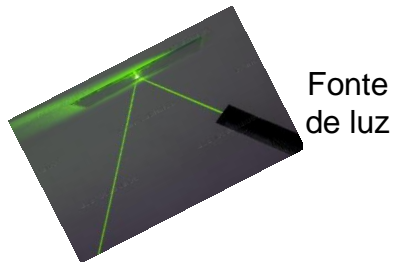
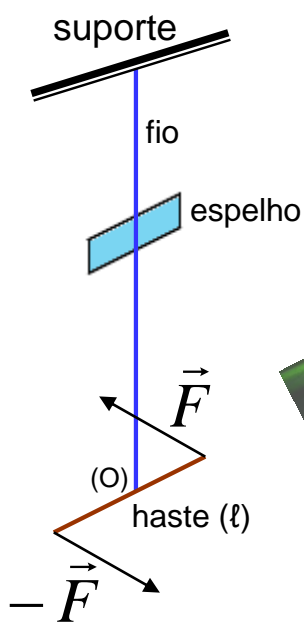


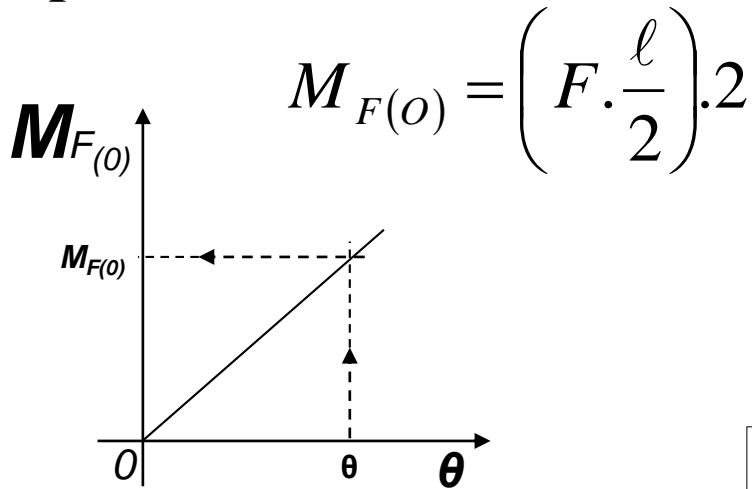
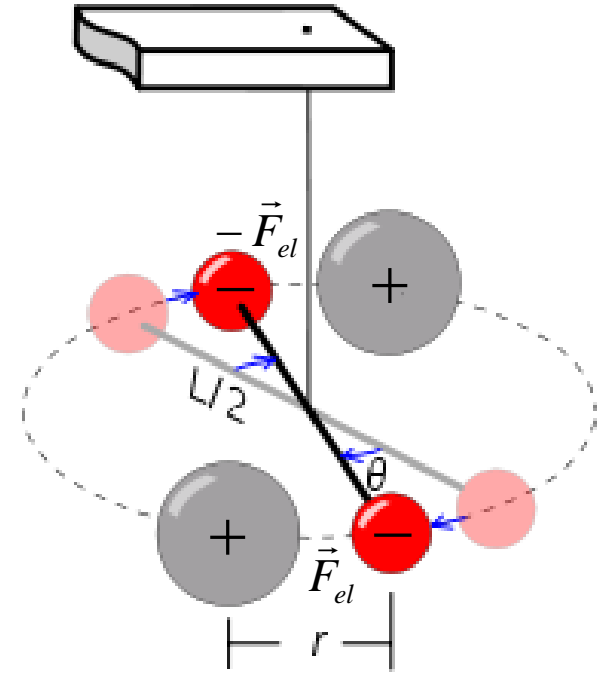
## **Eletrostática**

### Parte 2

# A Balança de Torção de Coulomb



Charles A. de Coulomb  
1736 - 1806



Lei de  
Coulomb  
(1785)

$$F_{el} = k_{el} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

**Constante Eletrostática (no vácuo)**

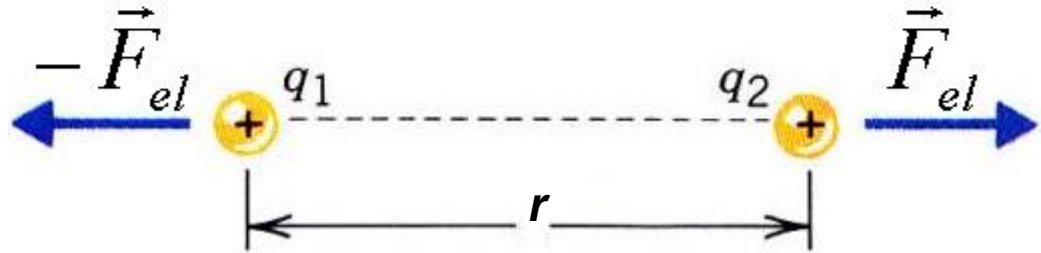
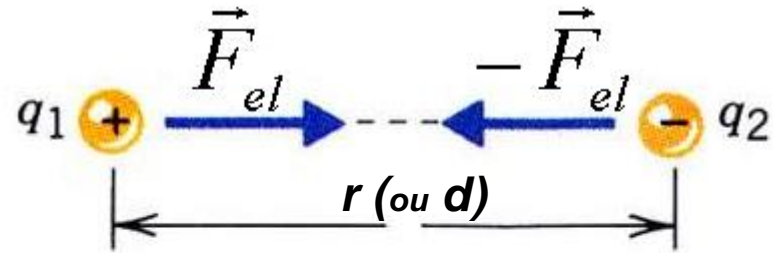
$$k_{el} = (8,9875517873681764) \times 10^{+9} \text{ N.m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

# Força Elétrica

- Lei de Coulomb:

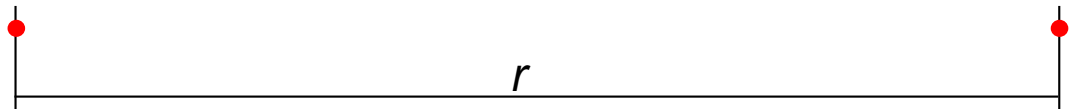
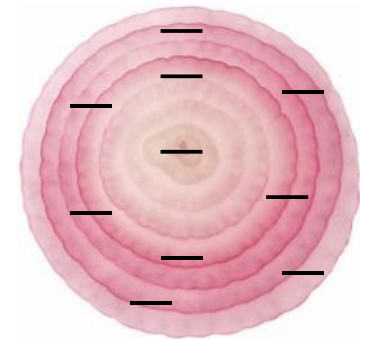
$$F_{el} = k_{el} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

$$k_{el} \approx 9 \times 10^9 \text{ N.C}^{-2}.\text{m}^2$$

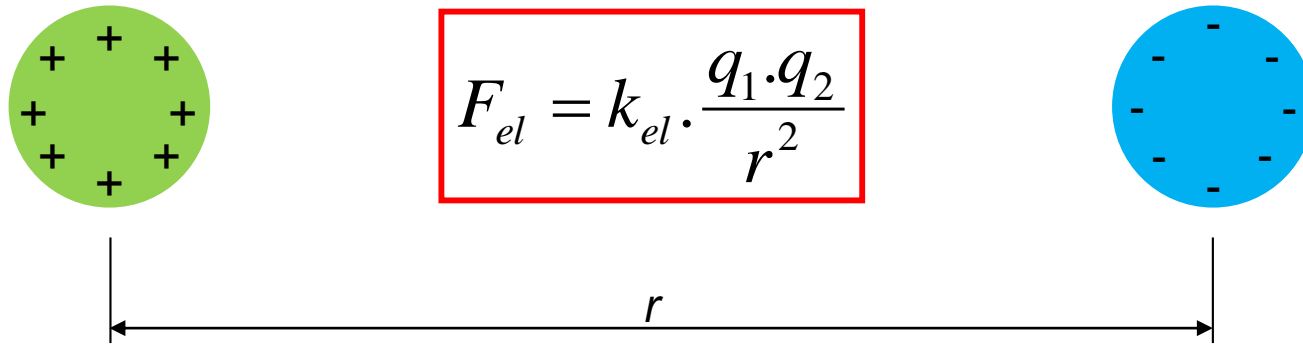


## Condições de Validade

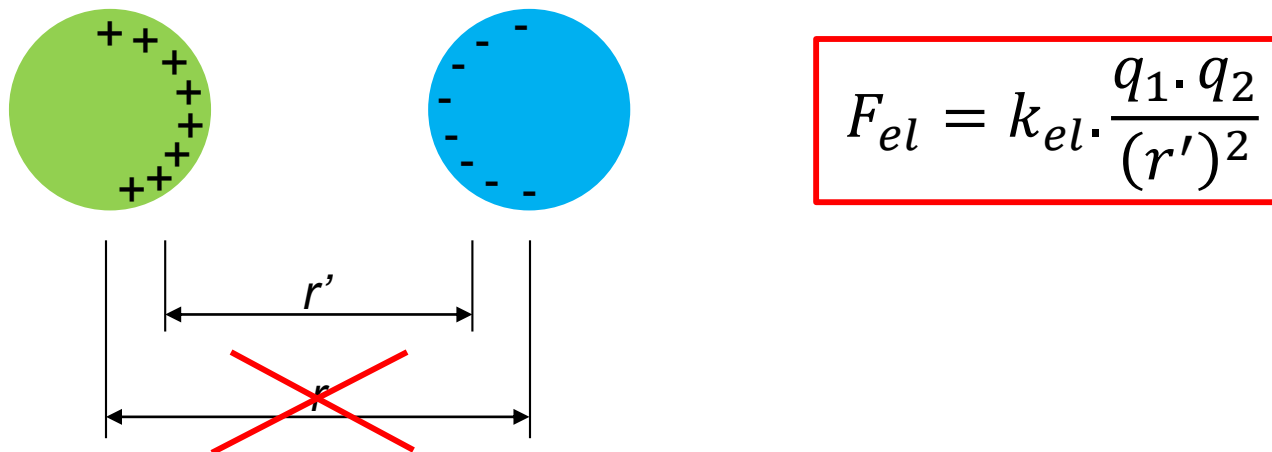
- partículas eletrizadas são **puntiformes** (melhor se o material for **isolante**)
- ou as dimensões das partículas são **muito menores** do que a distância entre elas.



- Corpos *metálicos* eletrizados *muito distantes* um do outro:



- Corpos *metálicos* eletrizados *muito próximos* um do outro:

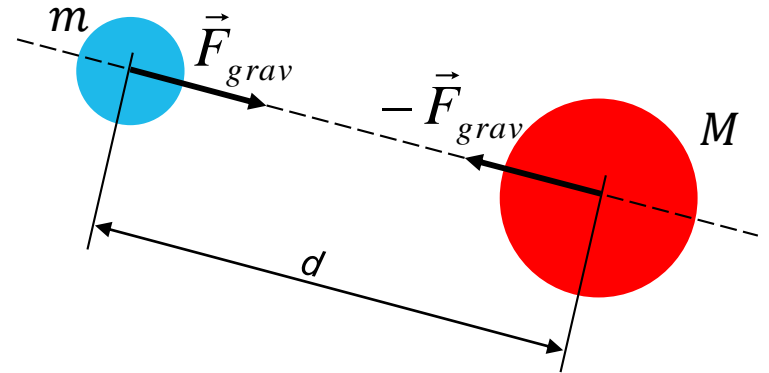


# E aí surge um sério problema...

## • Gravitação



Galáxias M81 e M82



Como cada galáxia sente a mudança de posição da outra?

Existiria uma velocidade de propagação dessa informação?

Qual seria esse valor?

$$F_{grav} = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{kg}^{-2} \cdot \text{m}^2$$

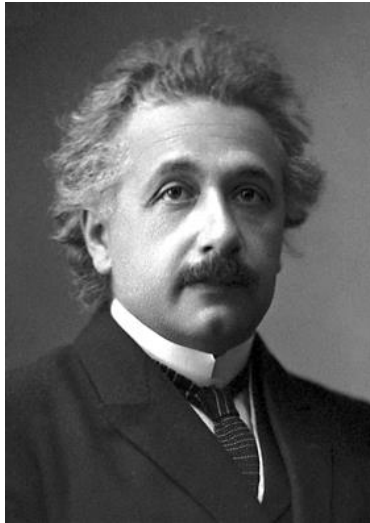
**Infinito?**



**Valor limite?**



# Ondas Gravitacionais → $V_{OG} \approx 300.000 \text{ km/s}$



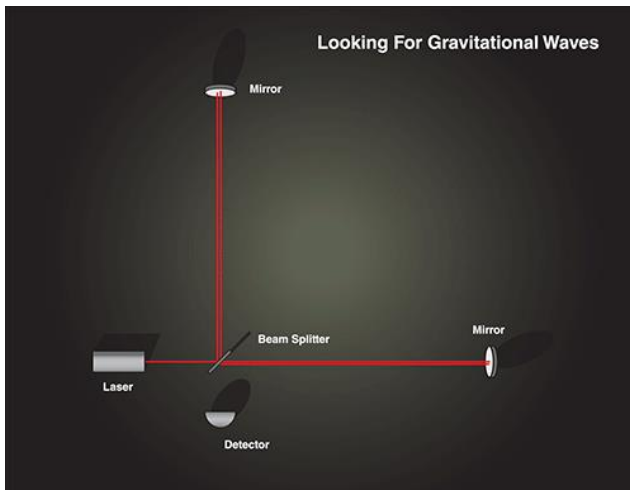
Albert Einstein  
1879 - 1955  
Nobel de **1921**



## **LIGO**

(Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory )

*credit: Caltech/MIT/LIGO Lab*

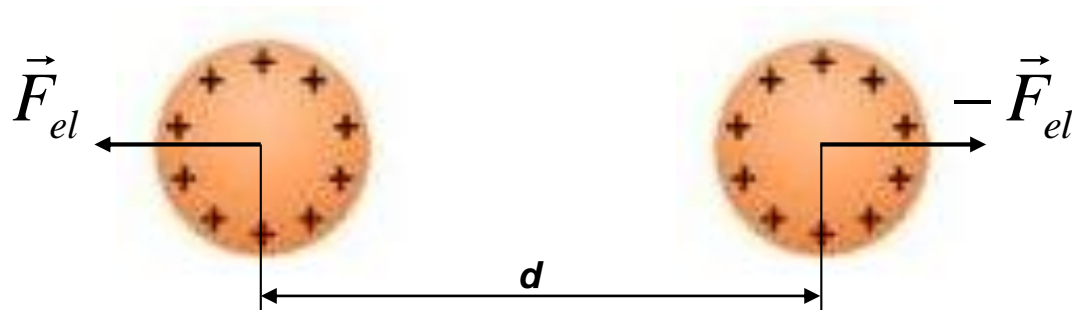


LIGO is made up of two observatories: one in Louisiana and one in Washington (above). Each observatory has two long “arms” that are each more than 2 miles (4 kilometers) long.

