

- **Programa resumido**

- **Parte 1**

- 1. Lei de Coulomb e campo elétrico
 - 2. Lei de Gauss
 - 3. Energia e potencial elétrico
 - 4. Capacidade e dielétricos
 - 5. Corrente elétrica e condutores
 - 6. Circuitos *dc*

- **Parte 2**

- 7. Campo magnético
 - 8. Fontes de campo magnético
 - 9. Lei de Faraday
 - 10. Indutância

Noções elementares de eletricidade e magnetismo

0 – Fenómenos elétricos e magnéticos

0.1 – Eletrização

0.2 – A carga elétrica

0.3 – Magnetização

0.4 – Dipolos magnéticos

0.5 – Breve história da eletricidade e do magnetismo

0.6 – Ação à distância mediada por um campo

0.6.1 – Linhas de campo magnético

0.6.2 – Linhas de campo elétrico

1 – Lei de Coulomb e campo elétrico

1.1 – Lei de Coulomb

1.2 – Campo elétrico

0 – Fenómenos elétricos e magnéticos

- Fenómenos elétricos



0 – Fenómenos elétricos e magnéticos

- Eletrização



O âmbar é uma resina fóssil sendo muito usado para a manufatura de objetos ornamentais. Embora não seja um mineral, às vezes é considerado e usado como uma gema. Sabe-se que as árvores (principalmente os pinheiros) cuja resina se transformou em âmbar viveram há milhões de anos em regiões de clima temperado. Nas zonas cujo clima era tropical, o âmbar foi formado por plantas leguminosas.

[...]

O âmbar verdadeiro tem sido chamado às vezes de *karabe*, uma palavra da derivação oriental significando "o que atrai a palha", em alusão ao poder que o âmbar possui de adquirir uma carga elétrica pela fricção. Esta propriedade, observada primeiramente por Thales de Miletus, sugeriu a palavra "eletricidade", do grego *elektron* nome aplicado, entretanto, ao âmbar e a uma liga de ouro e prata.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%82mbar>

0 – Fenómenos elétricos e magnéticos

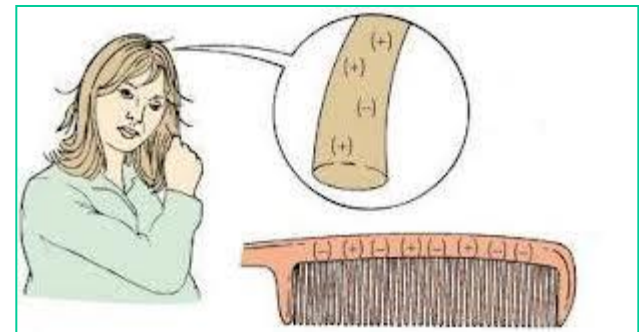
- **Eletrização**

- 1- Eletrização por atrito ou fricção**

Tem-se a eletrização por atrito quando se friccionam dois corpos. Por exemplo: uma caneta com uma peça de roupa.

Verifica-se que a caneta fica eletrizada por ter a propriedade de atrair pequenos pedaços de papel.

Outros exemplos



No processo de eletrização por atrito ou fricção, os dois corpos ficam carregadas com cargas de sinais opostos.

0 – Fenómenos elétricos e magnéticos

2- Eletrização por contacto

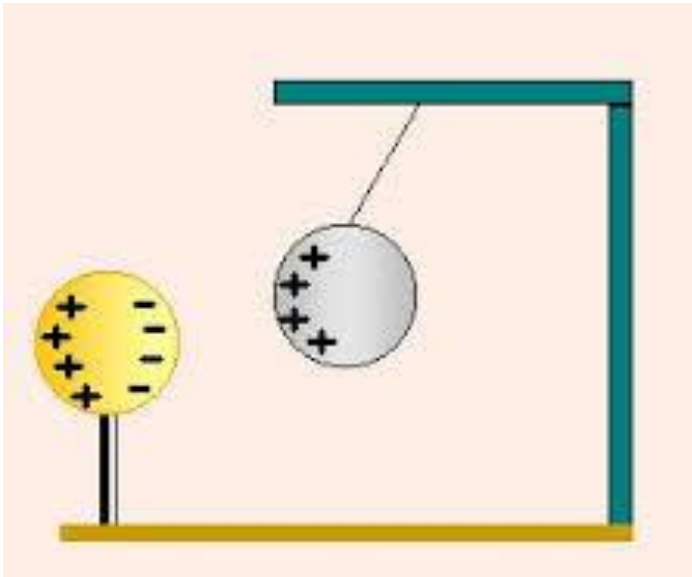
Quando dois corpos entram em contacto, estando um neutro e o outro carregado, observa-se que ambos ficam carregados com cargas de mesmo sinal.



