregada positivamente e outra carregada negativamente. O raio nada mais é que uma descarga elétrica entre as nuvens. Você quer saber porque o céu fica claro? Simples. Durante a descarga, esse raio acaba aquecendo o ar, o que produz luminosidade. À esse efeito luminoso damos o nome de relâmpago. O ruído causado pelo raio? Recebe o nome de trovão.

O quê? Está chovendo agora, enquanto você está lendo este artigo? Você está dentro de um automóvel? Por que esse medo? Os raios? Um condutor metálico, com o carro em que você se encontra, está em equilíbrio eletrostático, o que isola seu interior de qualquer tipo de descarga elétrica na parte de fora. Podemos afirmar, que no interior do carro, o campo elétrico é zero ou praticamente zero.

CONDUTORES EM EQUILÍBRIO ELETROSTÁTICO

Campo no interior do condutor:

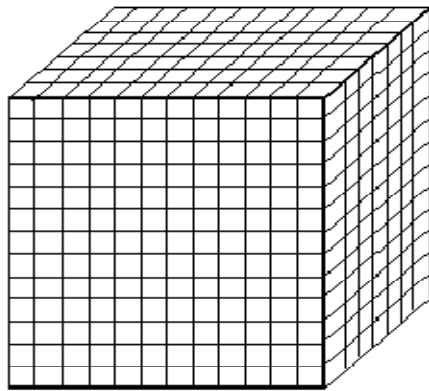
$$\vec{E}_i = \vec{0}$$

No interior do condutor em equilíbrio é nulo em **todos** os pontos internos do condutor.

Se isso não fosse verdade, forças resultantes atuariam nas cargas deslocando-as, o que contradiz a hipótese de equilíbrio eletrostático.

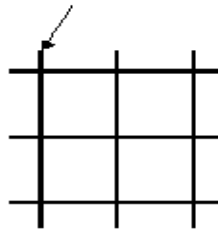
Gaiola de Faraday: se encostarmos a mão na parte interna da gaiola nada acontece ($E=0$), ao passo que se isto for feito na sua parte mais externa, você levará choque ($E \neq 0$).

A estrutura metálica blindo o seu interior contra raios elétricos externos. A blindagem eletrostática é muito utilizada em eletrônica e eletricidade a fim de libertar certos equipamentos sensíveis da influencia de campos elétricos externos.



Elemental Faraday Cage

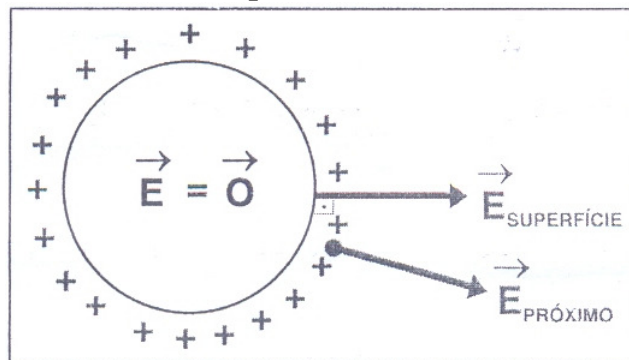
d = diameter of rebar conductor



s = center-to-center spacing of rebar conductor

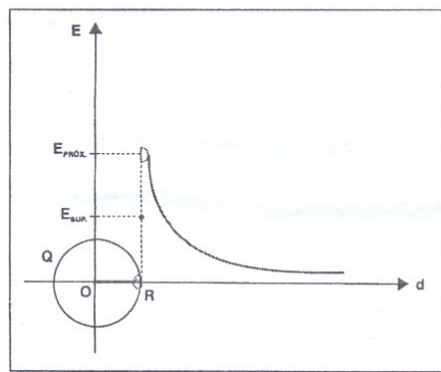
Exemplo: Porque o radio de um carro não consegue pegar as estações satisfatoriamente sem a antena externa?

Campo na superfície e nas proximidades da superfície:



$$E_{\text{próximo}} = 2 \cdot E_{\text{superfície}}$$

Exemplo: condutor esférico.



Nos pontos externos, a esfera pode ser considerada como uma carga puntiforme, ou seja,

$$E_{\text{externos}} = \frac{KQ}{d^2}$$

$$E_{\text{int}} = 0$$

$$E_{\text{superfície}} = \frac{1}{2} \frac{KQ}{R^2}$$

$$E_{\text{próximo}} = \frac{KQ}{R^2}$$

Demonstra-se (Lei de Gauss) que o campo nas proximidades da superfície do condutor tem módulo duas vezes maior que o do campo na superfície do condutor.

