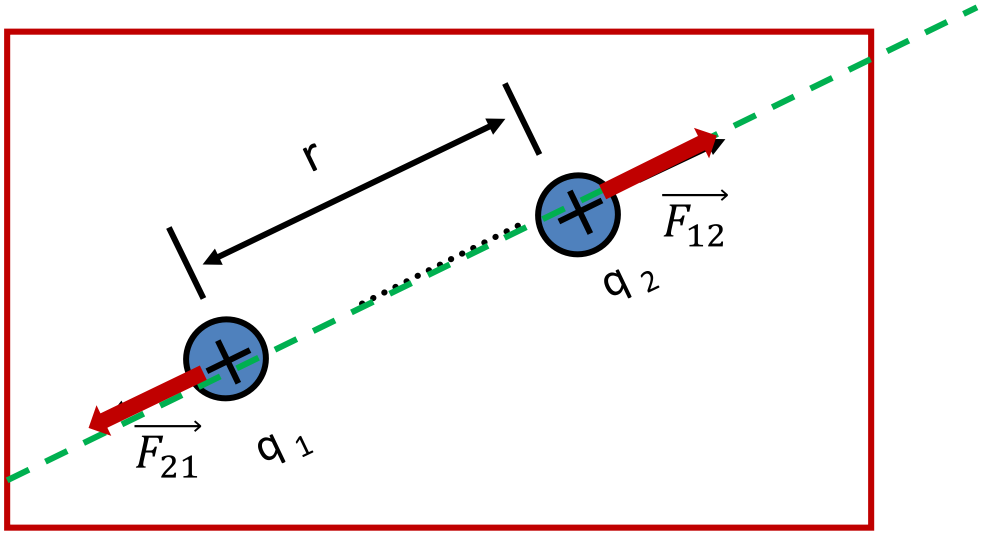
Capítulo 1. Campos Elétricos

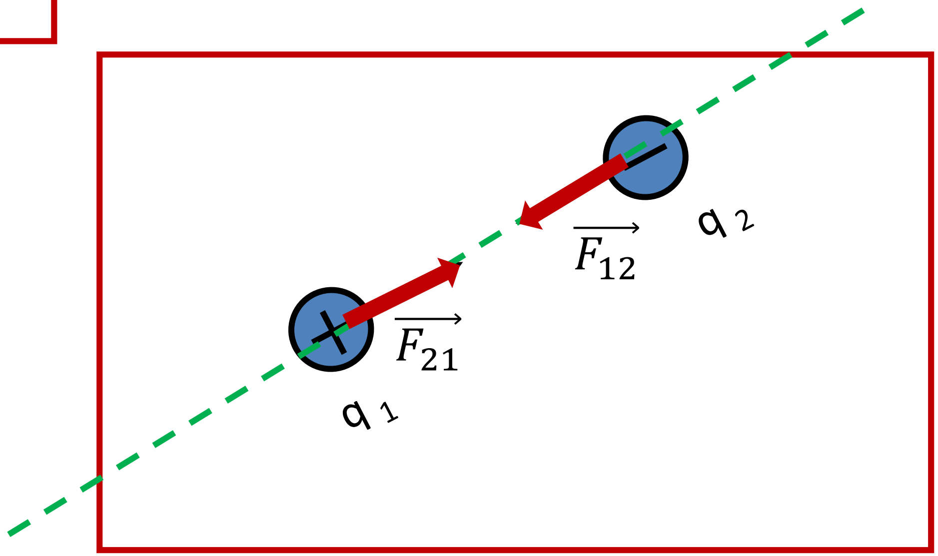
1.4 Lei de Coulomd

Força que a carga 1 exerce na carga 2 e que a carga 2 exerce na carga 1



$$\overrightarrow{F_{ab}} = \left|\overrightarrow{F_{ab}}\right|\widehat{r_{ab}}$$

$$\overrightarrow{F_{12}} = K\,\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}\widehat{r_{12}}$$