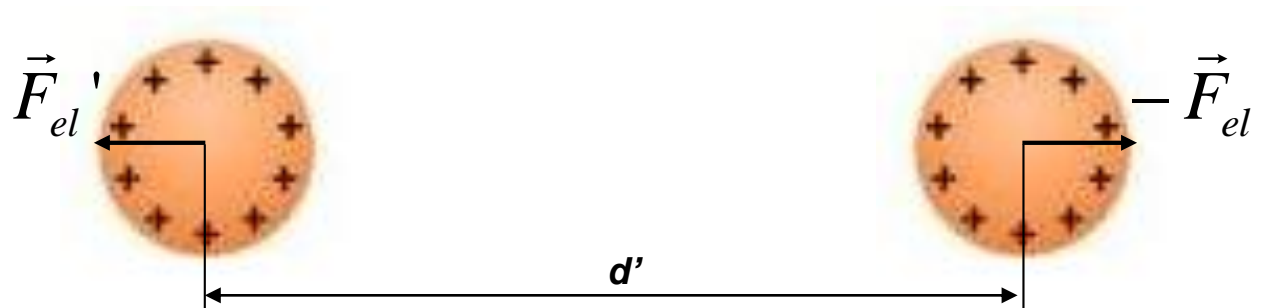
- when a star explodes asymmetrically (called a supernova)
- when two big stars orbit each other
- when two **black holes** orbit each other and merge

These first gravitational waves happened when two black holes crashed into one another. The collision happened 1.3 billion years ago. But, the ripples didn’t make it to Earth until 2015!

• Eletromagnetismo

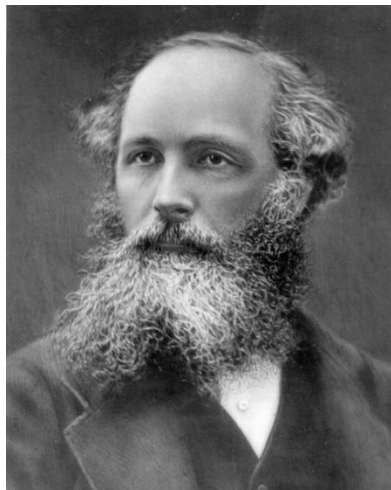


Como cada corpo eletrizado sente a mudança de posição do outro?





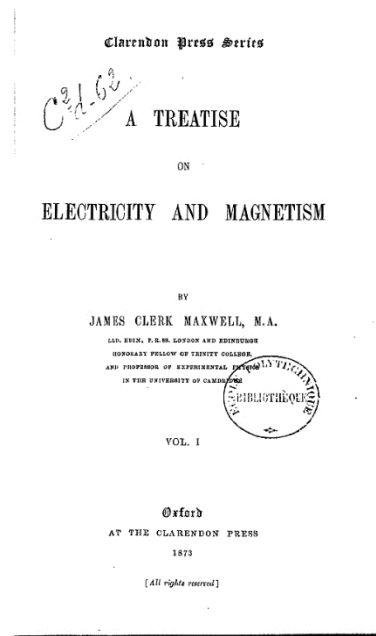
Michael Faraday  
1791 - 1867



James C. Maxwell  
1831 - 1879

## Campo Elétrico

É uma entidade **real** que acompanha a carga elétrica.



**“Um Tratado sobre Eletricidade e Eletromagnetismo”**

(1873)

Velocidade de propagação de uma informação (ou *radiação*) eletromagnética:

**$\approx 300.000 \text{ km/s}$**

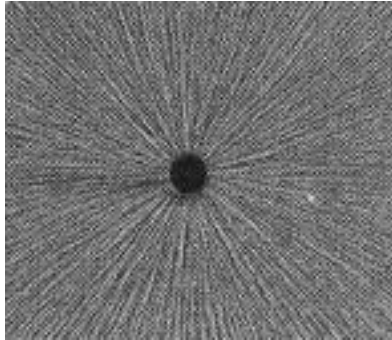
*Velocidade da luz no vácuo*

Assim, a menor movimentação de uma carga elétrica provocará uma alteração no campo elétrico em suas imediações, cuja rapidez é igual à **velocidade de propagação da luz**.



# Campo Elétrico ( $\vec{E}$ )

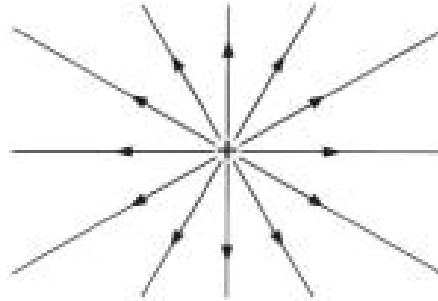
- Partícula eletrizada:



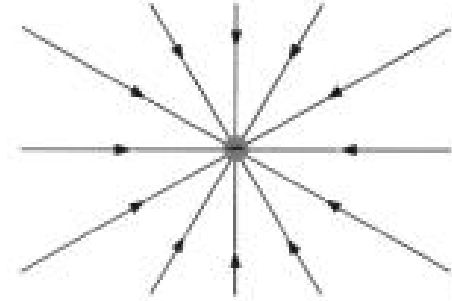
Convenção



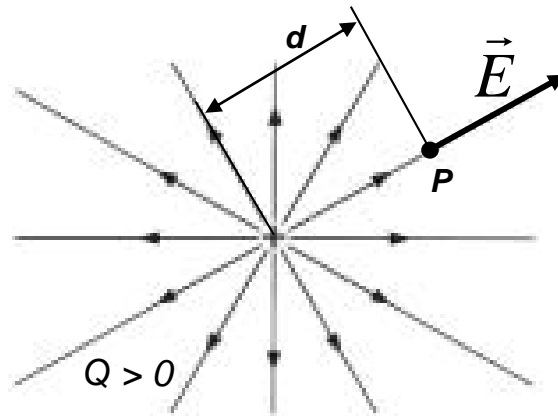
Linhas do campo **divergem** radialmente da partícula (+)



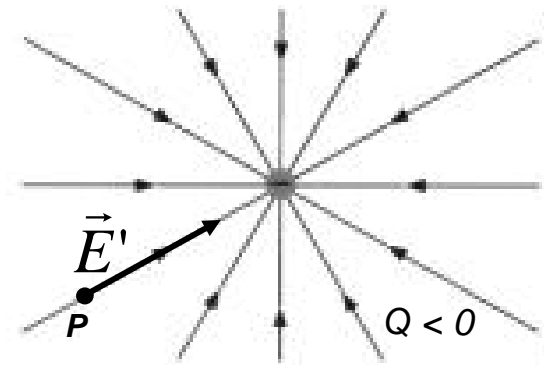
Linhas do campo **convergem** radialmente para a partícula (-)



Representação do Vetor Campo Elétrico em um ponto  $P$  a uma distância  $d$  da carga  $Q$ :



Direção: linha radial  
Sentido: oposto ao da localização da carga



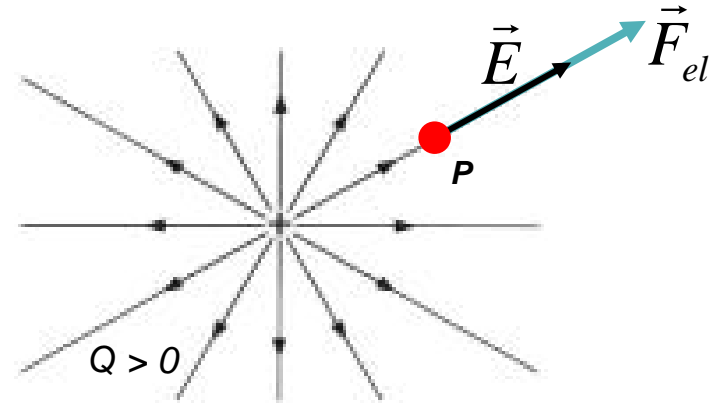
Direção: linha radial  
Sentido: aponta para a carga

Determinação da **intensidade**  
do Vetor **Campo Elétrico**  
em um ponto P:

$$E = k_{el} \cdot \frac{Q}{r^2} \quad [N/C] [V/m]$$

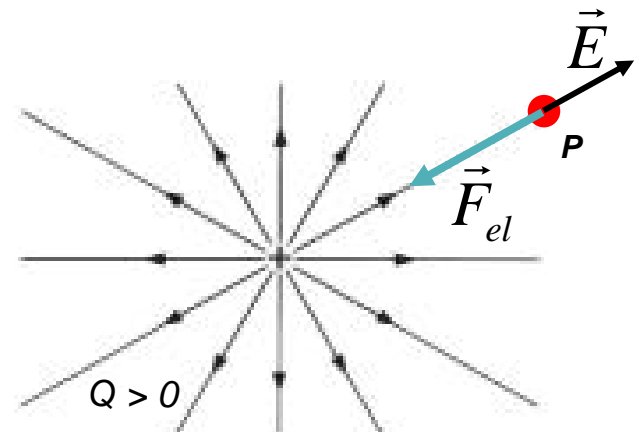
Determinação da intensidade da  
**Força Elétrica** sobre uma **carga de prova**  $q > 0$ , instalada em um ponto P:

$$\vec{F}_{el} = +q \cdot \vec{E}$$



Determinação da intensidade da  
Força Elétrica sobre uma **carga de prova**  $q < 0$ , instalada em um ponto P:

$$\vec{F}_{el} = -q \cdot \vec{E}$$

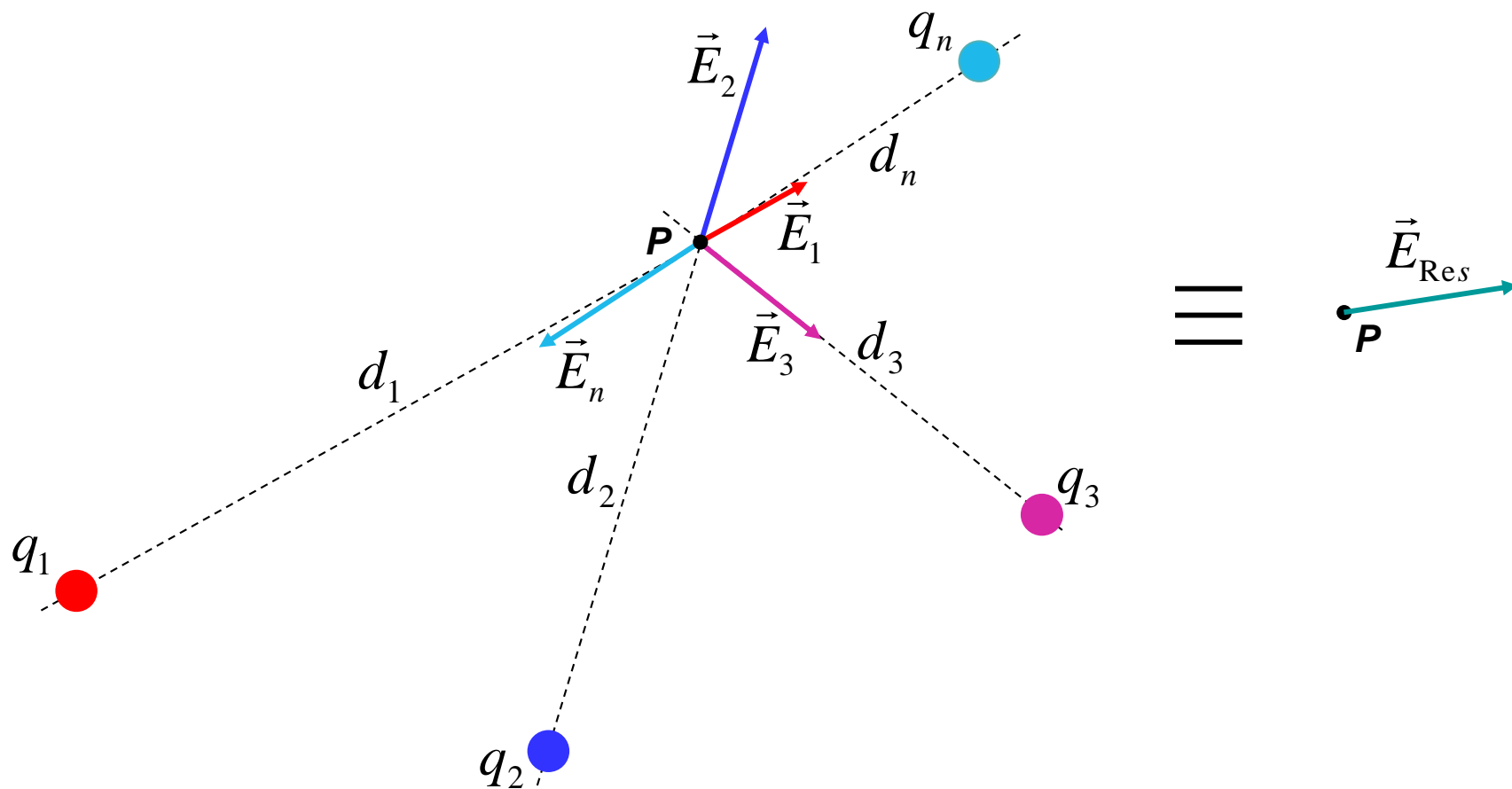


Determinação do Vetor Campo Elétrico em um ponto  $P$ , gerado por duas ou mais partículas eletrizadas

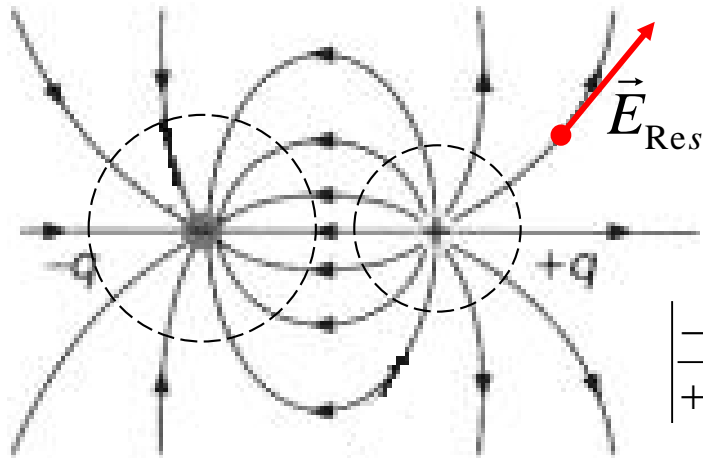


Soma vetorial dos campos individuais

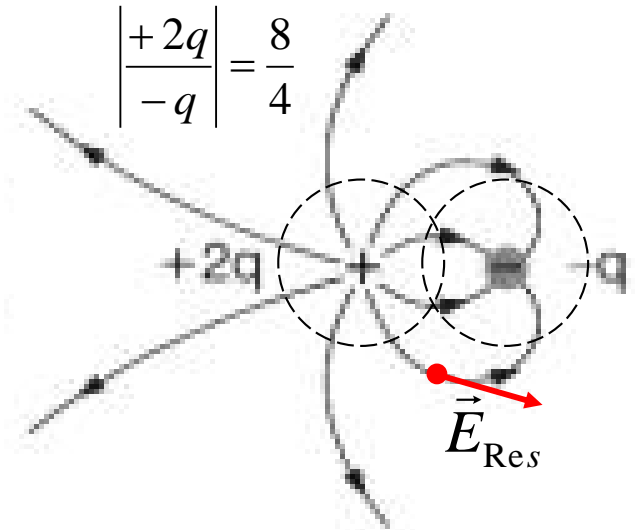
$$\vec{E}_{\text{Res}} = \sum_{j=1}^n \vec{E}_j$$