0 – Fenómenos elétricos e magnéticos

• 3- Eletrização por indução

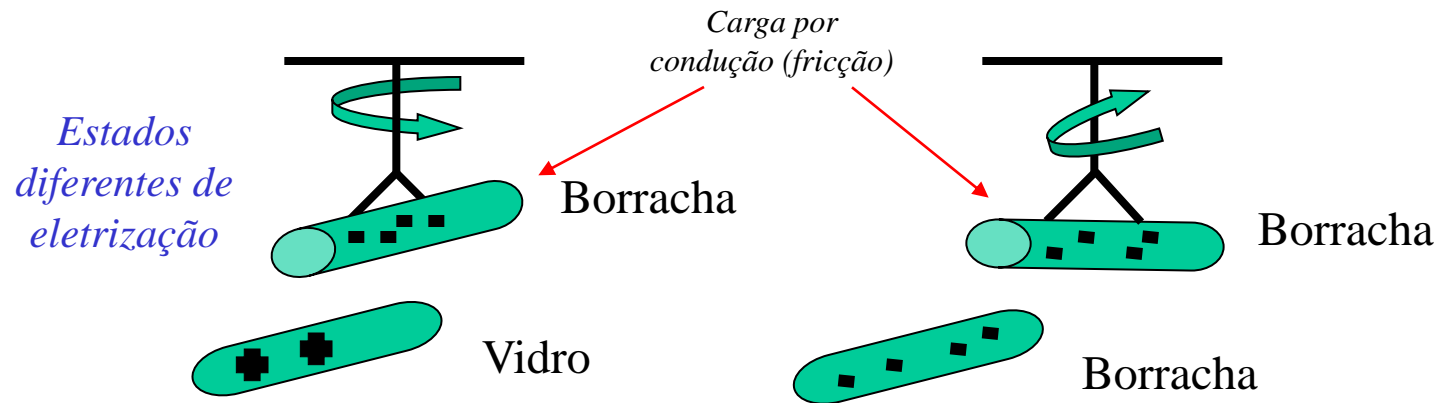
- A eletrização por indução ocorre quando se tem um corpo que está inicialmente eletrizado e é colocado próximo de um corpo neutro.
- Assim, a configuração das cargas do corpo neutro modifica-se de forma que as cargas de sinal contrário às do primeiro corpo tendem a aproximar-se do mesmo. Porém, as de sinal igual tendem a ficar o mais afastadas possível. Ou seja, na indução ocorre a separação entre algumas cargas positivas e negativas do corpo neutro.



0 – Fenómenos eléctricos e magnéticos

A carga eléctrica como propriedade da matéria

1. Há duas espécies de cargas eléctricas na natureza: positivas e negativas, com a propriedade: as cargas de espécies diferentes atraem-se e as da mesma espécie repelem-se.
(*Franklin, 1706-1790*)



2. A força entre as cargas varia com o inverso do quadrado de separação entre elas:

$$F \propto 1/r^2 \quad (\text{Coulomb, 1736-1806})$$

3. A carga conserva-se

(*Franklin*)

4. A carga é quantificada: $q = N \cdot e$

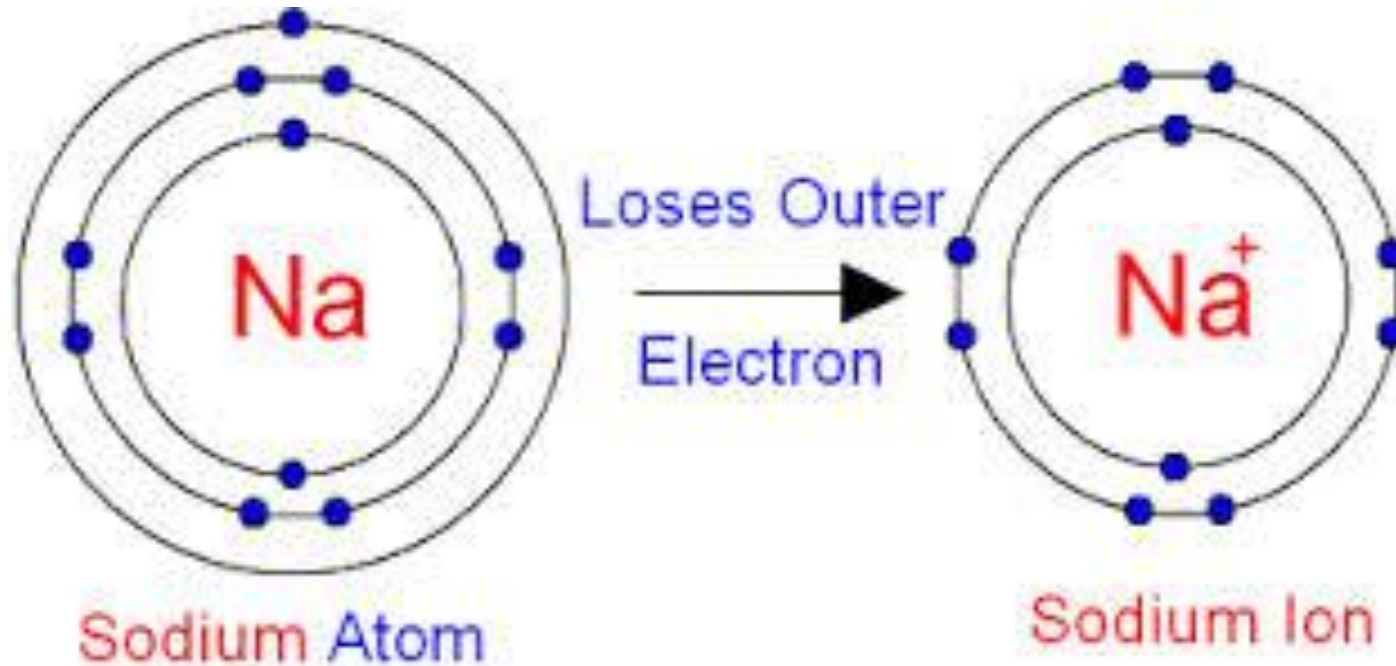
(*Millikan, 1909*)