q_1 e q_2 mesmo sinal

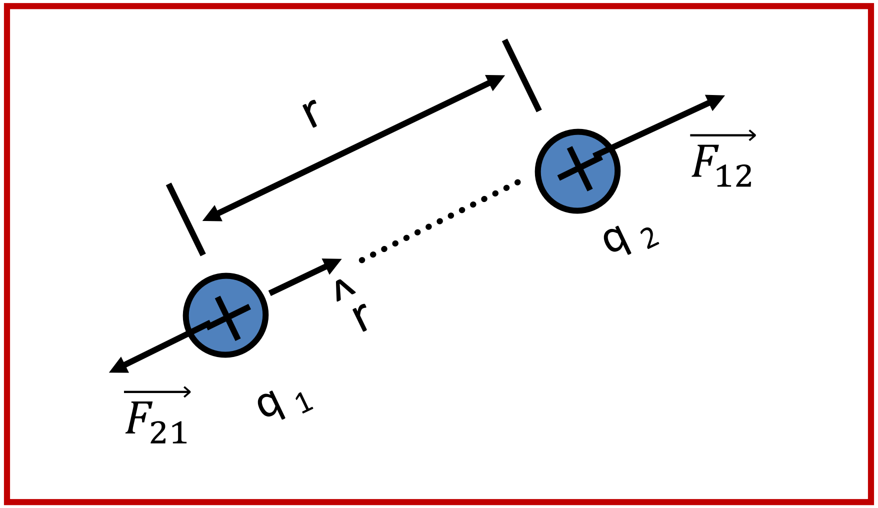
$q_1\, q_2 > 0$

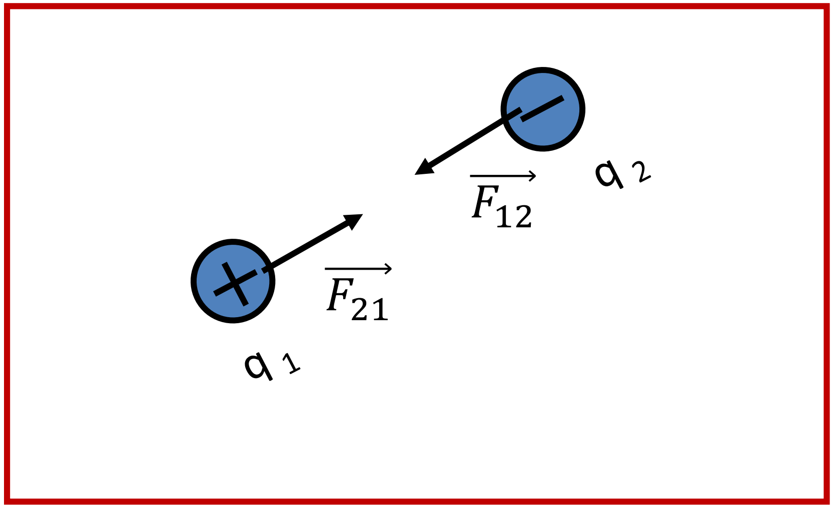
Força Repulsiva

q_1 e q_2 sinais opostos

$q_1\, q_2 < 0$

Força Atrativa

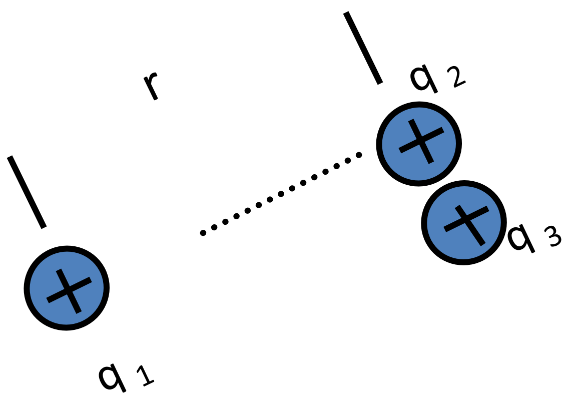




? Qual a força que uma carga sente se tiver na sua vizinhança mais do que uma carga?