Considerações para a construção do gráfico do módulo do campo elétrico em função da distância d .

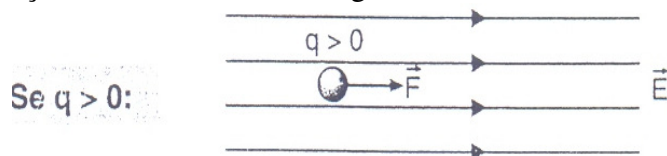
- Para $d > R$: o campo elétrico é calculado imaginando-se toda a carga no centro da esfera e a sua intensidade é inversamente proporcional ao quadrado da distância do ponto considerado ao centro da esfera, o que implica um gráfico denominado hipérbole cúbica.
- O máximo valor do módulo do campo externo é obtido num ponto infinitamente próximo à superfície $|E_{\text{próximo}}|$.
- Para $d = R$: a intensidade do campo é reduzida à metade do valor $|E_{\text{superfície}}|$ e no gráfico ele é representado por um ponto isolado.
- Para $d < R$: o campo elétrico é nulo ainda em razão da condição de equilíbrio eletrostático.

Propriedades do campo em condutores

- É nulo o campo elétrico no seu interior
- É constante o potencial elétrico em todos os seus pontos, internos ou da superfície
- Qualquer excesso de carga existente num condutor isolado está inteiramente localizado na sua superfície externa
- O vetor campo elétrico tem direção perpendicular à superfície condutora
- Há maior densidade das cargas elétricas nas regiões de maior curvatura (poder das pontas).
- A intensidade do campo elétrico nas extremidades do condutor é proporcional à densidade de cargas da respectiva região.

MOVIMENTO DE CARGAS ELÉTRICAS NO CEU

Vamos considerar apenas a força elétrica atuando na carga.



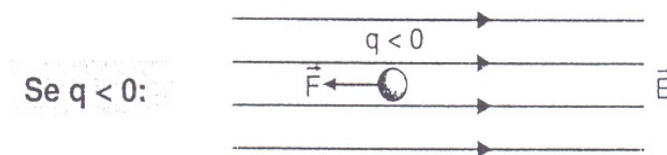
A carga q recebe a ação de uma força elétrica na mesma direção e no mesmo sentido

O movimento de carga será:

$V_0 = 0 \rightarrow$ a partícula inicia um movimento uniformemente acelerado a favor das linhas de força.

$V_0 \neq 0$ e no mesmo sentido das linhas $\rightarrow$ a partícula descreve um movimento uniformemente acelerado.

$V_0 \neq 0$ e no sentido contrário das linhas $\rightarrow$ a partícula descreve um movimento uniformemente retardado.



A carga q recebe a ação de uma força elétrica na mesma direção e em sentido contrário ao das linhas de força.

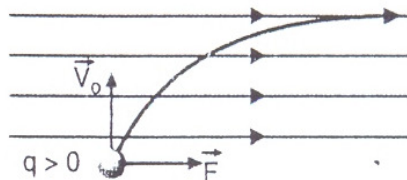
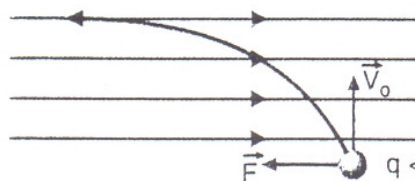
O movimento da carga será:

$V_0 = 0 \rightarrow$ a partícula inicia um movimento uniformemente acelerado no sentido contrário ao das linhas de força.

$V_0 \neq 0$ e no mesmo sentido das linhas $\rightarrow$ a partícula descreve um movimento uniformemente retardado.

$V_0 \neq 0$ e no sentido contrário ao das linhas $\rightarrow$ a partícula descreve um movimento uniformemente acelerado.

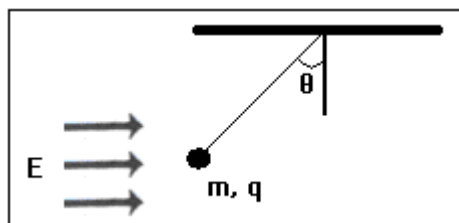
Se o lançamento for **perpendicular** às linhas de força, temos:



A trajetória descrita pela carga elétrica é **parabólica**.