## Exemplos



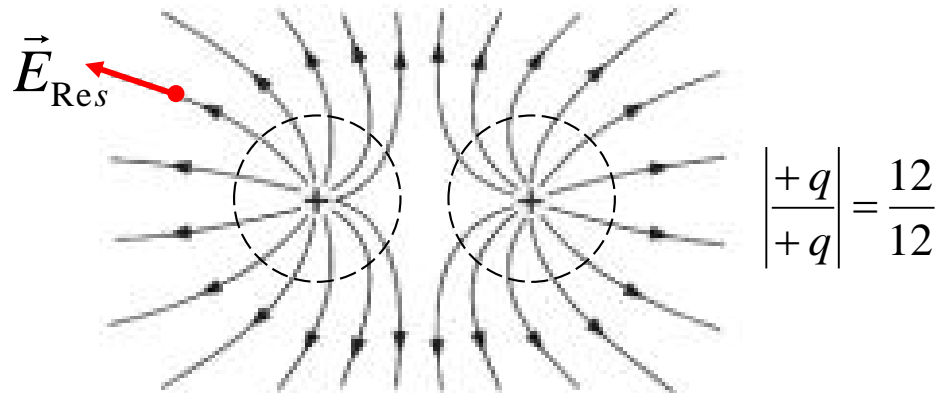
$$\left| \frac{-q}{+q} \right| = \frac{12}{12}$$



$$\left| \frac{+2q}{-q} \right| = \frac{8}{4}$$

### Observações importantes:

- A relação entre o número de linhas de campo que perfura uma superfície hipotética e que incorpora cada partícula eletrizada é diretamente proporcional à relação entre os módulos das cargas;
- O vetor campo elétrico **resultante** é tangente à linha de campo no ponto considerado;
- A proximidade entre as linhas de campo elétrico resultante dá uma ideia de sua intensidade.



$$\left| \frac{+q}{+q} \right| = \frac{12}{12}$$

- Esfera (raio  $R$ ) condutora, eletrizada, maciça ou oca:

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

$$E_{\text{ext}} = k_o \cdot \frac{|Q|}{d^2}$$

$$E_{\text{próx}} = k_o \cdot \frac{|Q|}{R^2}$$

$$E_{\text{sup}} = \frac{1}{2} \cdot E_{\text{próx}} = \frac{1}{2} \cdot k_o \cdot \frac{|Q|}{R^2}$$

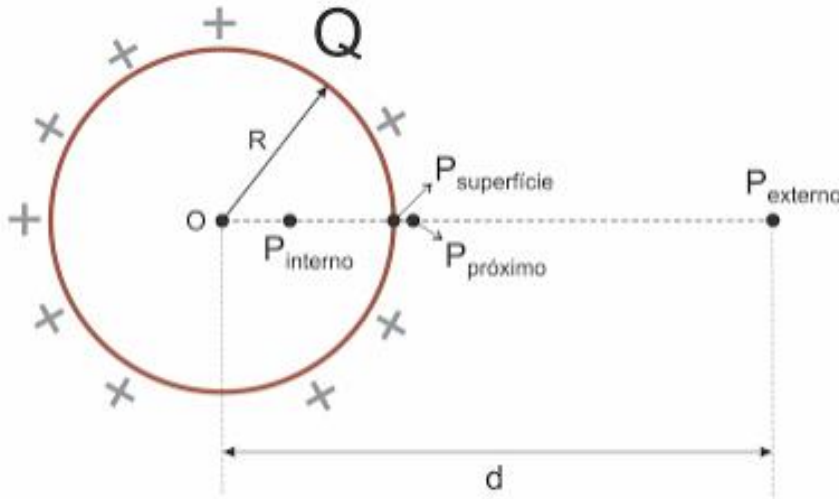
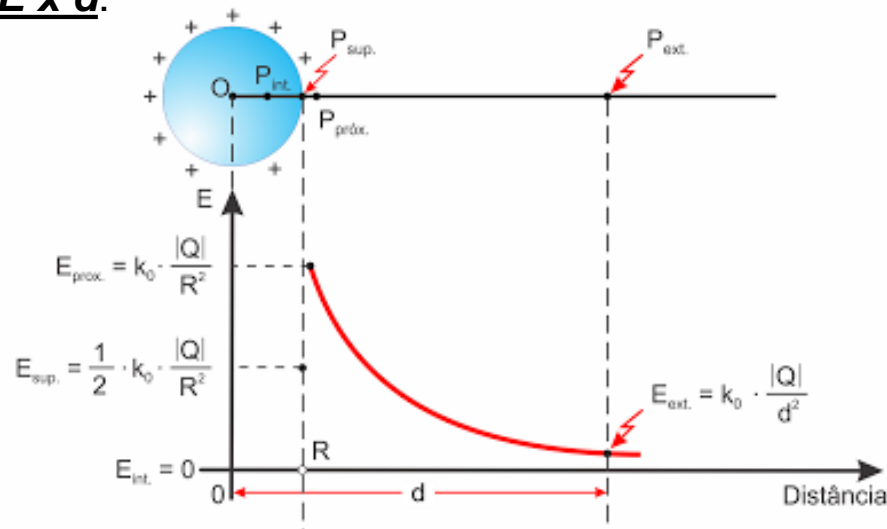
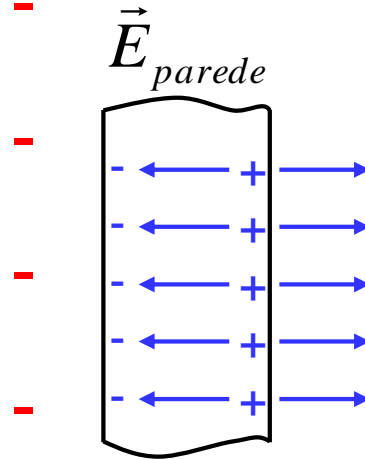
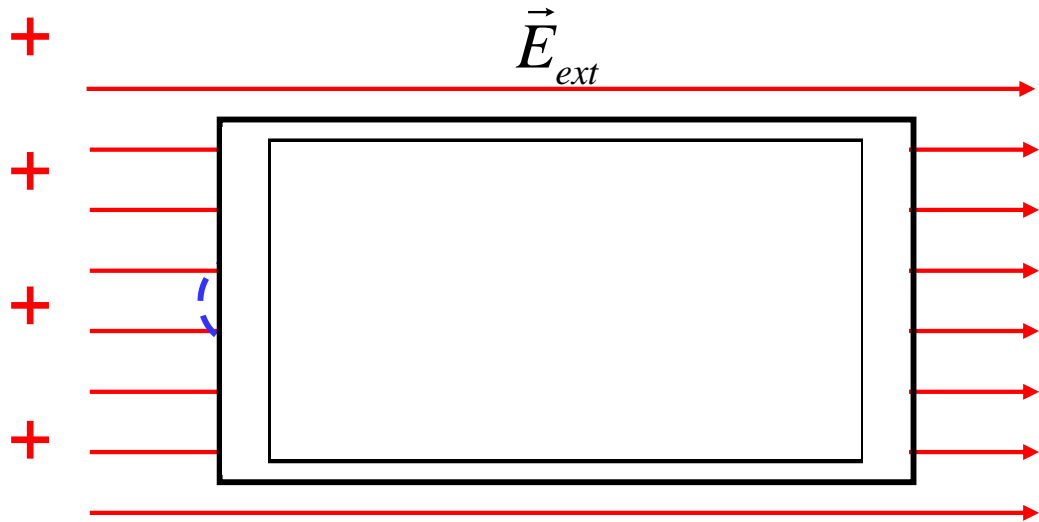


Gráfico  $E \times d$ :



# Gaiola de Faraday (ou *Blindagem Eletrostática*)



Após um intervalo de tempo muito curto ( $\approx 10^{-8}$  s), o campo elétrico no interior da caixa



$$\vec{E}_{int.} = \vec{0}$$

Fenômenos elétricos em uma caixa com paredes condutoras, colocada em uma região com campo elétrico.

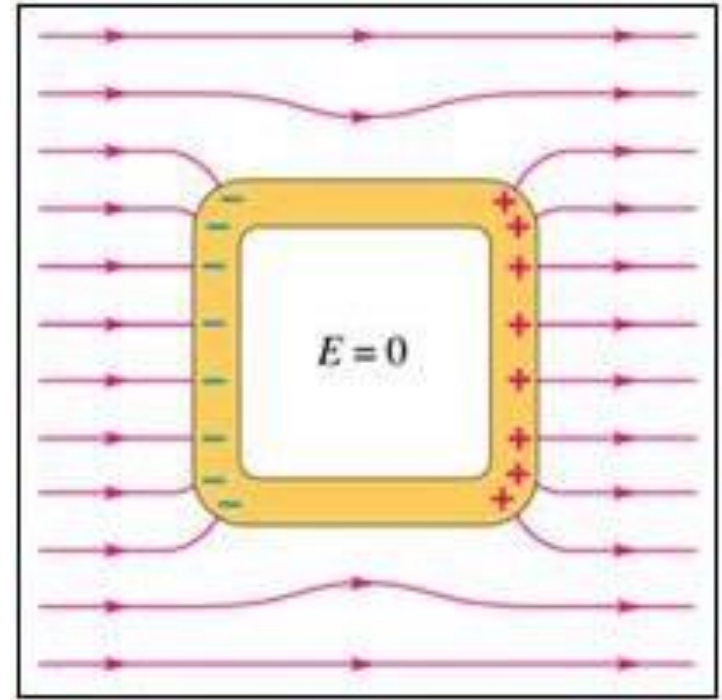
Para ocorrer uma faísca elétrica no ar seco  $\rightarrow 3\text{kV/mm}$





# Gaiola de Faraday

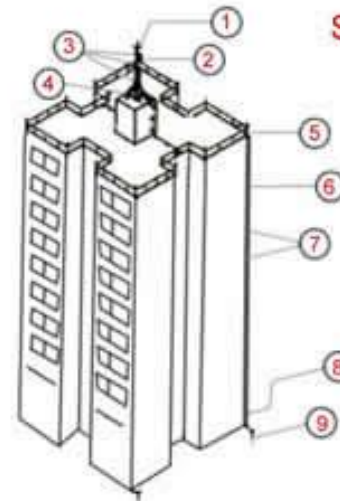
ou Blindagem Eletrostática



Captor tipo “Franklin”

*Raycon*

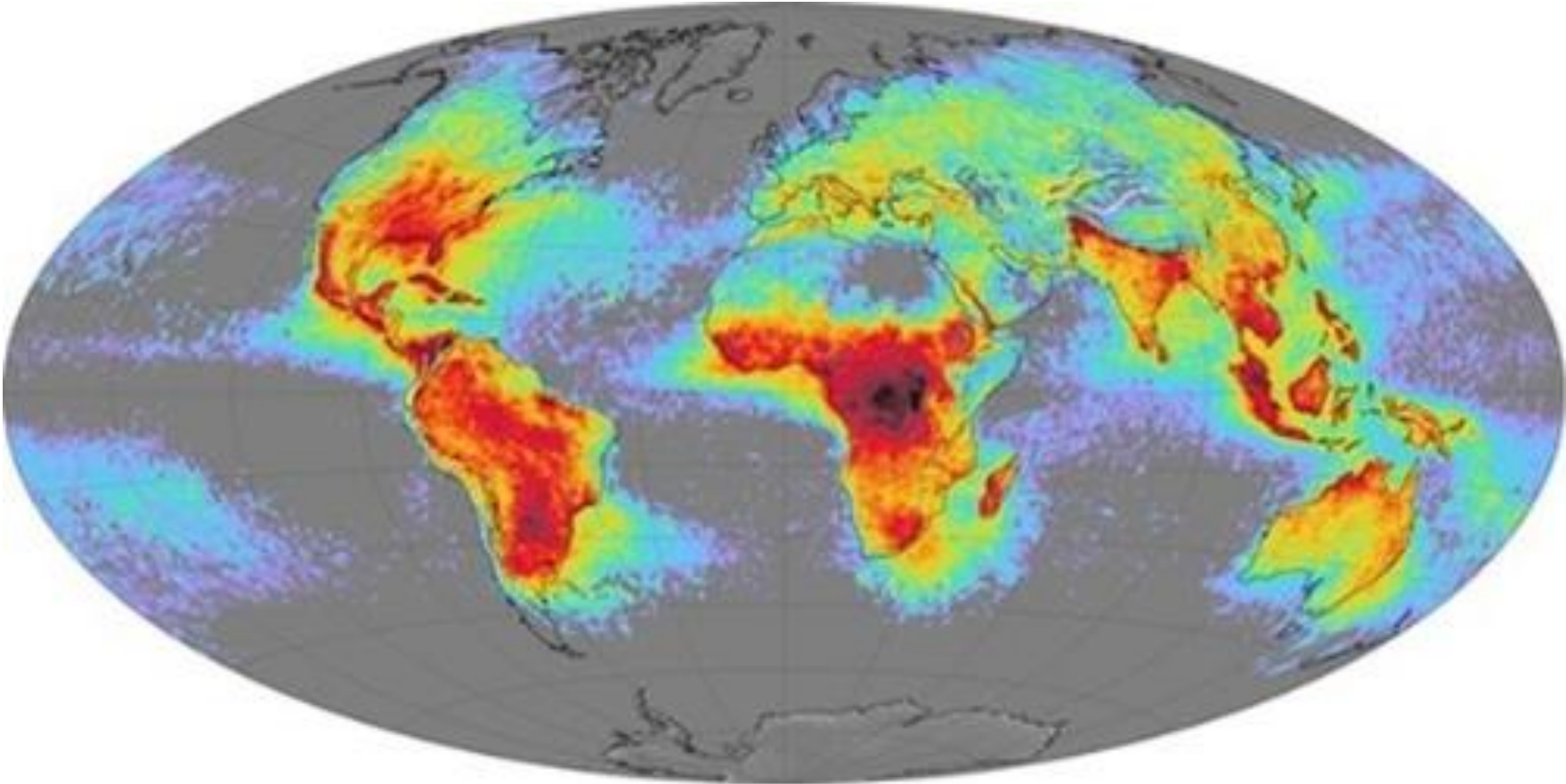
Poder das pontas



Sistema de proteção  
tipo Franklin

- 1 Captor tipo franklin
- 2 Mastro galvanizado
- 3 Suportes isoladores para mastros
- 4 Base de fixação e contraventagens
- 5 Terminal aéreo
- 6/7 Condutor de descida (Cabo de cobre nu)
- 8 Suportes isoladores para condutor de descida
- 9 Haste de aterramento