1.5 Principio de sobreposição

Consideremos agora que temos mais do que duas cargas



Qual a força que q_1 sente?

A força resultante sobre qualquer das cargas é igual à soma vectorial das forças devidas às cargas individuais.

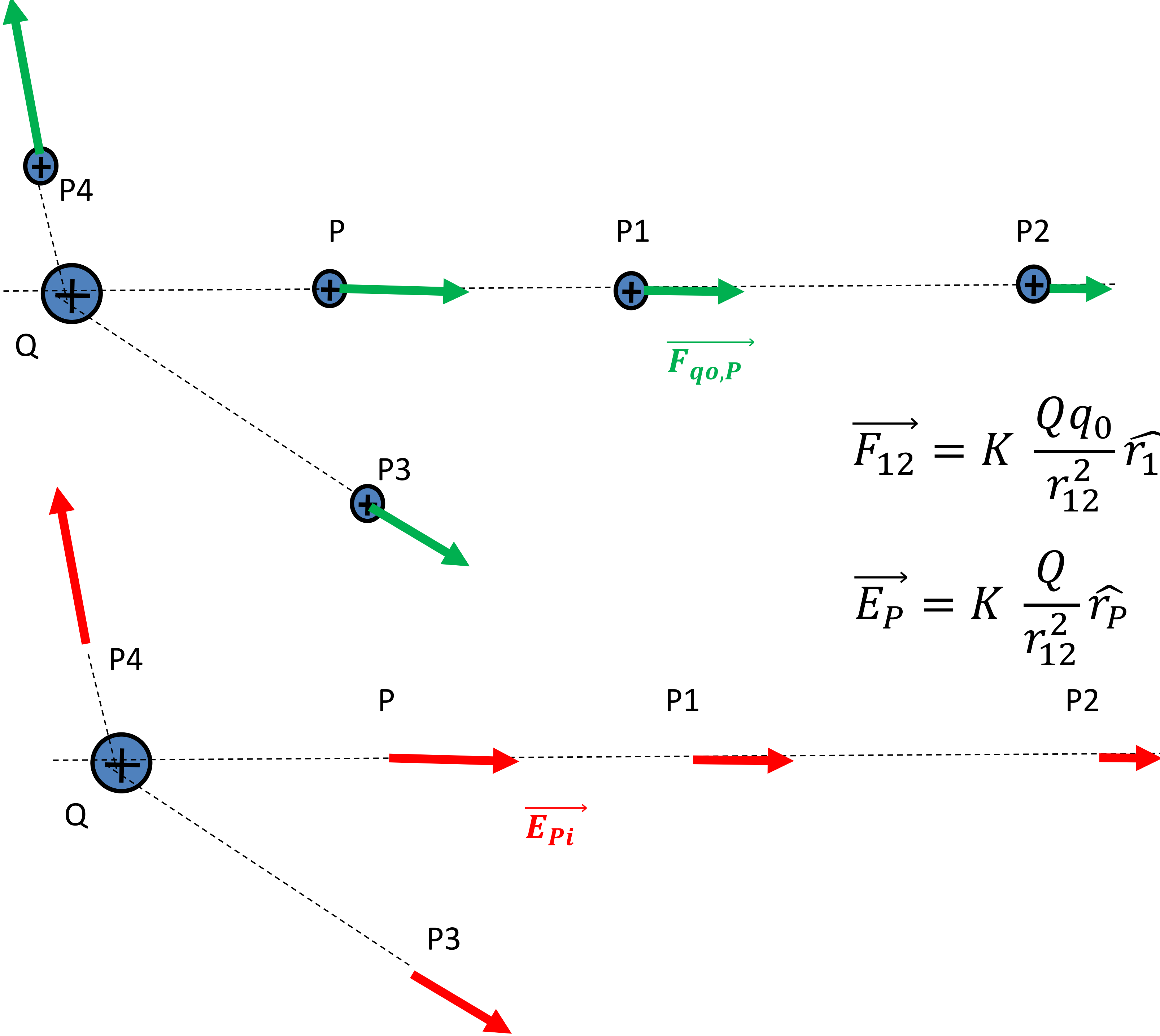
$$\boxed{\vec{F}_1 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{41}}$$