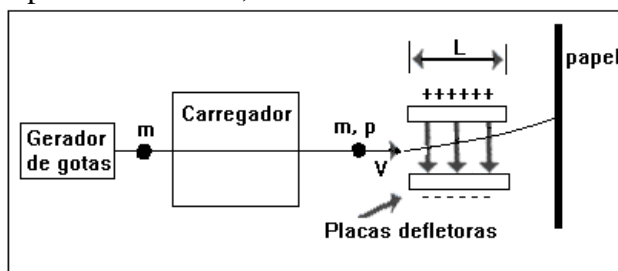
Exercícios (alguns dados serão passado no quadro)

1) Considere uma esfera de massa m e carga q pendurada no teto e sob a ação da gravidade e do campo elétrico E como indicado na figura abaixo.



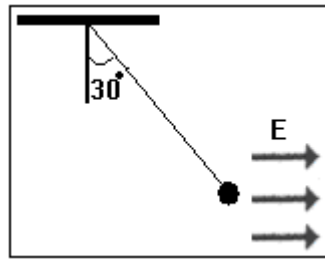
- Qual é o sinal da carga q ? Justifique sua resposta.
- Qual é o valor do ângulo θ no equilíbrio?

2) Nas impressoras a jato de tinta, os caracteres são feitos a partir de minúsculas gotas de tinta que são arremessadas contra a folha de papel. O ponto no qual as gotas atingem o papel é determinado eletrostaticamente. As gotas são inicialmente formadas, e depois carregadas eletricamente. Em seguida, elas são lançadas com velocidade constante v em uma região onde existe um campo elétrico uniforme entre duas pequenas placas metálicas. O campo deflete as gotas conforme a figura abaixo. O controle da trajetória é feito escolhendo-se convenientemente a carga de cada gota. Considere uma gota típica com massa $m = 1,0 \times 10^{-10}$ Kg, carga elétrica $q = -2,0 \times 10^{-13}$ C, velocidade horizontal $v = 60$ m/s atravessando uma região de comprimento $L = 8,0 \times 10^{-3}$ m onde há um campo elétrico $E = 1,5 \times 10^6$ N/C.



- Determine a razão F_E/F_p entre os módulos da força elétrica e da força peso que atuem sobre a gota de tinta.
- Calcule a componente vertical da velocidade da gota após atravessar a região com campo elétrico.

3) Uma bolinha B, carregada positivamente, está suspensa por um fio isolante que forma um ângulo de 30° com a vertical, quando imersa num campo elétrico uniforme horizontal, conforme indicado na figura ao lado. Sejam F a força que o campo elétrico exerce sobre B, P o peso de B e T a força exercida pelo fio sobre B.

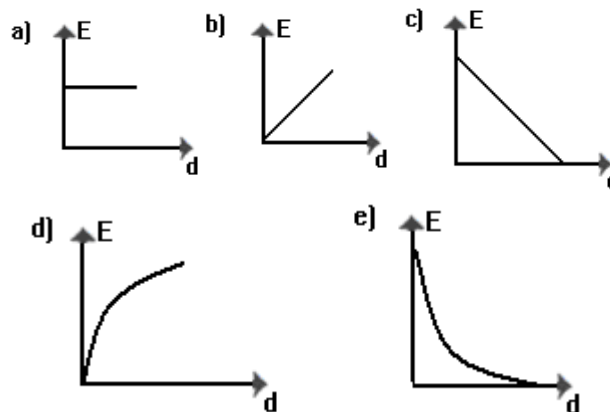


a) Reproduza a figura da bolinha indicando as três forças.

b) Sendo $|P| = 3,0 \times 10^{-4} \text{ N}$, qual é o valor de $|F|$?

c) Sendo de $5,0 \mu\text{C}$ a carga da bolinha, qual é a intensidade de E ?

4) (UFBA) Qual dos gráficos a seguir melhor representa o módulo do campo elétrico em função da distância d até a carga elétrica puntiforme geradora?



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

a) 3 vezes menor b) 6 vezes menor c) 9 vezes menor d) 12 vezes menor e) 9 vezes maior

6) Suponha cinco esferas metálicas idênticas A, B, C, D e E. A esfera A é a única carregada com uma carga Q . Ela é posta em contato com as esferas B, C, D e E sucessivamente. Quais são as cargas das esferas após todo o processo e qual é o valor da força entre elas quando colocadas a uma distância d ?