eléctron: $-e$

protão : $+e$

$$e = 1.6022 \times 10^{-19} \text{ C}$$

0 – Fenómenos elétricos e magnéticos



0 – Fenómenos elétricos e magnéticos

- Fenómenos magnéticos

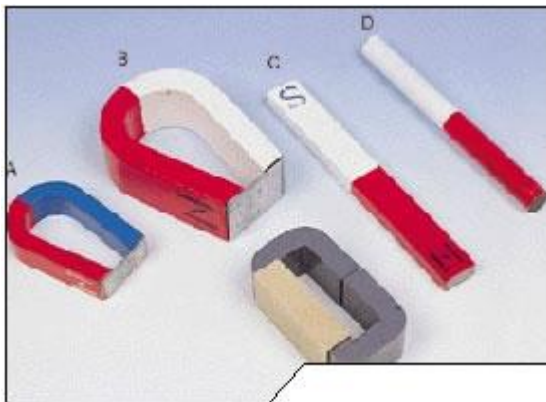


Pedra de Magnetite

<http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%8Dman>



http://www.smith.edu/hsc/museum/ancient_inventions/compass2.html



<http://nautilus.fis.uc.pt/astro/hu/magn/images/imagem60.jpg>

0 – Fenómenos elétricos e magnéticos

- Magnetização temporária
 - Por influência
 - Por contacto

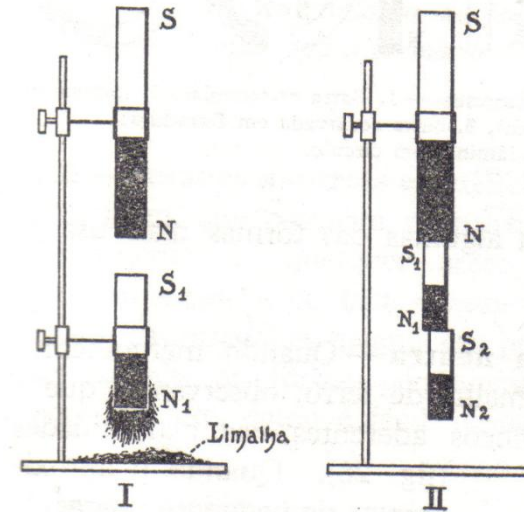
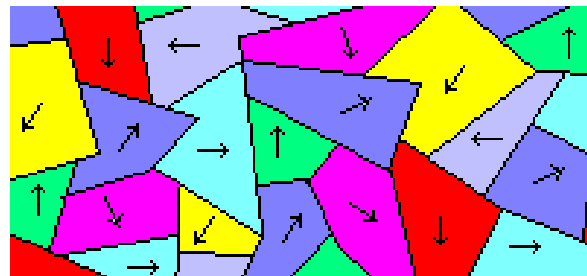
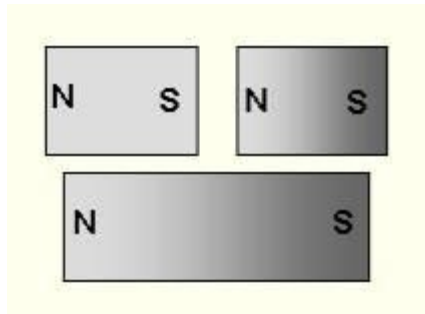


Fig. 29 — Magnetização. — I, por influência;
II, por contacto.

- Dipolos magnéticos



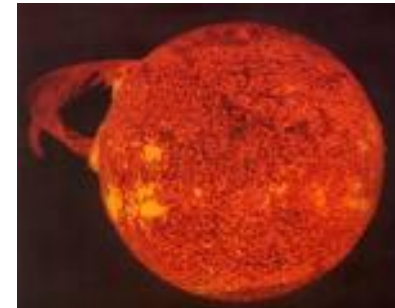
0 – Fenómenos eléctricos e magnéticos

- Breve história da electricidade e do magnetismo
- Magnetismo: chineses 2,000 A.C.
- Electricidade e Magnetismo: gregos 700 A.C.
 - Âmbar Friccionado atrai palha e penas.
 - Magnetite (Fe_3O_4) atrai o ferro
 - eléctrico \Rightarrow elektron (âmbar)
 - magnético \Rightarrow magnesia (distrito a Norte da Grécia)
- 1600 William Gilbert \Rightarrow electrificação é um fenómeno geral
- 1785 Charles Coulomb $\Rightarrow F \sim 1/r^2$
- 1ª Metade do Século XIX \Rightarrow Electricidade e Magnetismo fenómenos correlacionados
- 1820 Hans Oersted \Rightarrow agulha magnética desviava-se na vizinhança de um circuito eléctrico.
- 1831 Michael Faraday / Joseph Henry \Rightarrow fio condutor deslocava-se nas vizinhanças de um íman \Rightarrow corrente eléctrica no condutor (viz.)
- 1873 James Clerk Maxwell \Rightarrow leis do electromagnetismo.
- 1888 Heinrich Hertz \Rightarrow verificou as previsões de Maxwell, gerando ondas electromagnéticas no laboratório.

Desenvolvimentos práticos como a rádio e a televisão.