**Worldwide Lightning Activity (Source: NASA)**

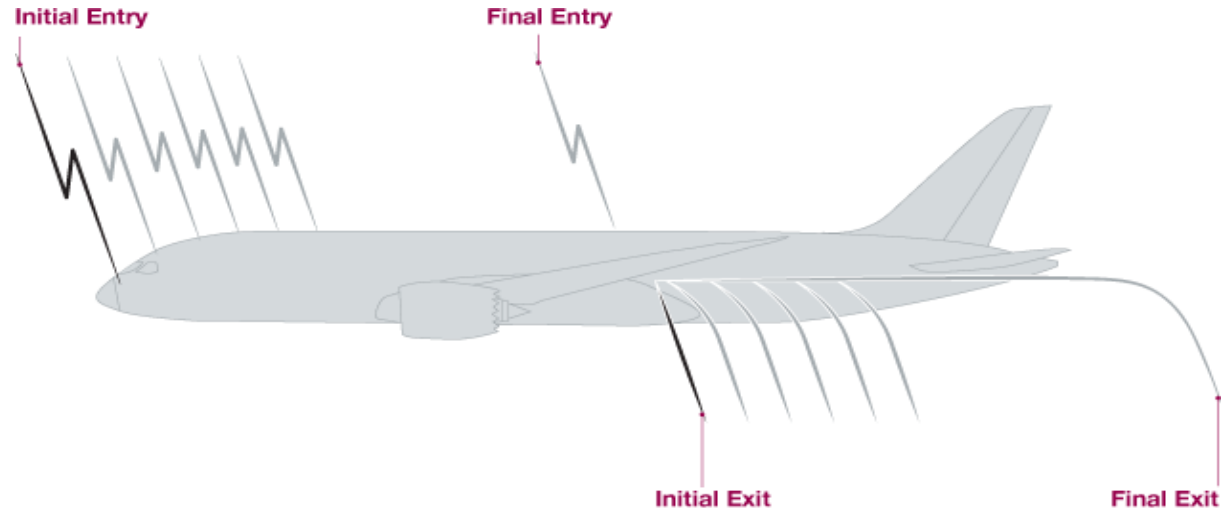


lightning flashes (per km<sup>2</sup> per year)

0.1    0.4    1.4    5    20    70



# Exemplos



[https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2012\\_q4/4/](https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2012_q4/4/)



# Exemplos



18/01/2014

Texas Motor Speedway ( 19/09/2016 )



# Exemplos



# Aterramento

- **Norma**

[https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/normas%20e%20relat%F3rios/NRs/nbr\\_5410.pdf](https://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/normas%20e%20relat%F3rios/NRs/nbr_5410.pdf)

<http://www.comservicefire.com.br/docs/Para-raios/NBR%205419%20-%20Para-raios.pdf>

- **Estratégias**

[https://inspectapedia.com/lightning/Lightning\\_Strike\\_Protection\\_Systems.php](https://inspectapedia.com/lightning/Lightning_Strike_Protection_Systems.php)

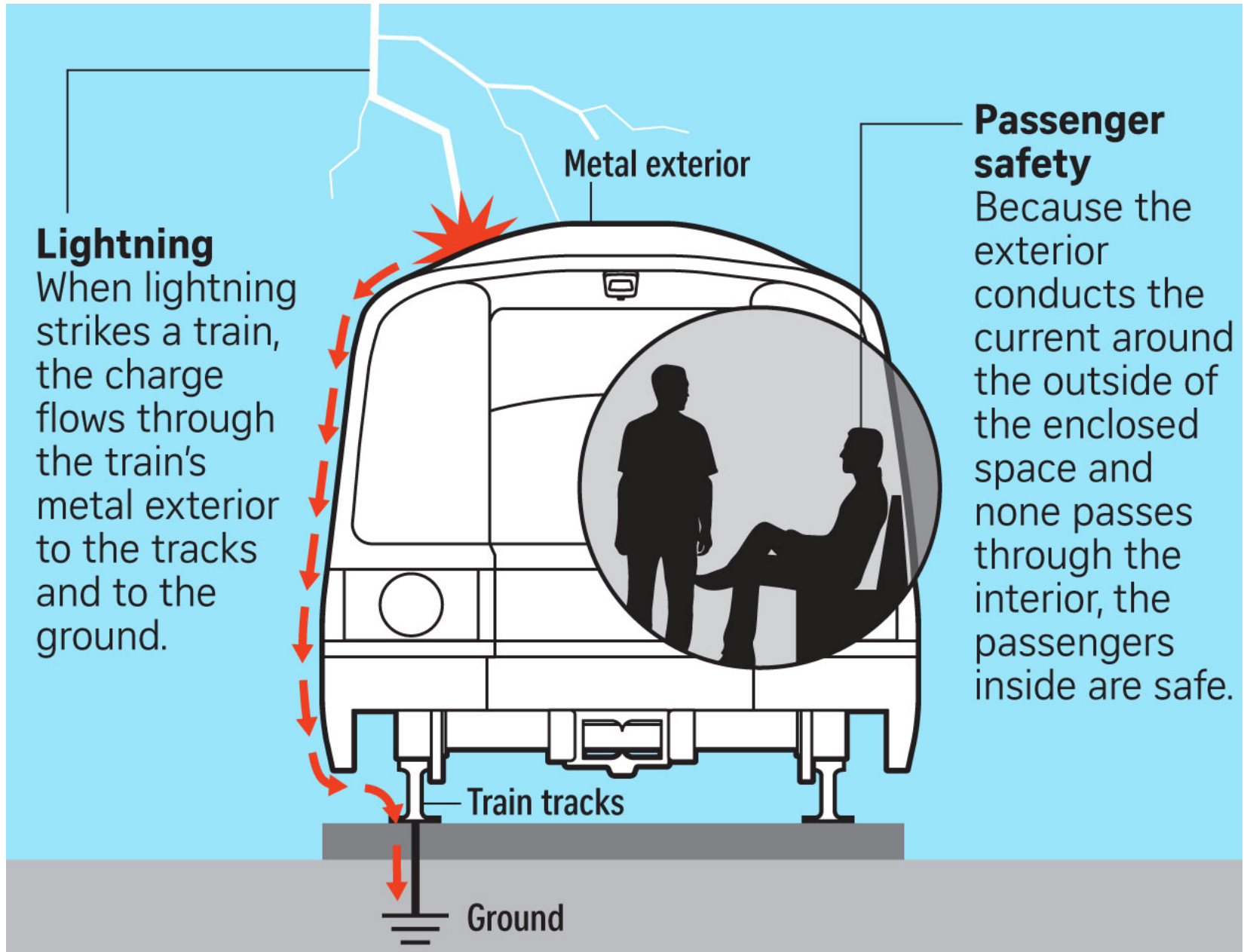


*National  
Technical  
Systems*

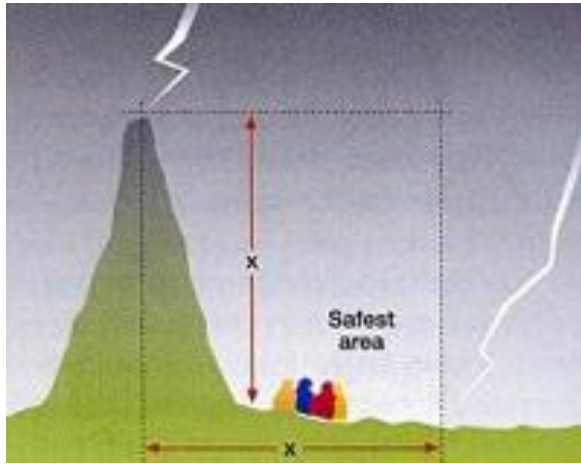




# **Aterramento**



# Segurança ao ar livre



## How to Survive a Lightning Strike

Crouch down low like a baseball catcher. Get as low as you can. The nearer you are to the ground, the less likely you are to be struck by lightning. But never lie down!

If your hair begins to stand on end or your skin starts to tingle, a lightning strike is imminent. Immediately get into the crouching position. Lightning may strike without this warning, however.

Place hands over ears to minimize hearing loss from the loud clap of thunder that will boom very close to you.

Don't touch any possible conductors.

The only thing touching the ground should be the balls of your feet. Lightning can hit the ground first, and then enter your body. The more you minimize your contact with the ground, the less chance of electricity entering your body.

Touch the heels of your feet together. If electricity from a ground strike enters through your feet, this increases the chances of the electricity going in one foot and out the other, rather than into the rest of your body.

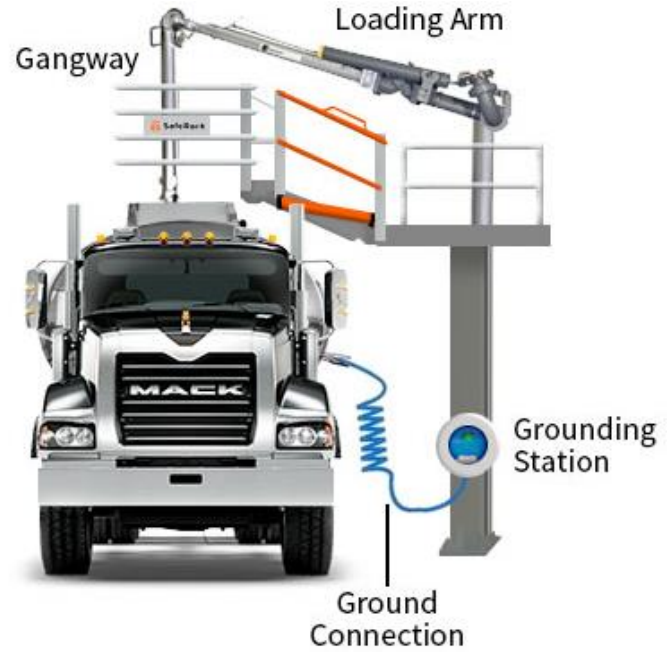
The Art of  
**MANLINESS**

EST. 2000

© Art of Manliness and Ted Slampyak. All Rights Reserved.



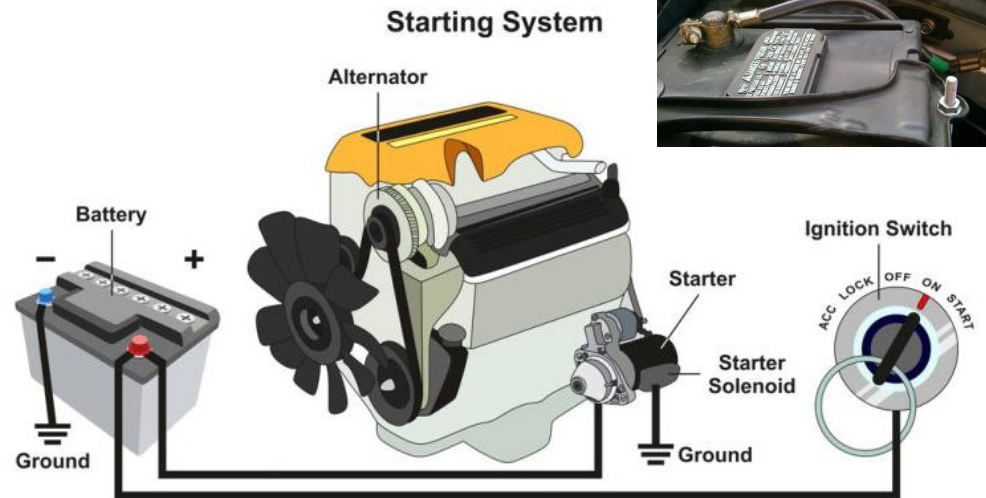
# Reabastecimento de aeronaves e postos de combustíveis



## Aterramento de monumentos



## Aterramento em automóveis

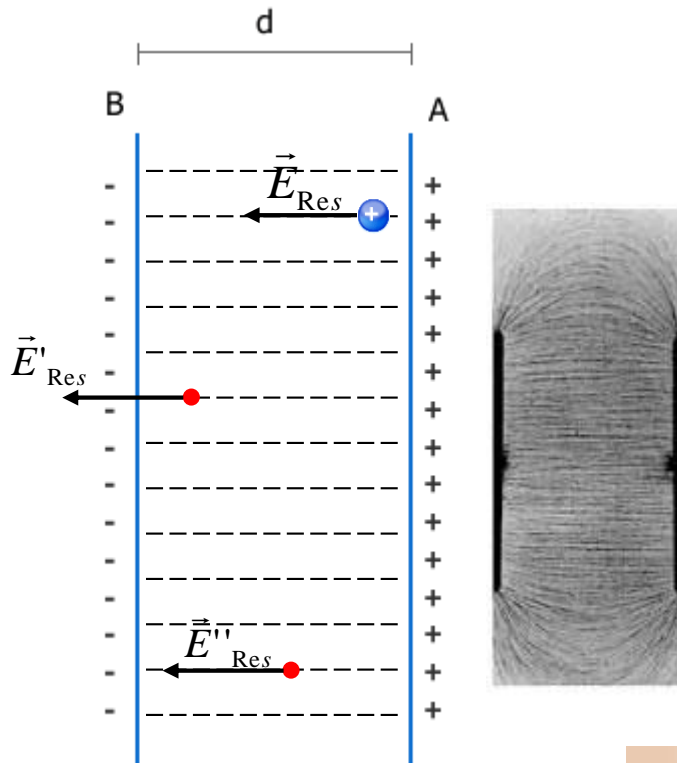


Mercedes-Benz EQS



• 2 placas condutoras eletrizadas, planas e paralelas :

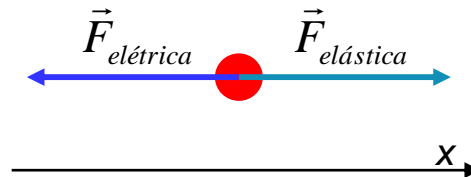
Desprezando efeitos de borda!!



$$E_{Res} = E'_{Res} = E''_{Res}$$

Determinação do módulo do campo elétrico:

- colocar uma carga de prova positiva na extremidade de um dinamômetro e instalá-la entre as duas placas;
- medir a deflexão da mola do dinamômetro;
- multiplicar esta deflexão pela constante elástica da mola. Este valor representa o módulo da força elástica aplicada à carga de prova;
- usando as leis de Newton, concluímos que o módulo da força elástica é igual ao da força elétrica;
- dividindo-se este módulo pelo módulo da carga elétrica, tem-se o módulo do vetor campo elétrico.



- **Direção:** linhas perpendiculares às placas;
- **Sentido:** posicionar o dinamômetro de acordo com o sinal da carga de prova.