7) Calcule a força elétrica entre duas cargas pontuais de valores $Q_1 = 5 \times 10^{-6} \text{ C}$ e $Q_2 = -3 \times 10^{-7} \text{ C}$, quando separadas por 10 cm? Dado: $K_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$

8) Suponha que duas esferas idênticas tenham carga Q e $2Q$ e que elas estejam separadas por uma distância d . Qual a força entre elas? Se as esferas forem postas em contato, qual será a nova carga de cada uma, e qual será o novo valor da força entre elas se forem separadas novamente pela distância d ?

9) Compare a Lei de Coulomb com a Lei da Gravitação universal de Newton.

10) Compare a força elétrica entre duas cargas de 1C situadas uma a um metro da outra com a força gravitacional entre duas massas de 1kg, também separadas pela mesma distância. É justificável desprezar efeitos gravitacionais quando tratamos com sistemas elétricos?

11) Calcule a força elétrica entre o próton e o elétron do átomo de hidrogênio, supondo que eles estão separados por um Angstrom. Considerando que esta é a força responsável por manter o elétron girando em volta do próton, calcule a aceleração centrípeta, a velocidade escalar do elétron na órbita e sua energia cinética.

12) Três pequenas esferas são dotadas de cargas elétricas q_1 , q_2 e q_3

Sabe-se que:

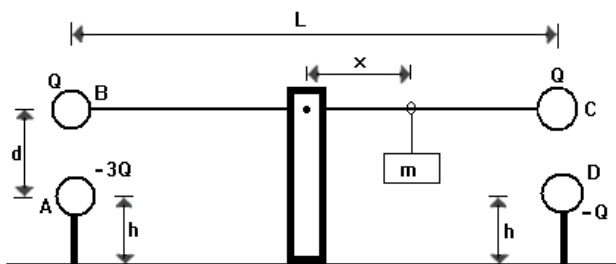
- As esferas se encontram no vácuo, sobre um plano horizontal sem atrito.
- Os centros das esferas se encontram sobre uma mesma horizontal.
- As esferas se encontram em equilíbrio nas posições representadas no esquema.
- A carga da esfera intermediária é positiva e tem valor $q_2 = 2,70 \times 10^{-4} \text{ C}$.
- A distância entre as esferas tem valor $d = 0,12 \text{ m}$.

a) Determine os sinais das cargas q_1 e q_3 , justificando a resposta.

b) Calcule os valores das cargas q_1 e q_3 .

c) Uma vez fixadas em suas posições as esferas q_1 e q_3 , qual o tipo de equilíbrio (estável, instável e indiferente) da esfera intermediária? Justifique.

13) Considere uma barra de comprimento ℓ e massa desprezível, presa pelo centro a um suporte, como mostra a figura a seguir.



a) Qual é o valor de x para que a barra permaneça horizontal? A aceleração da gravidade vale g , e a força entre as cargas nas extremidades opostas da barra pode ser desprezada.

b) Qual é o valor da reação no ponto de apoio?

c) Se a reação no ponto de apoio vale $N = 2mg$, qual o valor da distância d

14) O campo elétrico em um ponto gerado por uma carga puntual é a força elétrica que atua sobre uma carga de prova colocada nesse ponto, dividida pelo módulo da carga de prova, ou seja, é a força por unidade de carga. Assinale a opção correta com relação ao campo elétrico e suas propriedades.

A O campo elétrico tem a mesma dimensão e a mesma ordem de grandeza que o campo gravitacional.

B As linhas de força de um campo elétrico são trajetórias descritas por cargas elétricas abandonadas em repouso no campo.

C A orientação do vetor campo elétrico é, por convenção, aquela do movimento de uma carga negativa abandonada no campo.

D Linhas de força de um campo elétrico podem cruzar-se, pois partículas carregadas lançadas no campo cruzam com linhas de força diferentes.

15) Uma esfera oca (uma casca esférica) de metal está eletricamente neutra (sem excesso de carga). Uma pequena quantidade de carga negativa é repentinamente colocada em um ponto P na esfera, tornando-a eletricamente carregada. Focalize sua atenção no excesso de carga negativa poucos segundos depois, e identifique a alternativa correta.

(A) O excesso de carga estará igualmente distribuído sobre as superfícies interna e externa da casca esférica.

(B) O excesso de carga estará distribuído igualmente sobre toda a superfície externa da esfera.

(C) Todo o excesso de carga estará nas vizinhanças do ponto P.

(D) A maior parte da carga adicionada continuará no ponto P, mas uma pequena parte estará espalhada em outras regiões da esfera.

(E) Não há mais excesso de carga.