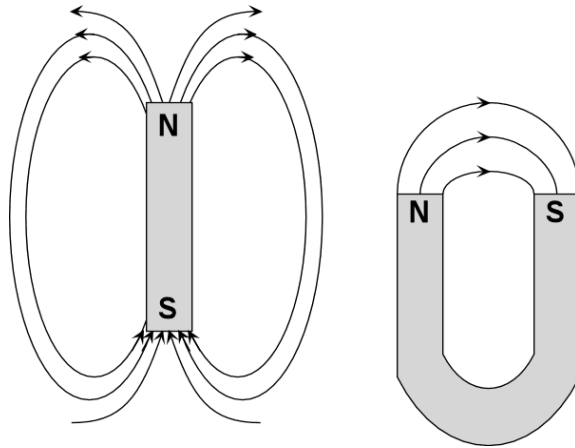
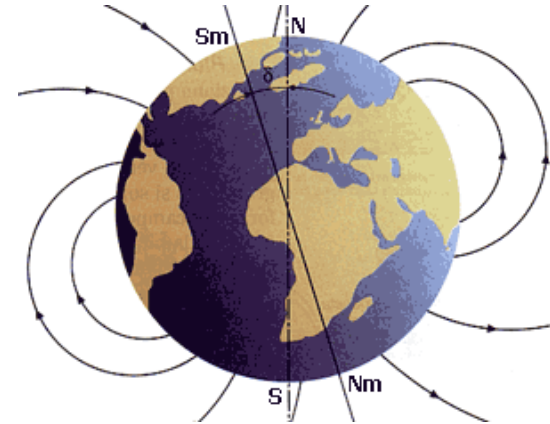
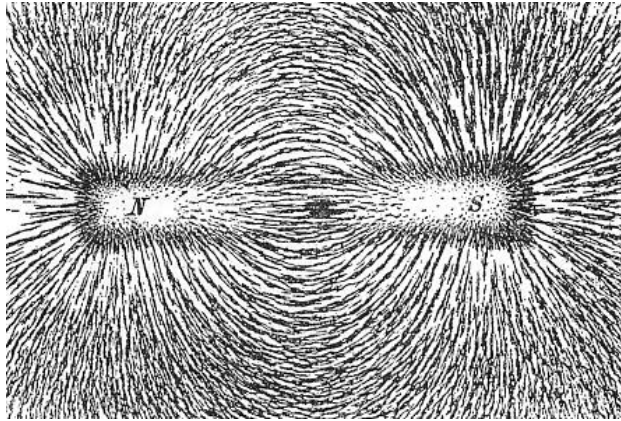
0 – Fenómenos elétricos e magnéticos

- Física dos fenómenos elétricos e magnéticos.
 - Operação de muitos dispositivos.
 - Forças interatômicas e intermoleculares.
 - Formação de sólidos e de líquidos.
 - Forças de contacto entre corpos.



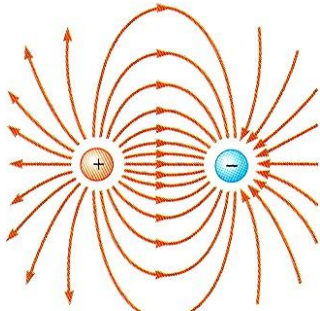
0 – Fenómenos elétricos e magnéticos

- Acção à distância mediada por um campo
 - Linhas de campo magnético

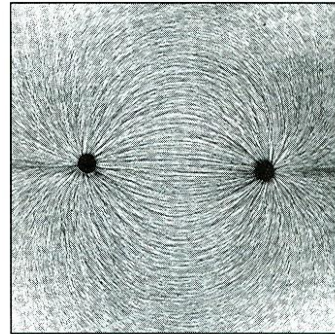


0 – Fenómenos eléctricos e magnéticos

- Acção à distância mediada por um campo
 - Linhas de campo eléctrico

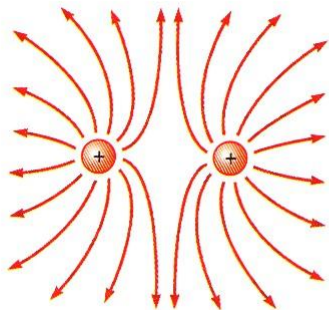


(a)

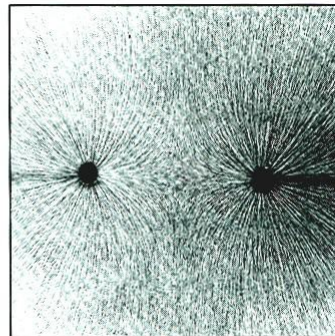


(b)

Campo eléctrico produzido por duas cargas iguais (q) mas de sinal contrário. Esta configuração denomina-se de *dipolo eléctrico*. O nº de linhas que começam na carga (+) é igual ao nº de linhas que chegam à carga (-).

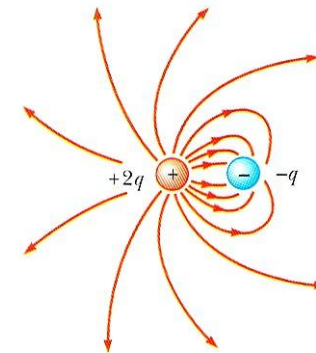


(a)



(b)

Campo eléctrico produzido por duas cargas iguais (q) positivas. Na região entre as cargas existe uma enorme repulsão. Para distâncias grandes, o campo aproxima-se ao de uma carga $2q$.



Configuração de campo eléctrico para uma carga $+2q$ e uma carga $-q$. Repara que para cada linha que chega a $-q$ saem duas linhas de $+2q$.

1 – Lei de Coulomb e campo elétrico

- Ação à distância mediada por um campo

1.1 - Lei de Coulomb (1785)

Módulo de força elétrica entre duas cargas:

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

→ Constante de Coulomb

$$k(\text{SI}) = \underbrace{8,9875 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2}_{\cong 9,0 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2 \text{ (nossos cálculos)}}$$

- A unidade SI de carga eléctrica é o Coulomb (C).