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$\Sigma F_x = m \cdot a_x$$

$$+ F_{elástica} - F_{elétrica} = m \cdot \overset{0}{a_x}$$

$$+ F_{elástica} = F_{elétrica}$$

$$F_{elástica} = k_{elástica} \cdot \Delta x = F_{elétrica}$$

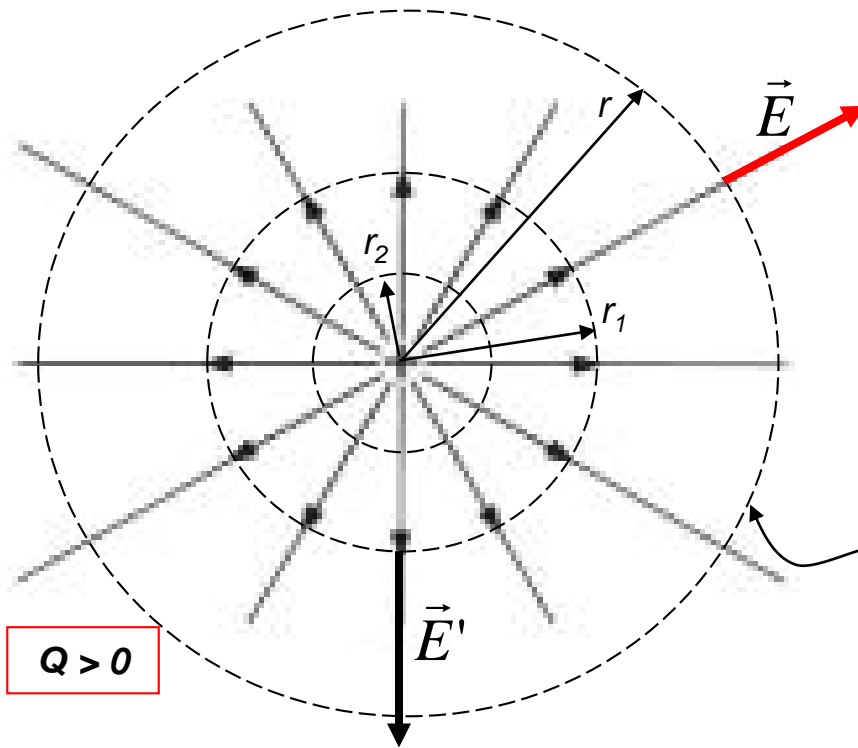
$$F_{elétrica} = q \cdot E, \therefore E = \frac{k_{elástica} \cdot \Delta x}{q}$$

# Potencial Elétrico

É a grandeza física **escalar** que representa a energia potencial eletrostática por unidade de carga elétrica.

$$V = \frac{E_{Pot.Eletrostática}}{q} \quad \text{unidades} \rightarrow \left[ \frac{J}{C} \right] = [\text{volt}(V)]$$

## • Partícula eletrizada:



$$V_{\infty} = +k_{el} \cdot \frac{Q}{r}$$

sendo o infinito ( $r \rightarrow \infty$ ), o referencial para o potencial elétrico nulo,  $V_{\infty} = 0$ .

$$V_r < V_1 < V_2$$

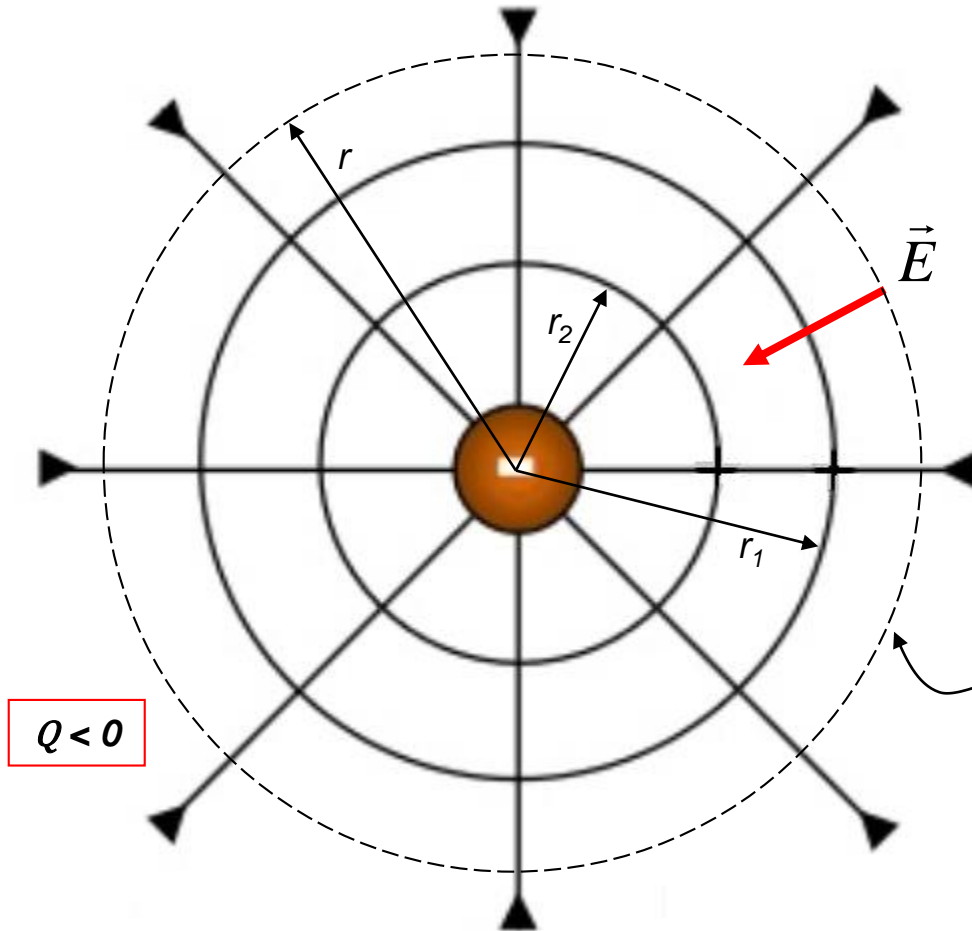
Linha Equipotencial (no espaço, superfície equipotencial).

“O vetor campo elétrico é **sempre** perpendicular às linhas equipotenciais e **sempre** aponta no sentido dos potenciais decrescentes.”

$$V_{\infty} = -k_{el} \cdot \frac{Q}{r}$$

sendo o infinito ( $r \rightarrow \infty$ ), o referencial para o potencial elétrico nulo,  $V_{\infty} = 0$ .

$$V_r > V_1 > V_2$$



Linha Equipotencial (no espaço, superfície equipotencial).

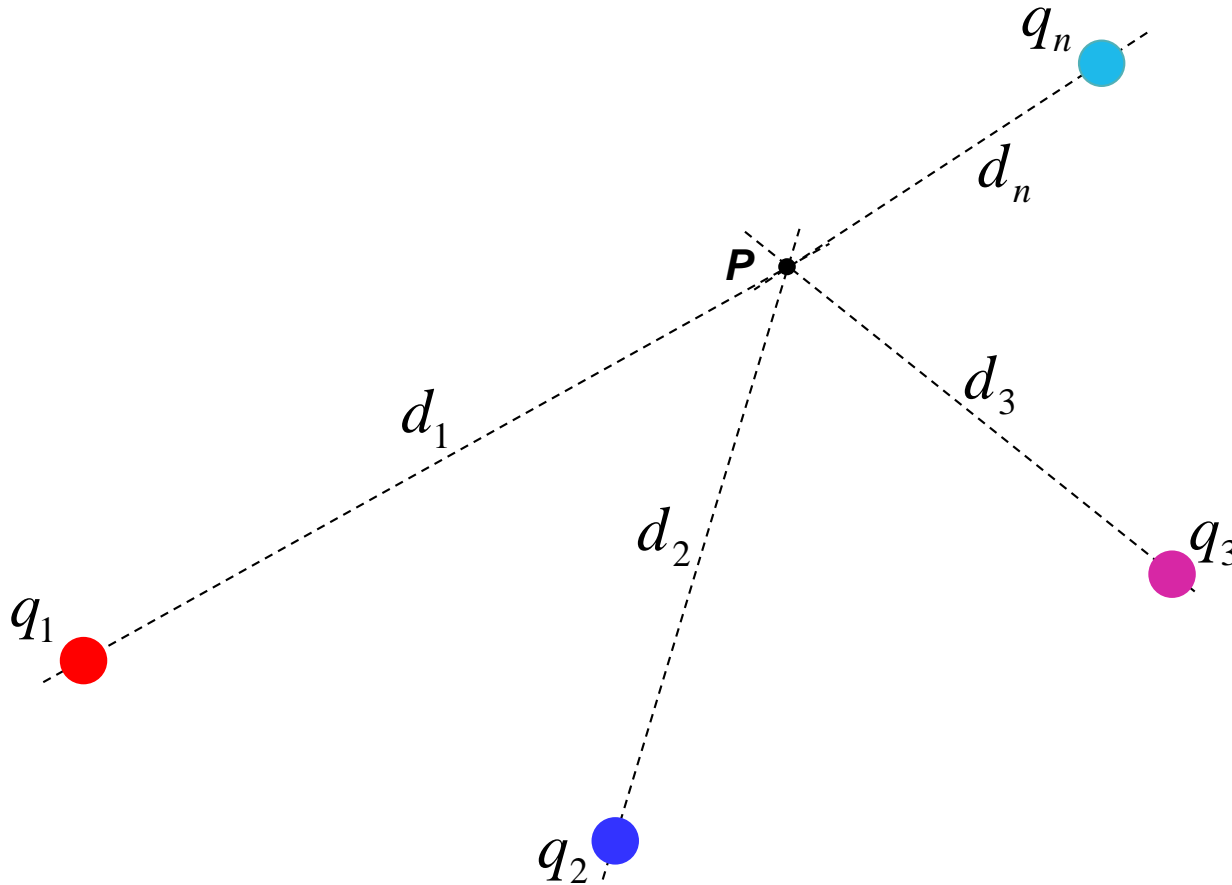
“O vetor campo elétrico é sempre perpendicular às linhas equipotenciais e sempre aponta no sentido dos potenciais decrescentes.”

Determinação do Potencial Elétrico em um ponto **P**, gerado por duas ou mais partículas eletrizadas



Soma **algébrica** dos potenciais elétricos individuais

$$V_P = \sum_{j=1}^n V_j$$



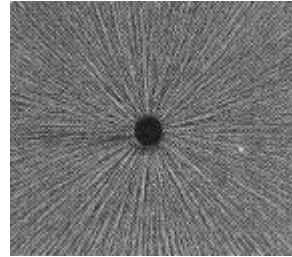
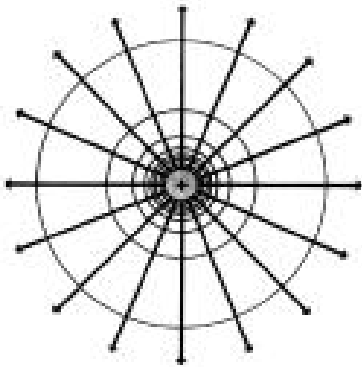
Multímetro Digital  
GMDY 1000



Instrumento eletrônico para mapeamento de **Potenciais Elétricos**

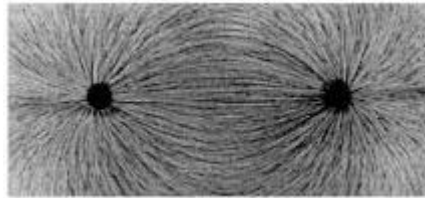
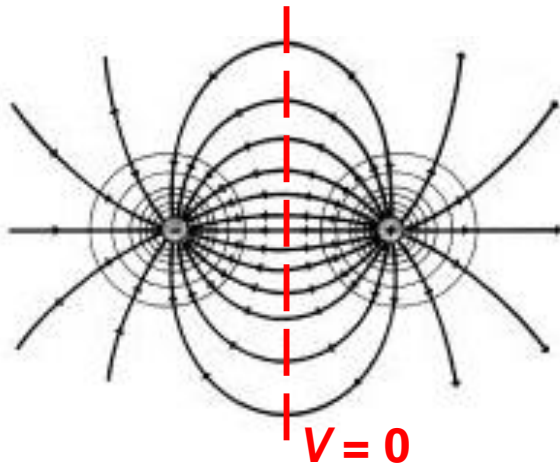
## Exemplos

- Partícula positivamente (ou negativamente) eletrizada. Observe as linhas equipotenciais concêntricas;



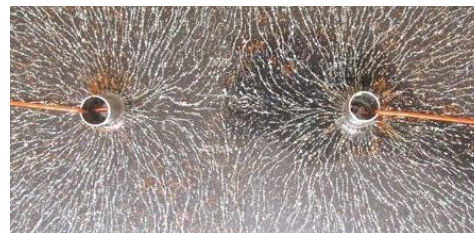
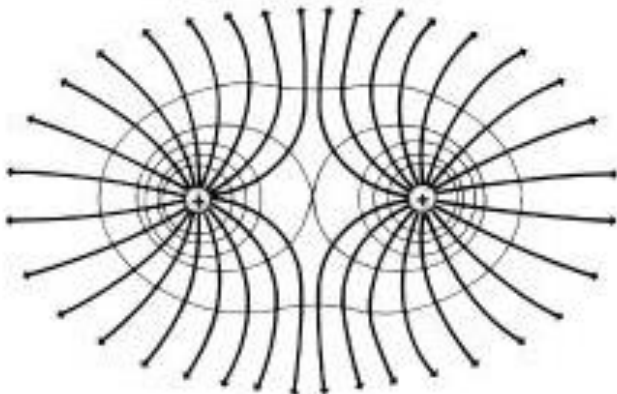
$$V_{\infty} = +k_{el} \cdot \frac{Q}{r}$$

- 2 partículas eletrizadas com o mesmo excesso de carga, em módulo. Qual é o lugar geométrico dos pontos com potencial elétrico nulo?



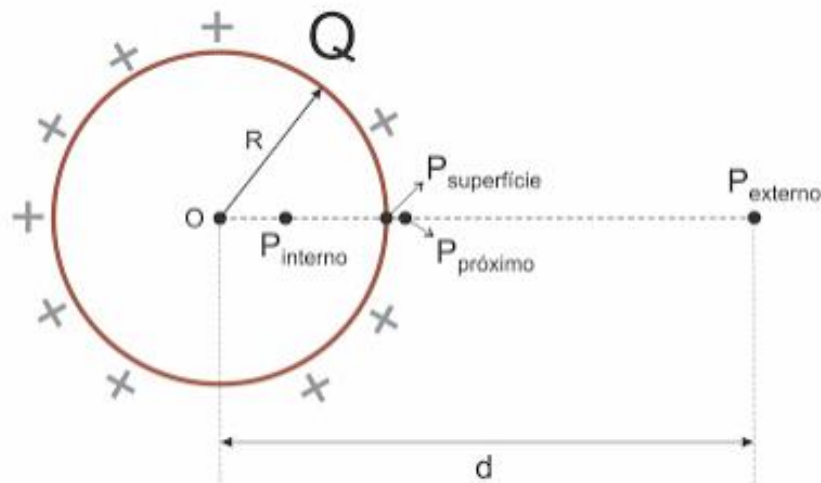
$$V_P = \sum_1^2 V_j \rightarrow +k_{el} \cdot \frac{Q}{r_+} - k_{el} \cdot \frac{Q}{r_-} = 0$$

- 2 partículas positivamente eletrizadas com o mesmo excesso de carga.



$$V_P = \sum_1^2 V_j \rightarrow ?$$

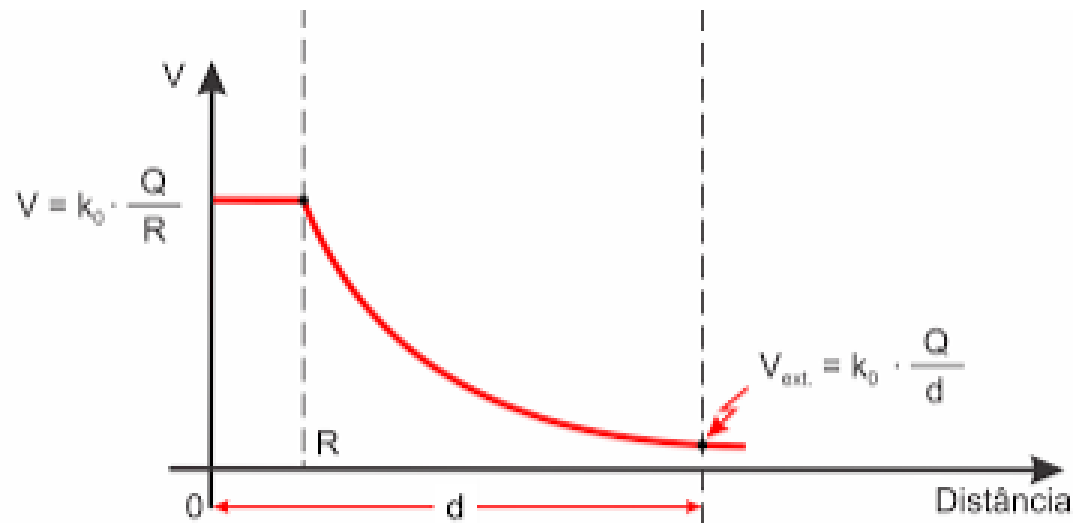
- Esfera (raio  $R$ ) condutora, eletrizada, maciça ou oca:



$$V_{\text{int}} = V_{\text{sup}} = k_o \cdot \frac{Q}{R}$$

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

Gráfico  $V \times d$ :



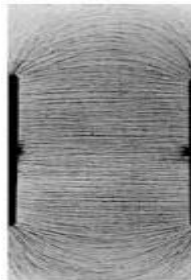
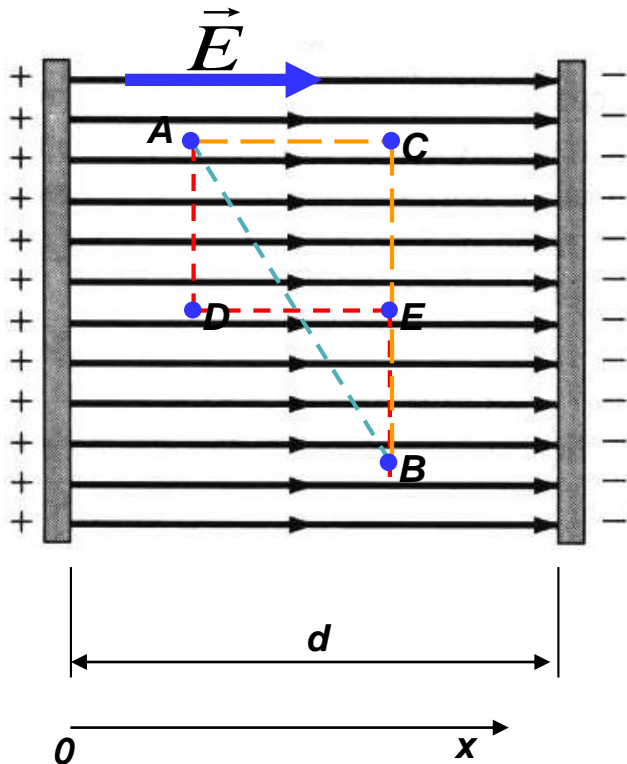
# Trabalho da Força Elétrica

$$\tau_{F_{el}} = F_{el} \cdot \Delta l \cdot \cos \alpha, \text{ com carga de prova } q > 0 \text{ e } \vec{F}_{el} = q \cdot \vec{E}$$

Torna-se importante lembrar que o trabalho realizado por uma força resultante é responsável pela variação da energia cinética do corpo, a qual pode ser representada pelo **oposto** da variação da energia potencial **eletrostática** armazenada no campo elétrico.

$$\tau_{Res} = \Delta E_{cin} = -\Delta E_{pot.eletrostática}$$

- Determinação do trabalho realizado por uma partícula eletrizada  $q > 0$ , do ponto A ao ponto B, indo por 3 caminhos diferentes entre duas placas condutoras eletrizadas, planas e paralelas :



$$\tau_{F_{el}} = F_{el} \cdot \Delta l \cdot \cos \alpha$$

$$\tau_{A-B} = \tau_{A-C} + \tau_{C-B}$$

$$\tau_{A-C} = F_{el} \cdot \Delta l_{A-C} \cdot \cos 0^\circ \rightarrow \tau_{A-C} = F_{el} \cdot (x_C - x_A)$$

$$\tau_{C-B} = F_{el} \cdot \Delta l_{C-B} \cdot \cos 90^\circ \rightarrow \tau_{C-B} = 0$$

$$\therefore \tau_{A-B} = F_{el} \cdot (x_C - x_A) = F_{el} \cdot (x_B - x_A)$$

$$\tau_{A-B} = \tau_{A-D} + \tau_{D-E} + \tau_{E-B}$$

$$\tau_{A-D} = F_{el} \cdot \Delta l_{A-D} \cdot \cos 90^\circ \rightarrow \tau_{A-D} = 0$$

$$\tau_{D-E} = F_{el} \cdot \Delta l_{D-E} \cdot \cos 0^\circ \rightarrow \tau_{D-E} = F_{el} \cdot (x_E - x_D)$$

$$\tau_{E-B} = F_{el} \cdot \Delta l_{E-B} \cdot \cos 90^\circ \rightarrow \tau_{E-B} = 0$$

$$\therefore \tau_{A-B} = F_{el} \cdot (x_E - x_D) = F_{el} \cdot (x_B - x_A)$$

$$\tau_{A-B} = F_{el} \cdot \Delta l_{A-B} \cdot \cos \alpha$$

$$\text{Contudo, } \Delta l_{A-B} \cdot \cos \alpha = (x_C - x_A)$$

$$\therefore \tau_{A-B} = F_{el} \cdot (x_C - x_A) = F_{el} \cdot (x_B - x_A)$$

Portanto, como o trabalho realizado pela força elétrica **independe** do caminho utilizado, o campo elétrico de natureza **eletrostática** é dito **conservativo**.



E o trabalho da força elétrica realizado pela partícula  $q > 0$ , desde a placa positiva até a negativa?

$$\tau_F = |F| \cdot d \cdot \cos \theta \qquad \tau_{F_{el}} = \tau_{Res} = \Delta E_{cin} = -\Delta E_{pot.eletróstática}$$

$$\tau_{F_{el}} = F_{el} \cdot (x_{final} - x_{inicial}) \cdot \cos 0^\circ > 0 \quad , \text{ onde } d = [x_{final(-)} - x_{inicial(+)}] > 0$$

Como  $F_{el} = q \cdot E$

$$\tau_{F_{el}} = q \cdot E \cdot (x_- - x_+) > 0 \quad , \text{ onde } V = E \cdot x \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Potencial} \\ \text{Elétrico} \end{array} \right.$$

$$V_{final} - V_{inicial} \rightarrow -(V_{inicial} - V_{final}) = -\Delta V$$

$$\tau_{F_{el}} = q \cdot (E \cdot x_- - E \cdot x_+) \rightarrow \frac{\tau_{F_{el}}}{q} = E \cdot d = -\Delta V > 0$$

só para o caso de placas condutoras, planas e paralelas.

$$\frac{\tau_{F_{el}}}{q} = -\Delta V \rightarrow \left[ \frac{N}{C} \cdot m \right] = \left[ \frac{J}{C} \right] = [volt] = [V]$$

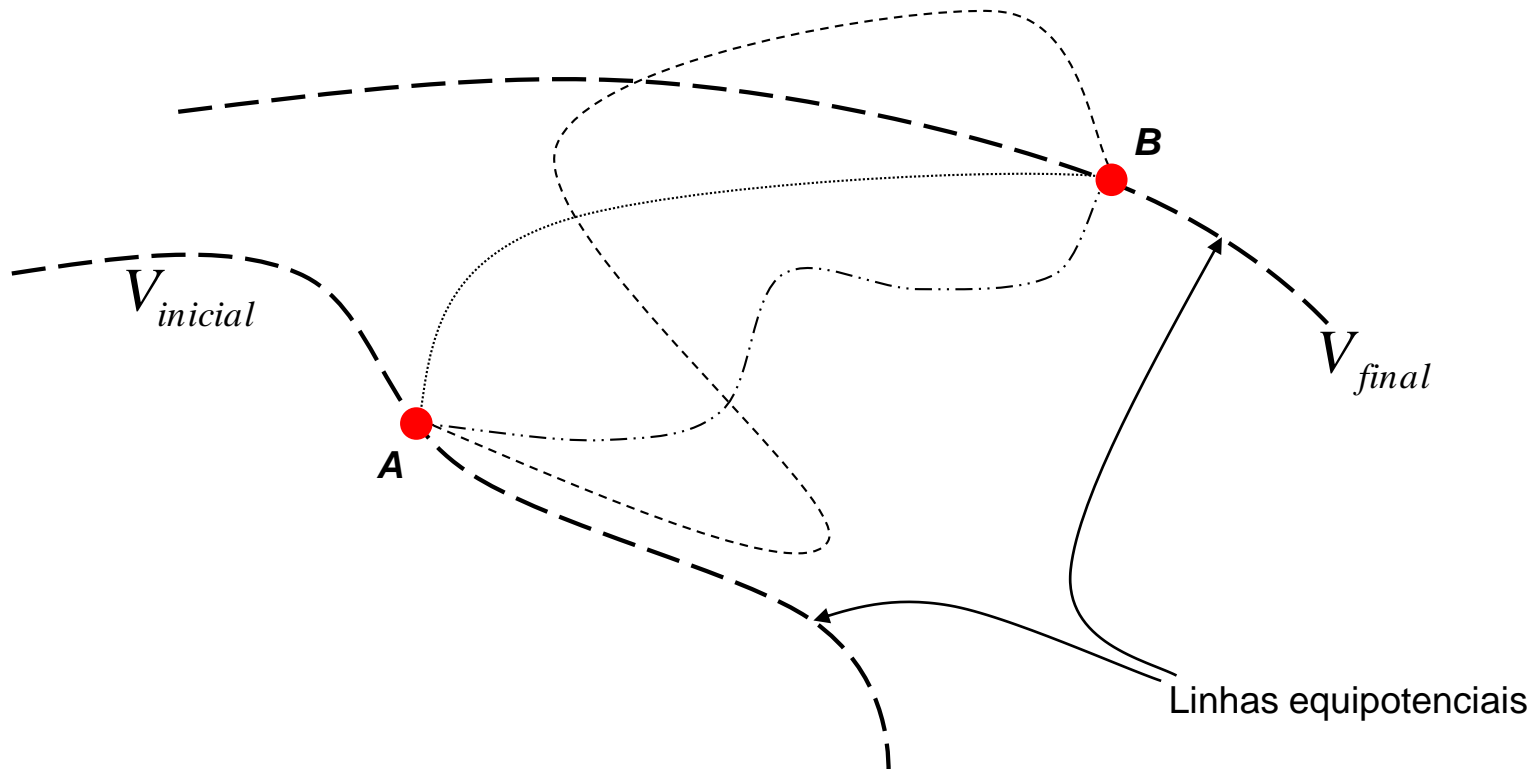
e  $\tau_{F_{el}} = -q \cdot \Delta V$ , que serve para **TODOS** os casos!!!

# Energia Potencial Eletrostática

$$E_{\text{pot.eletrostática}} = q.V \quad \text{unidade} \rightarrow [C.V] = [J]$$

- Determinação do trabalho realizado por uma partícula eletrizada  $q > 0$ , do ponto A ao ponto B, indo por 3 caminhos diferentes, no interior de uma região preenchida com campo eletrostático genérico:

$$\tau_{F_{el}} = F_{el} \cdot \Delta l \cdot \cos \alpha \rightarrow \tau_{F_{el}} = -q \cdot \Delta V = -\Delta E_{\text{pot.eletrostática}} = \Delta E_{\text{cin}}$$



# Exercícios

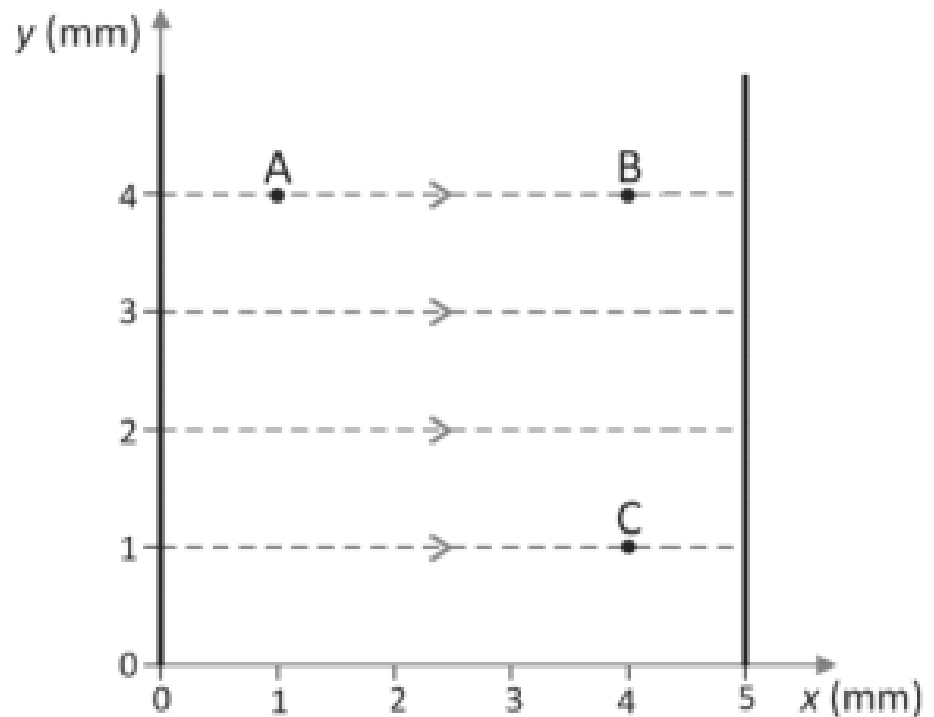
1) (FUVEST) A região entre duas placas metálicas, planas e paralelas está esquematizada na figura ao lado. As linhas tracejadas representam o campo elétrico uniforme existente entre as placas. A distância entre as placas é 5 mm e a diferença de potencial entre elas é 300 V. As coordenadas dos pontos A, B e C são mostradas na figura. Determine:

- os módulos  $E_A$ ,  $E_B$  e  $E_C$  do campo elétrico nos pontos A, B e C, respectivamente;
- as diferenças de potencial  $V_{AB}$  e  $V_{BC}$  entre os pontos A e B e entre os pontos B e C, respectivamente;
- o trabalho  $\tau$  realizado pela força elétrica sobre um elétron que se desloca do ponto C ao ponto A.