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

→ Permittividade eléctrica do vazio:

$$\epsilon_0 = 8,8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$$

1 – Lei de Coulomb e campo elétrico

- A força é uma grandeza vetorial.
- A lei de Coulomb só se aplica exatamente a cargas pontuais ou a partículas.
- A força elétrica de q_1 sobre q_2 , F_{21} :

$$\vec{F}_{21} = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \hat{r}$$

Eq. 1

Vector unitário dirigido de q_1 para q_2

- A lei de Coulomb obedece à terceira lei de Newton: [Lei da Ação-Reação](#)

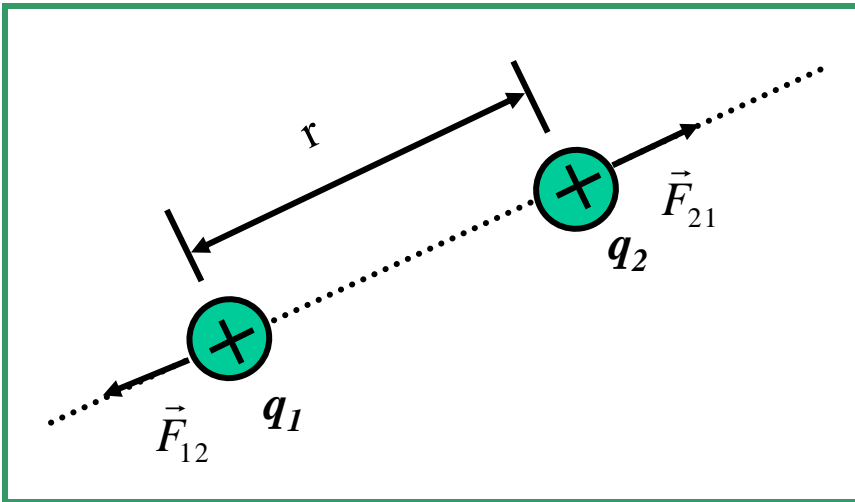
$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

← Mesmo módulo

q_1 e q_2 mesmo sinal

$$q_1 \cdot q_2 > 0$$

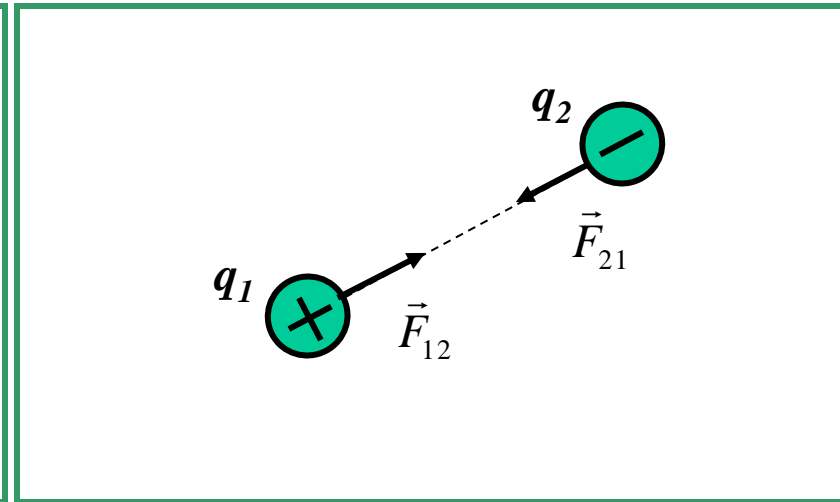
Força Repulsiva



q_1 e q_2 sinais opostos

$$q_1 \cdot q_2 < 0$$

Força Atrativa



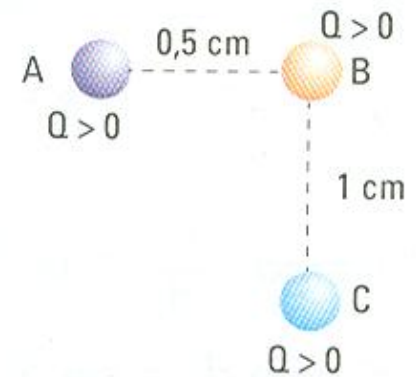
Mais de duas cargas \Rightarrow [princípio da sobreposição](#)

- A força entre qualquer par de cargas é dada pela Eq. 1.
- A força resultante sobre qualquer das cargas é igual à **soma vetorial** das forças devidas às cargas individuais.



$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{14}$$

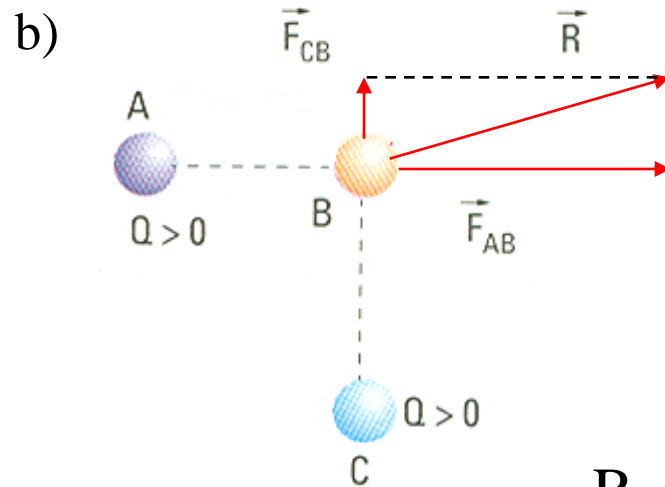
Três esferas carregadas com a mesma carga Q positiva estão colocadas num mesmo plano, como indicado na figura. A força elétrica entre as esferas C e B tem intensidade $F_{CB}=1 \times 10^{-6} \text{ N}$. Determine a força elétrica:



- a) com que A atua sobre B;
b) resultante sobre a esfera B

a)

$$F = \frac{kQ \cdot Q}{r^2} \quad \frac{F_{AB}}{F_{CB}} = \frac{r_{CB}^2}{r_{AB}^2} = \frac{(1 \times 10^{-2})^2}{(0,5 \times 10^{-2})^2} = 4 \quad F_{AB} = 4 \times 10^{-6} \text{ N}$$



$$\vec{R} = \vec{F}_{AB} + \vec{F}_{CB}$$

$$\vec{R} = 4 \times 10^{-6} \hat{i} + 1 \times 10^{-6} \hat{j} \text{ (N)}$$

$$R = \sqrt{F_{AB}^2 + F_{CB}^2}$$

$$R = \sqrt{4^2 + 1^2} \times 10^{-6} = \sqrt{17} \times 10^{-6} \text{ N}$$

1.2 – Campo Eléctrico

O vector do campo eléctrico, \vec{E} , externo, num ponto do espaço define-se como a força eléctrica, \vec{F} , que actua sobre uma carga de prova positiva colocada nesse ponto, dividida pelo módulo dessa carga de prova, q_0 :

$$\boxed{\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\vec{E} = \lim_{q_0 \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{q_0}}$$

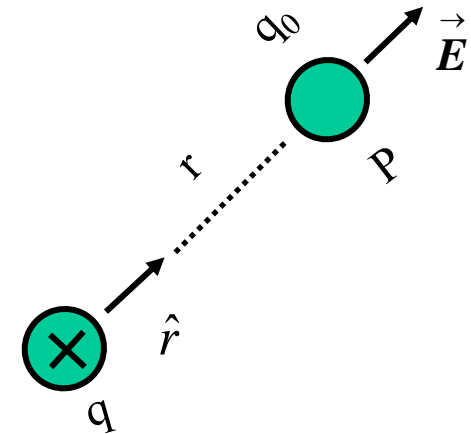
Unidade SI: **N/C**

Como temos, pela lei de Coulomb:

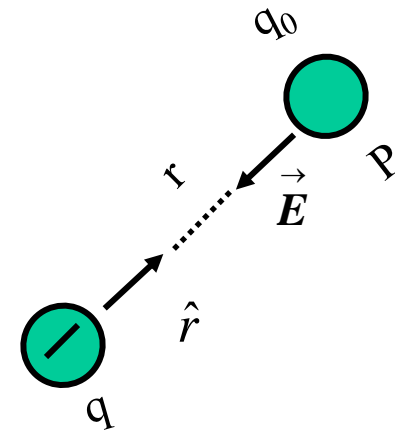
$$\boxed{\vec{F} = k \frac{qq_0}{r^2} \hat{r}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = k \frac{q}{r^2} \hat{r}}$$

Assim, para o campo criado por uma carga pontual, temos:

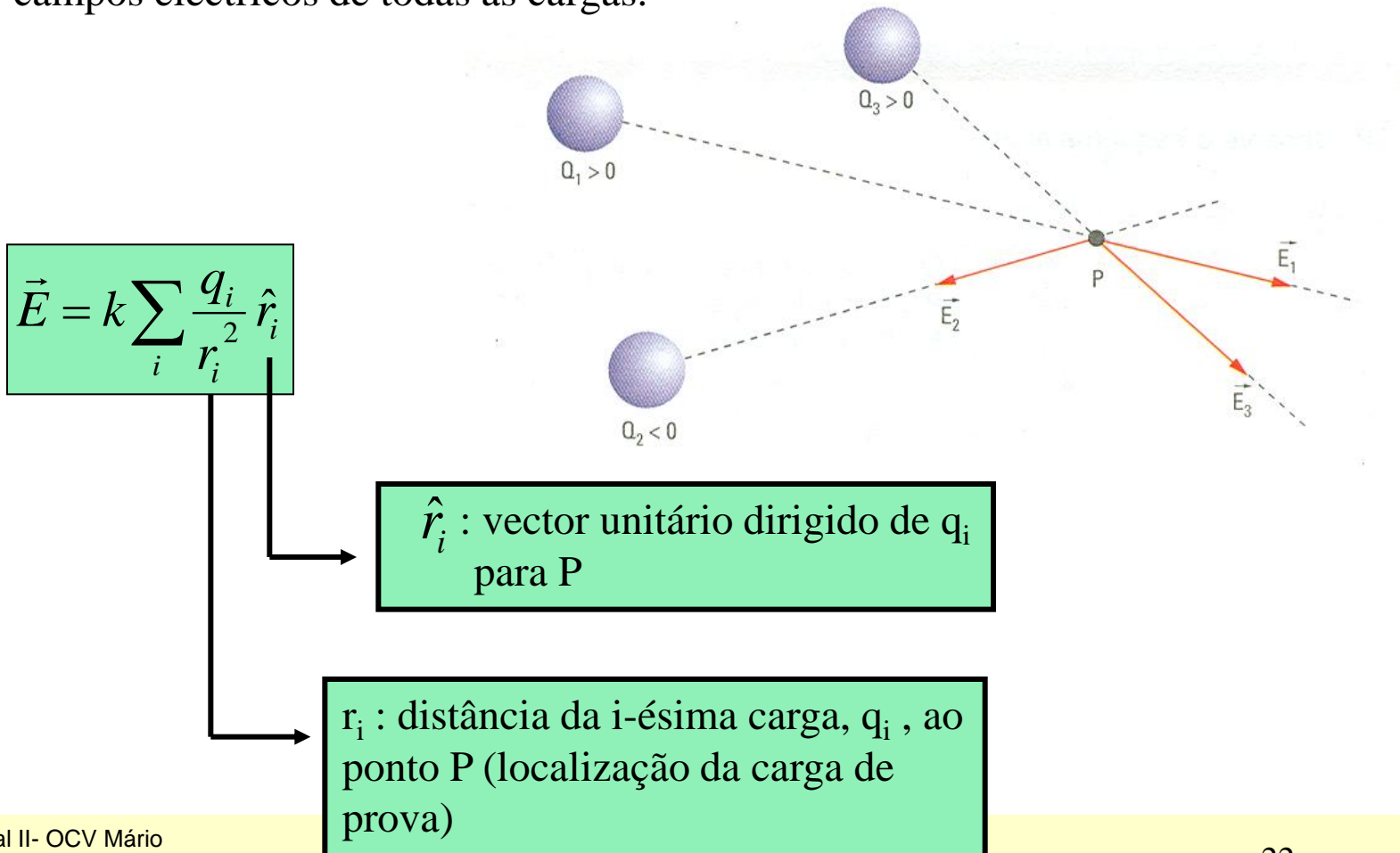
• $q > 0 \Rightarrow$ campo radial, dirigido para fora



• $q < 0 \Rightarrow$ campo radial, dirigido para q



- Princípio de sobreposição: O campo eléctrico total exercido sobre uma carga pontual de prova q_o , devido a um grupo de cargas, é igual à soma vectorial dos campos eléctricos de todas as cargas.

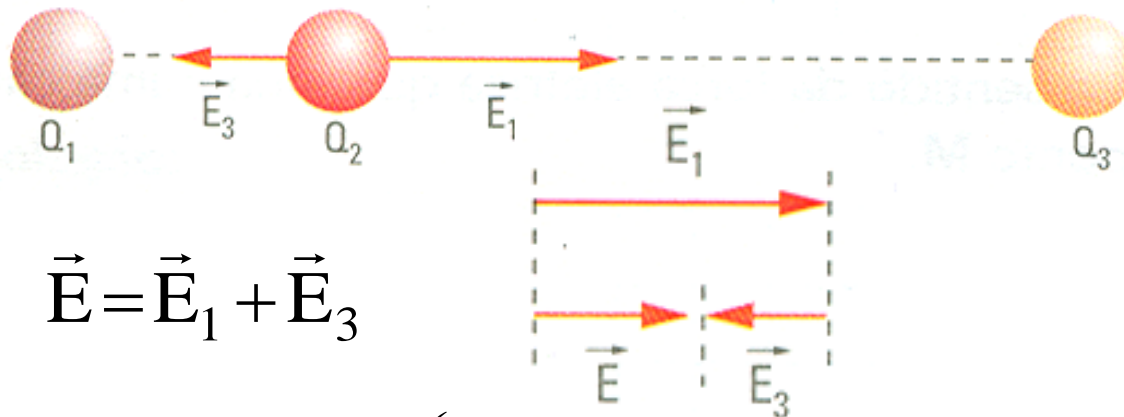


Com base na figura a seguir e sabendo que as cargas Q_1 , Q_2 e Q_3 , são pontuais, determine:

- a) a intensidade do campo eléctrico resultante no ponto B;
 b) a intensidade, direcção e o sentido da força resultante sobre a carga Q_2 , devido às cargas Q_1 e Q_3 .



a)



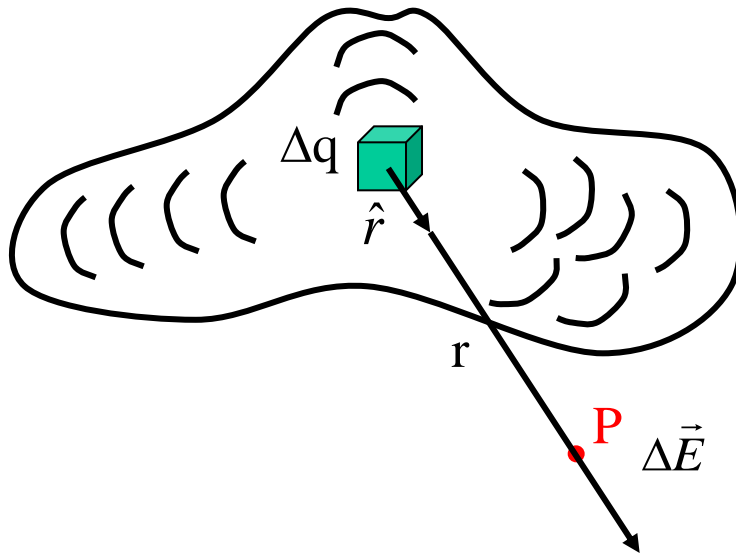
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_3$$

$$E = E_1 - E_3 \Rightarrow E = k \left(\frac{Q_1}{r_1^2} - \frac{Q_3}{r_3^2} \right) \Rightarrow \mathbf{E = 1,7 \times 10^{11} \text{ N/C} \rightarrow}$$

b)

$$F = Q_2 * E \Rightarrow F = 10 \times 1,7 \times 10^{11} \Rightarrow \mathbf{F = 1,7 \times 10^{12} \text{ N} \rightarrow}$$

Campo elétrico de uma distribuição contínua de cargas.