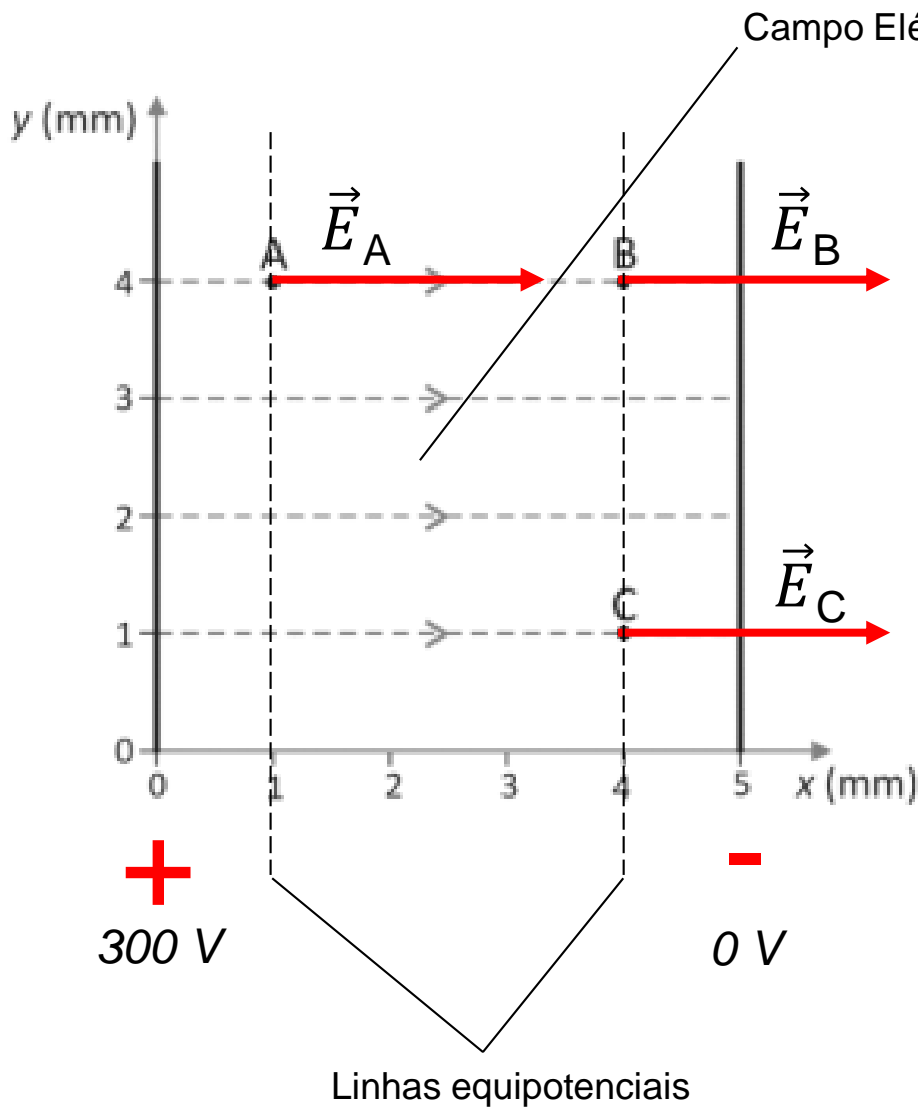
Note e adote:

O sistema está em vácuo.

Carga do elétron =  $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$



a) os módulos  $E_A$ ,  $E_B$  e  $E_C$  do campo elétrico nos pontos A, B e C, respectivamente;



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

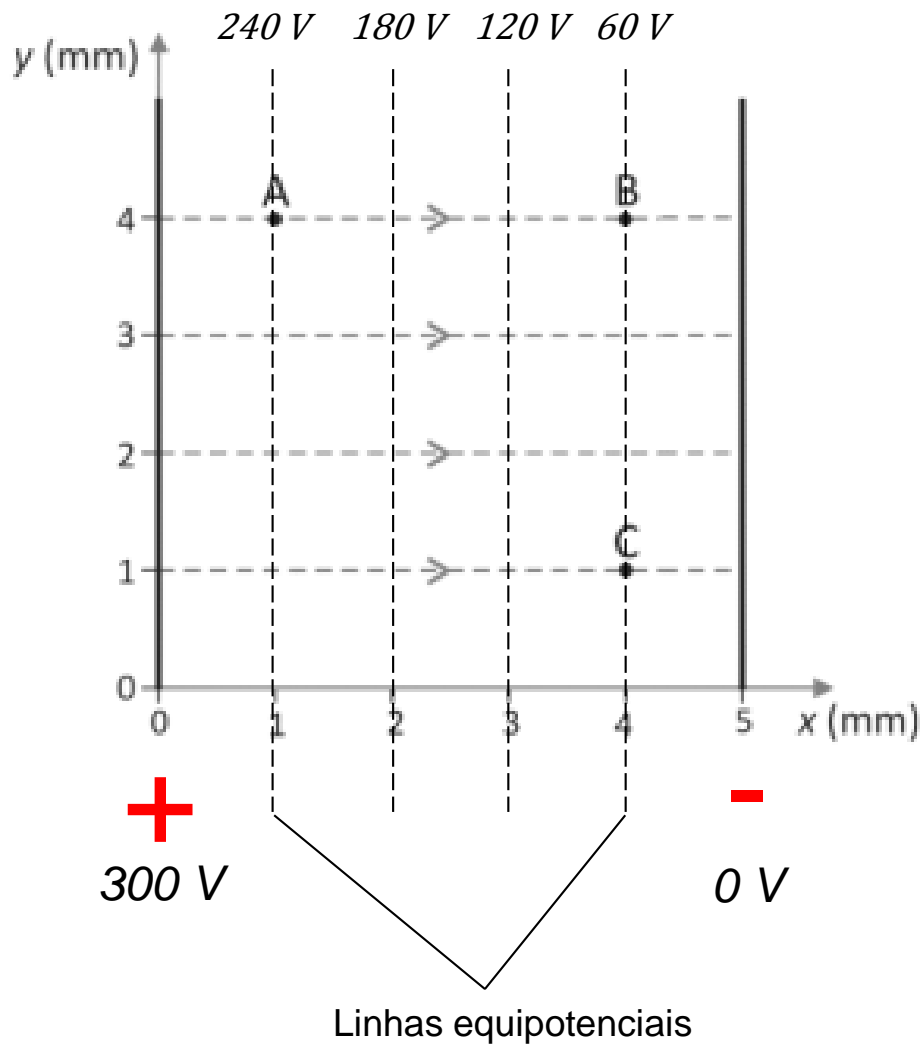
$$E_A = E_B = E_C$$

$$-\Delta V = E \cdot (x_{inicial} - x_{final})$$

$$-300 = E \cdot (0 - 5)$$

$$E = 60 \text{ V/mm}$$

b) as diferenças de potencial  $V_{AB}$  e  $V_{BC}$  entre os pontos A e B e entre os pontos B e C, respectivamente;



$$-\Delta V = E \cdot (x_{inicial} - x_{final})$$

$$-(V_i - V_f) = E \cdot (x_i - x_f)$$

$$-(300 - V) = 60 \cdot (0 - x)$$

$$-300 + V = -60 \cdot x$$

$$V(x) = +300 - 60 \cdot x \text{ [V]}$$

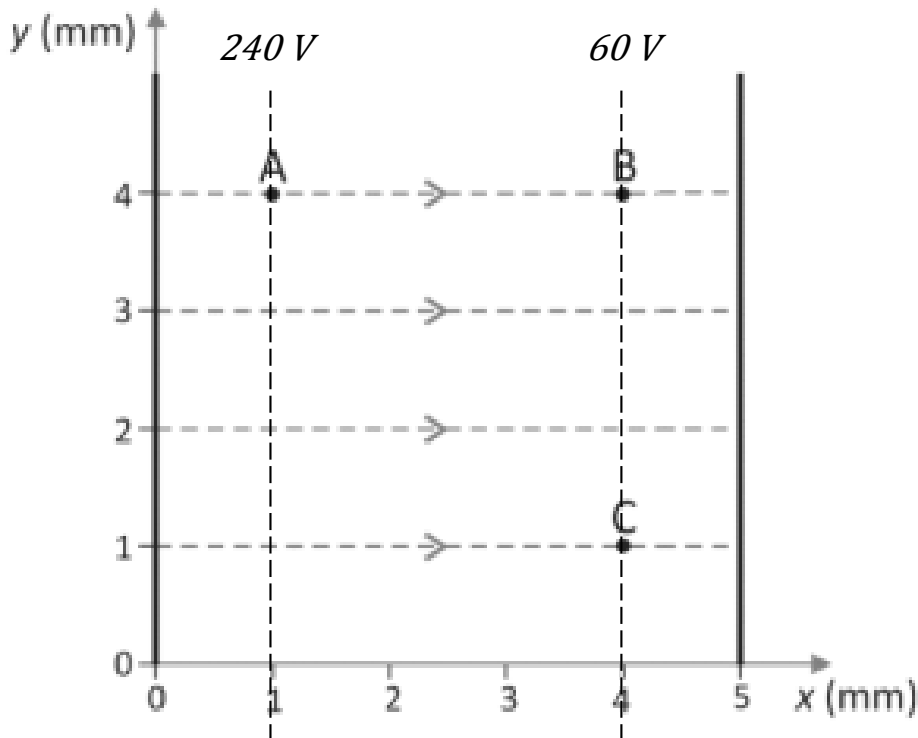
$$V_{AB} = (V_A - V_B) = +180 \text{ V}$$

$$V_{BC} = (V_B - V_C) = 0 \text{ V}$$

c) o trabalho  $\tau$  realizado pela força elétrica sobre um elétron que se desloca do ponto C ao ponto A.

$$\tau_{F_{el}} = -q \cdot \Delta V$$

Carga do elétron =  $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$



$$\tau_{F_{el}} = -(-1,6 \cdot 10^{-19}) \cdot (240 - 60)$$

$$\tau_{F_{el}} = +2,88 \cdot 10^{-17} \text{J}$$

2) (UNICAMP) Sabe-se atualmente que os prótons e nêutrons não são partículas elementares, mas sim partículas formadas por três *quarks*. Uma das propriedades importantes do *quark* é o sabor, que pode assumir seis tipos diferentes: *top*, *bottom*, *charm*, *strange*, *up* e *down*. Apenas os *quarks up* e *down* estão presentes nos prótons e nos nêutrons. Os *quarks* possuem carga elétrica fracionária. Por exemplo, o *quark up* tem carga elétrica igual a  $q_{up} = +2 \cdot e/3$ , e o *quark down*,  $q_{down} = -1 \cdot e/3$ , onde  $e$  é o módulo da carga elementar do elétron.

- a. Quais são os três *quarks* que formam os prótons e os nêutrons?  
 b. Calcule o módulo da força de atração eletrostática entre um *quark up* e um *quark down* separados por uma distância  $d = 0,2 \cdot 10^{-15}$  m. Caso necessário,  $k = 9 \cdot 10^9$  N.m<sup>2</sup>/C<sup>2</sup> e  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C

a. Próton  $\rightarrow +e$        $q_1 + q_2 + q_3 = +e$        $+\frac{2}{3} \cdot e + \frac{2}{3} \cdot e - \frac{1}{3} \cdot e = +e$       p  $\rightarrow (up; up; down)$

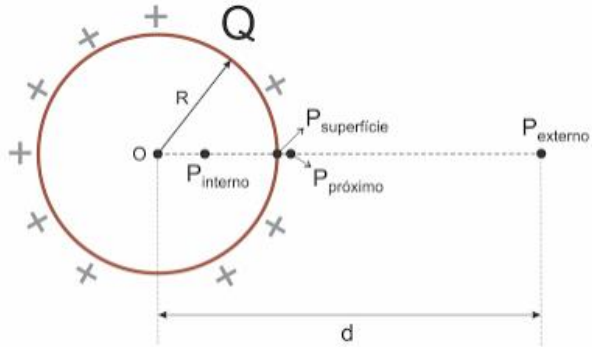
Nêutron  $\rightarrow 0$        $q_1 + q_2 + q_3 = 0$        $+\frac{2}{3} \cdot e - \frac{1}{3} \cdot e - \frac{1}{3} \cdot e = 0$       n  $\rightarrow (up; down; down)$

b.  $F_{el} = k_{el} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \rightarrow F_{el} = k_{el} \cdot \frac{q_{up} \cdot q_{down}}{d^2} \rightarrow F_{el} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{\frac{2}{3} \cdot e \cdot \frac{1}{3} \cdot e}{(0,2 \cdot 10^{-15})^2}$

$\rightarrow F_{el} = \cancel{9} \cdot 10^9 \cdot \frac{\cancel{\frac{2}{3}} \cdot \cancel{\frac{1}{3}}}{(0,2 \cdot 10^{-15})^2} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19})^2 \rightarrow F_{el} = \frac{2 \cdot (1,6)^2}{(0,2)^2} \cdot \frac{10^9 \cdot (10^{-19})^2}{(10^{-15})^2}$

$F_{el} = 1,28 \cdot 10^3 \text{ N}$

- 3) (UERJ) Em um laboratório, um pesquisador colocou uma esfera eletricamente carregada em uma câmara na qual foi feito vácuo. O potencial e o módulo do campo elétrico medidos a certa distância dessa esfera valem, respectivamente, 600 V e 200 V/m. Determine o valor da carga elétrica da esfera.

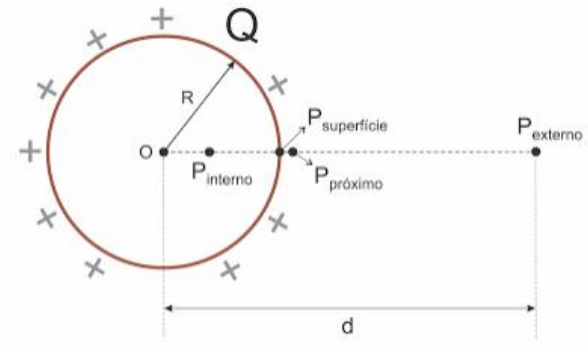


$$E = k_{el} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

$$200 = k_{el} \cdot \frac{Q}{d^2}$$

$$200 = k_{el} \cdot \frac{Q}{d \cdot d} = \frac{600}{d}$$

$$d = 3m$$



$$V_{\infty} = +k_{el} \cdot \frac{Q}{r}$$

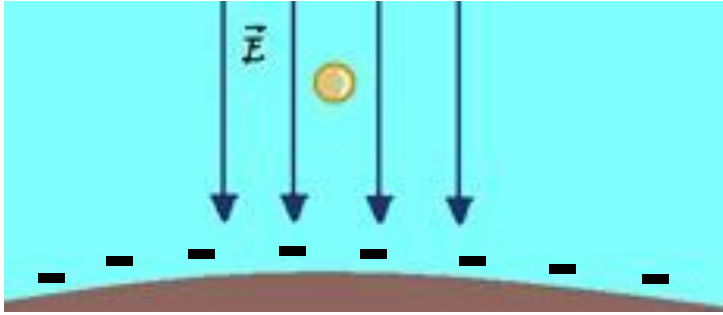
$$600 = +k_{el} \cdot \frac{Q}{d}$$

$$Q = +600 \cdot \frac{d}{k_{el}} \rightarrow Q = +600 \cdot \frac{3}{9 \cdot 10^9}$$

$$Q = +200 \cdot 10^{-9} C \rightarrow Q = +200 nC$$



- 4) (MACKENZIE-SP) Existe um campo elétrico apontando para baixo, na atmosfera terrestre, com uma intensidade média de 100 N/C. Deseja-se fazer flutuar nesse campo uma esfera de enxofre de 0,5 kg. Que carga (módulo e sinal) precisa ter a esfera? ( $g = 10\text{m/s}^2$ ).



$$\vec{F}_{el} = q \cdot \vec{E} \quad \vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

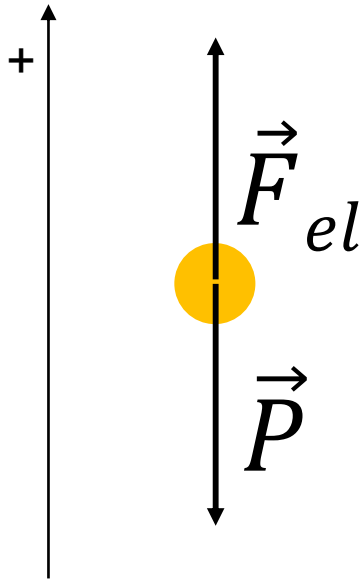
$$\Sigma \vec{F}_{ext} = m \cdot \vec{a} \quad \text{P.F.D.T.}$$

$$\Sigma F_y = m \cdot a_y$$

$$+F_{el} - P = m \cdot a_y$$

$$+q \cdot E - m \cdot g = 0$$

$$q = \frac{m \cdot g}{E}, < 0$$



- 5) (FUVEST) Duas pequenas esferas,  $E_1$  e  $E_2$ , feitas de materiais isolantes diferentes, inicialmente neutras, são atritadas uma na outra durante **5 s** e ficam eletrizadas. Em seguida, as esferas são afastadas e mantidas a uma distância de **30 cm**, muito maior que seus raios. A esfera  $E_1$  ficou com carga elétrica positiva de **0,8 nC**. Determine a) a diferença  $N$  entre o número de prótons e o de elétrons da esfera  $E_1$ , após o atrito; b) o sinal e o valor da carga elétrica  $Q$  de  $E_2$ , após o atrito; c) a corrente elétrica média  $I$  entre as esferas durante o atrito; d) o módulo da força elétrica  $F$  que atua entre as esferas depois de afastadas.

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

- 6) (FUVEST) Em uma aula de laboratório de Física, para estudar propriedades de cargas elétricas, foi realizado um experimento em que pequenas esferas eletrizadas são injetadas na parte superior de uma câmara, em vácuo, onde há um campo elétrico uniforme na mesma direção e sentido da aceleração local da gravidade. Observou-se que, com campo elétrico de módulo igual a  $2 \cdot 10^3 \text{ V/m}$ , uma das esferas, de massa  $3,2 \cdot 10^{-15} \text{ kg}$ , permanecia com velocidade constante no interior da câmara. Essa esfera tem:
- a) o mesmo número de elétrons e de prótons.
  - b) 100 elétrons a mais que prótons.
  - c) 100 elétrons a menos que prótons.
  - d) 2000 elétrons a mais que prótons.
  - e) 2000 elétrons a menos que prótons.

Note e adote:

carga do elétron =  $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

carga do próton =  $+1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

aceleração local da gravidade =  $10 \text{ m/s}^2$

7) (FUVEST-SP) Em um ponto do espaço:

- I. Uma carga elétrica não sofre ação da força elétrica se o campo nesse local for nulo.
- II. Pode existir campo elétrico sem que aí exista força elétrica.
- III. Sempre que houver uma carga elétrica, esta sofrerá ação da força elétrica.

Use: C (certo) ou E (errado).

a) CCC

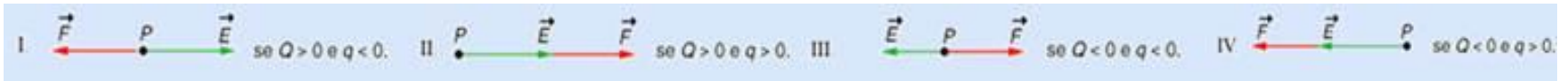
b) CEE

c) ECE

d) CCE

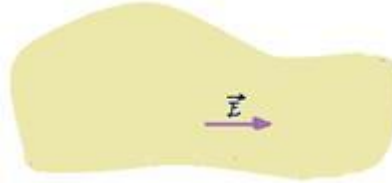
e) EEE

8) (UFU-MG) A figura abaixo representa uma carga  $Q$  e um ponto  $P$  do seu campo elétrico, onde é colocada uma carga de prova  $q$ . Analise as afirmativas abaixo, observando se elas representam corretamente o ponto de atuação e o sentido do vetor campo elétrico em  $P$  e da força que atua sobre  $q$ . São corretas:



- a) todas as afirmações.
- b) apenas I, II e III.
- c) apenas II, III e IV.
- d) apenas III e IV.
- e) apenas I e III.

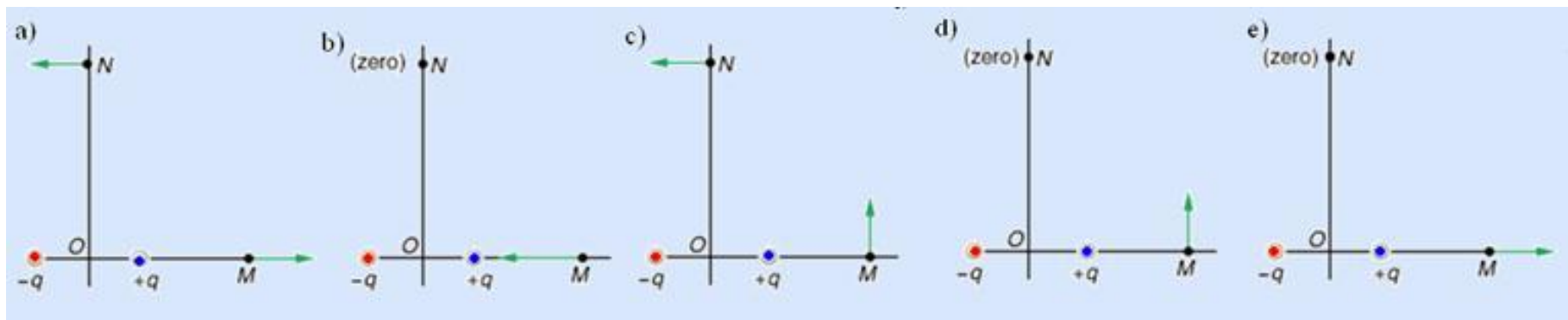
- 9) (FATEC-SP) Em um ponto P do espaço existe um campo elétrico horizontal de intensidade  $E = 5 \cdot 10^4$  N/C, voltado para a direita.



$$\vec{F}_{el} = q \cdot \vec{E}$$

- a) Se uma carga de prova de  $1,5 \mu\text{C}$ , positiva, é colocada em P, qual será o valor da força elétrica que atua sobre ela?
- b) Em que sentido a carga de prova tenderá a se mover, se for solta?
- c) Responda às questões a e b supondo que a carga de prova seja negativa.
- 10) (UFB) De que maneira você consegue detectar a presença de um campo elétrico em uma determinada região do espaço?
- 11) (UFRGS-RS) O módulo do vetor campo elétrico produzido por uma carga elétrica puntiforme em um ponto P é igual a E. Dobrando-se a distância entre a carga e o ponto P, por meio do afastamento da carga, o módulo do vetor campo elétrico nesse ponto muda para:
- a) E/4.                      b) E/2.                      c) 2E.                      d) 4E.                      e) 8E.
- 12) (UFPEL-RS) O pósitron é a antipartícula do elétron, possui a mesma massa, porém com carga elétrica positiva  $+e$ . Sob a ação de um campo elétrico uniforme, o pósitron sofre uma aceleração cujo módulo é **a**. Ao quadruplicarmos a intensidade do campo elétrico, o pósitron sofrerá uma aceleração cujo módulo vale
- a) a/2                      b) a                      c) a/4                      d) 4a                      e) 3a

13) (UERJ-RJ) Duas cargas pontuais distam  $d$  uma da outra. Consideram-se os dois pontos M e N (ver figura), tais que  $OM = ON$ . Qual das seguintes figuras representa corretamente o vetor campo elétrico em M e N?



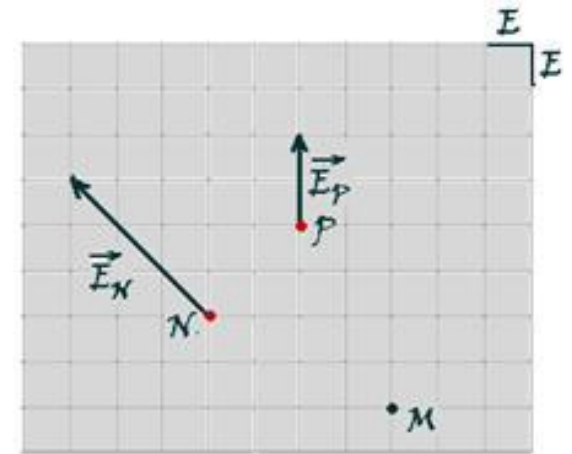
14) (UCSal-BA) Os pontos assinalados na figura abaixo estão igualmente espaçados:



O vetor campo elétrico resultante, criado por  $Q$  e  $-4Q$ , localizados nos pontos 7 e 4, indicados na figura, é nulo no ponto:

- a) 10                      b) 8                      c) 6                      d) 5                      e) 1

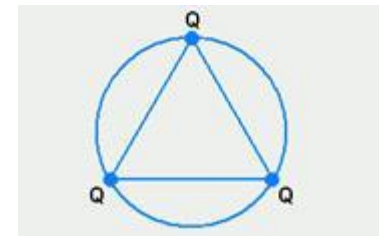
- 15) (UFB) A figura a seguir mostra dois pontos P e N, e os respectivos vetores campo elétrico numa região onde o campo elétrico foi criado por uma única carga puntiforme fixa Q.



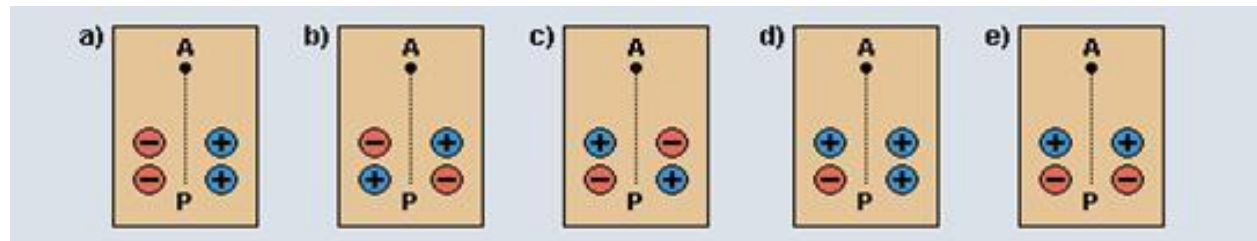
Baseado na figura de escala  $E = 2 \cdot 10^3 \text{ N/C}$ :

- Localize a carga Q, que origina o campo, e determine seu sinal.
- Determine a intensidade, direção e sentido da força elétrica que atua sobre uma carga de prova  $q = 3 \mu\text{C}$  colocada no ponto M.

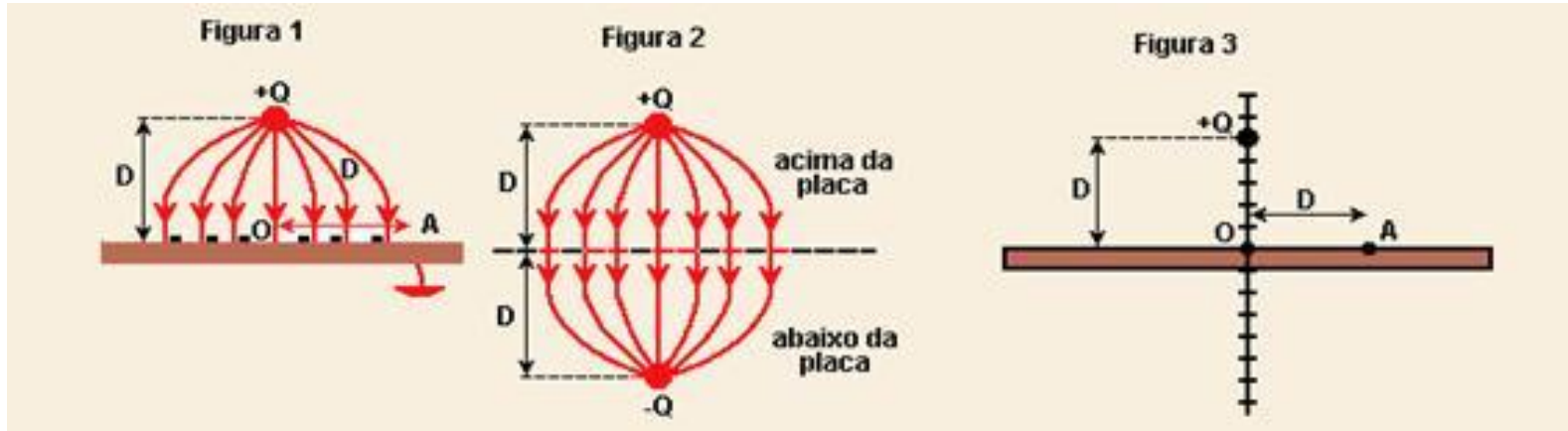
- 16) (UFPE) Três cargas pontuais de valor  $Q = 10^{-6} \text{ C}$  foram posicionadas sobre uma circunferência de raio igual a 1 cm formando um triângulo equilátero, conforme indica a figura. Determine o módulo do campo elétrico no centro da circunferência, em N/C.



- 17) (FUVEST-SP) Um pequeno objeto, com carga elétrica positiva, é largado da parte superior de um plano inclinado, no ponto A, e desliza, sem ser desviado, até atingir o ponto P. Sobre o plano, estão fixados 4 pequenos discos com cargas elétricas de mesmo módulo. As figuras representam os discos e os sinais das cargas, vendo-se o plano de cima. Das configurações a seguir, a única compatível com a trajetória retilínea do objeto é



- 18) (FUVEST-SP) Uma pequena esfera, com carga elétrica positiva  $Q = 1,5 \times 10^{-9} \text{C}$ , está a uma altura  $D = 0,05 \text{ m}$  acima da superfície de uma grande placa condutora, ligada à Terra, induzindo sobre essa superfície cargas negativas, como na figura 1. O conjunto dessas cargas estabelece um campo elétrico que é idêntico, apenas na parte do espaço acima da placa, ao campo gerado por uma carga  $+Q$  e uma carga  $-Q$ , como se fosse uma “imagem” de  $Q$  que estivesse colocada na posição representada na figura 2.



- a) Determine a intensidade da força  $F$ , em N, que age sobre a carga  $+Q$ , devida às cargas induzidas na placa.
- b) Determine a intensidade do campo elétrico  $E_0$ , em V/m, que as cargas negativas induzidas na placa criam no ponto onde se encontra a carga  $+Q$ .
- c) Represente, no diagrama da figura 3, no ponto A, os vetores campo elétrico  $E_+$  e  $E_-$ , causados, respectivamente, pela carga  $+Q$  e pelas cargas induzidas na placa, bem como o campo resultante,  $E_A$ . O ponto A está a uma distância  $D$  do ponto O da figura e muito próximo à placa, mas acima dela.
- d) Determine a intensidade do campo elétrico resultante  $E_A$ , em V/m, no ponto A.

NOTE E ADOTE

$$F = k \frac{Qq}{r^2}; E = k \frac{Q}{r^2}; \text{ onde } k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}$$

$$1 \text{ V/m} = 1 \text{ N/C}$$

# **Referências**

- <http://fisicaevestibular.com.br/novo/eletricidade/eletrostatica/campo-eletrico/1705-2/>
- [http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2013/05/cursos-do-blog-eletricidade\\_15.html](http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2013/05/cursos-do-blog-eletricidade_15.html)
- <https://fisicadomundo.wordpress.com/2015/09/12/blindagem-eletrostatica/>
- [https://pt.wikipedia.org/wiki/Gaiola\\_de\\_Faraday](https://pt.wikipedia.org/wiki/Gaiola_de_Faraday)
- <http://cosmonovas.blogspot.com/2014/01/distancia-entre-galaxias-e-medida-com.html>
- <https://www.independent.co.uk/news/world/americas/lightning-strikes-rio-de-janeiro-jesus-statue-9069060.html>
- <https://www.standardmedia.co.ke/article/2001351050/pilot-lands-plane-hit-by-lightning-hailstones>
- [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172009000100013](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172009000100013)