1. Dividimos a distribuição de carga em pequenos elementos Δq .
2. Usamos lei de Coulomb para calcular o campo elétrico em P devido a um desses elementos Δq .

$$\Delta \vec{E} = k \frac{\Delta q}{r^2} \hat{r}$$

3. Calculamos o campo total pela aplicação do princípio da sobreposição:

$$\vec{E} \cong k \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{r}_i$$

Se a separação entre os elementos de carga, na distribuição de cargas, for pequena em comparação com a distância a P \Rightarrow a distribuição de carga pode ser considerada contínua.

Campo total em P:

$$\vec{E} = k \lim_{\Delta q_i \rightarrow 0} \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^2} \hat{r}_i = k \underbrace{\int \frac{dq}{r^2} \hat{r}}_{\text{Operação vectorial}}$$

Operação vectorial

Admitiremos:

1. Cargas uniformemente distribuídas

Densidades de carga:

Num volume $V \Rightarrow$	$\rho \equiv \frac{Q}{V} \quad (C.m^{-3})$
----------------------------	--

Uma superfície de área $A \Rightarrow$	$\sigma \equiv \frac{Q}{A} \quad (C.m^{-2})$
--	--

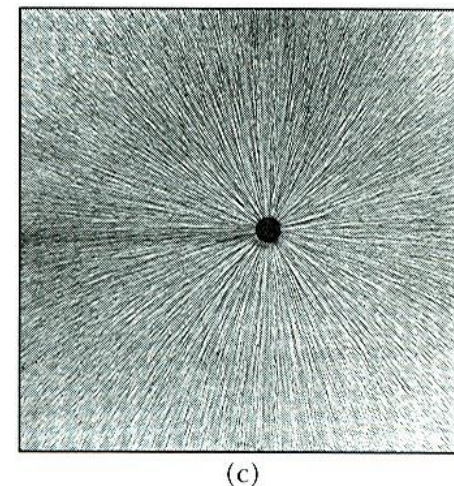
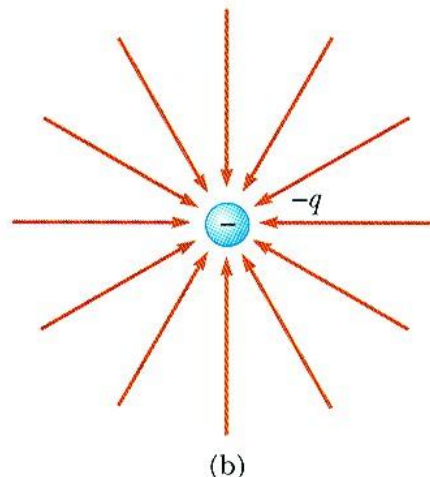
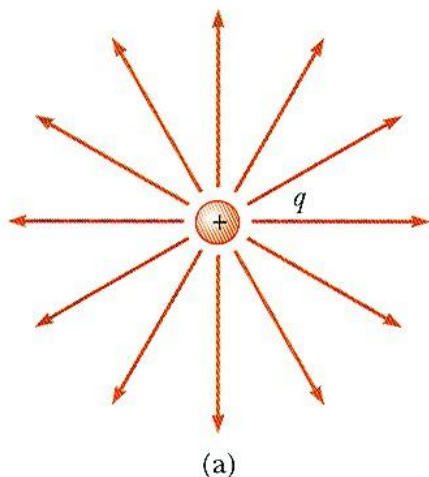
Uma linha de comprimento $l \Rightarrow$	$\lambda \equiv \frac{Q}{l} \quad (C.m^{-1})$
--	---

2. Cargas NÃO uniformemente distribuídas:

$\rho \equiv \frac{dQ}{dV}; \sigma \equiv \frac{dQ}{dA}; \lambda \equiv \frac{dQ}{dl}$
--

Linhas de campo eléctrico associadas a uma carga pontual

- a) Para uma carga pontual positiva, as linhas apontam radialmente para fora;
- b) Para uma carga pontual negativa, as linhas apontam radialmente para dentro (para a carga).
- c) As linhas escuras são fios têxteis imersos em óleo que se alinham com o campo eléctrico produzido por uma carga eléctrica no centro da figura.



1 – Lei de Coulomb e campo eléctrico

Regras para traçar as linhas de campo eléctrico:

- As linhas começam em cargas positivas (+) e terminam em cargas negativas (-), ou, no caso de haver excesso de carga, no infinito.
- Devido à quantificação da carga, o número de linhas que saem (+), ou que se aproximam (-) de uma carga, é proporcional ao módulo da carga ($0, \pm c'e, \pm 2c'e...$), onde c' é uma constante.
- **Não há cruzamento das linhas do campo eléctrico.**

Quanto às linhas de campo eléctrico:

- \vec{E} é tangente, em cada ponto, à linha do campo eléctrico que passa pelo ponto.
- O número de linhas, por unidade de área, que atravessam uma superfície perpendicular às linhas do campo, é proporcional ao valor do campo eléctrico na região.
- Se E for muito grande em módulo, as linhas de campo estarão muito juntas, inversamente se E for pequeno as linhas de campo afastam-se.
- **Não tomar as linhas de campo eléctrico como linhas de intensidade constante**