1.4 Campo Elétrico

- O vetor campo elétrico, $\vec{E}$, num ponto do espaço define-se como a força elétrica, $\vec{F}$, que atua sobre uma carga de prova colocada nesse ponto, dividida pelo módulo dessa carga de prova q_0:

$$\overrightarrow{E_P} = \frac{\overrightarrow{F_{qo,P}}}{q_o}$$

(**S.I. $\Rightarrow$ N/C**)

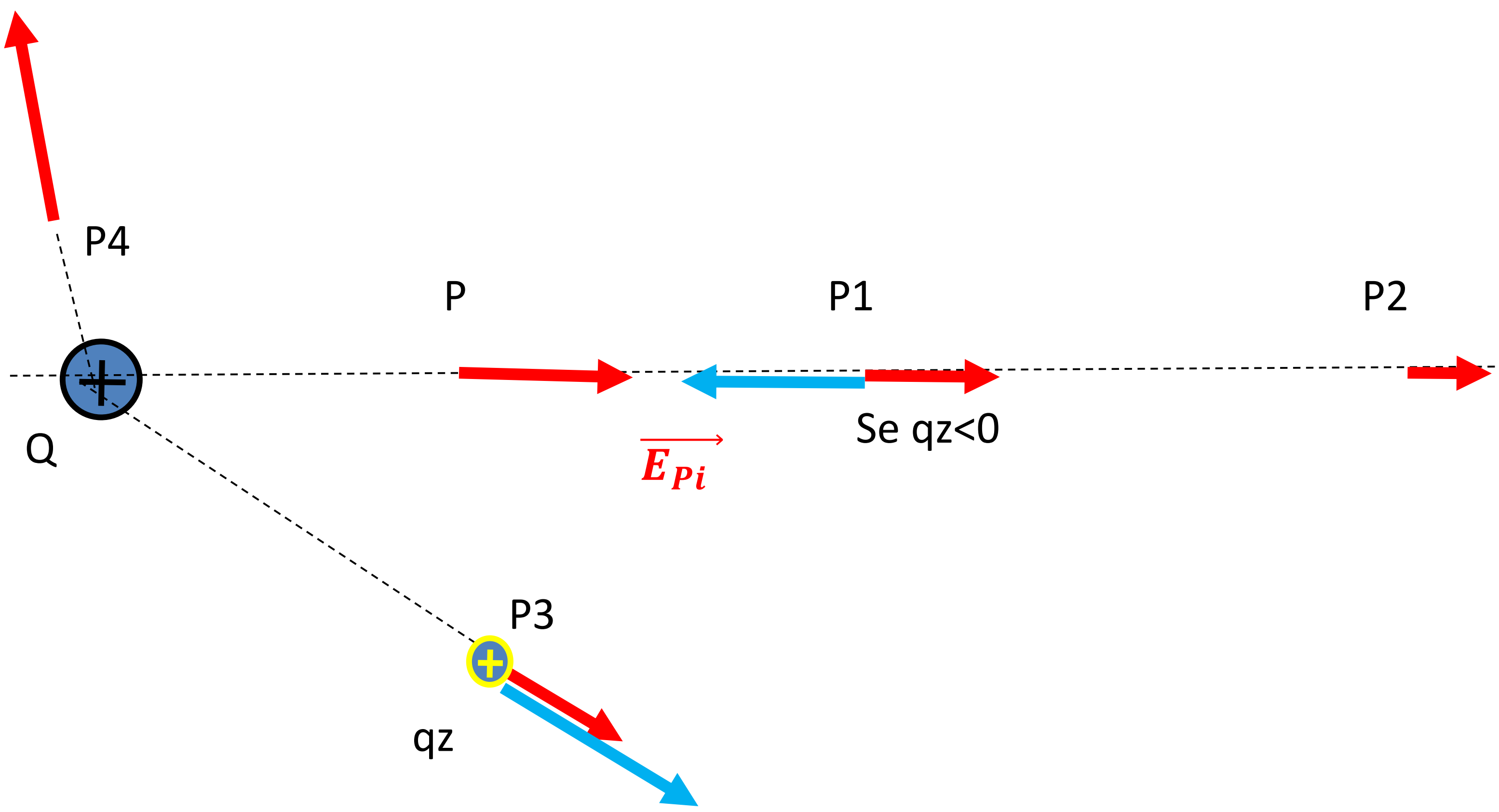


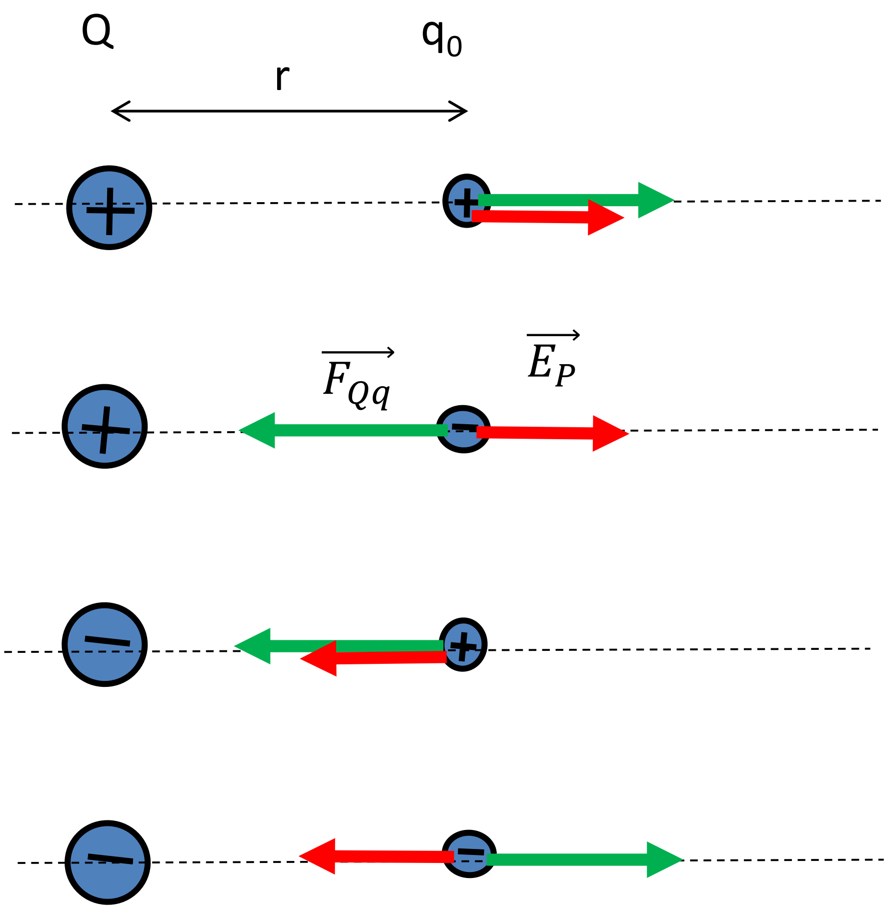
$$\overrightarrow{F_{12}} = K\,\frac{Q q_0}{r_{12}^2}\,\widehat{r_{12}}$$

$$\overrightarrow{E_P} = K\,\frac{Q}{r_{12}^2}\,\widehat{r_P}$$

Então se colocar a carga *qz* no ponto P3 (ou P1) sabe-se logo que essa carga vai sentir uma

$$\overrightarrow{F_{12}} = K\,\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}\,\widehat{r_{12}} \qquad\qquad \overrightarrow{F_{qz,Pi}} = q_z\,\overrightarrow{E_{Pi}}$$





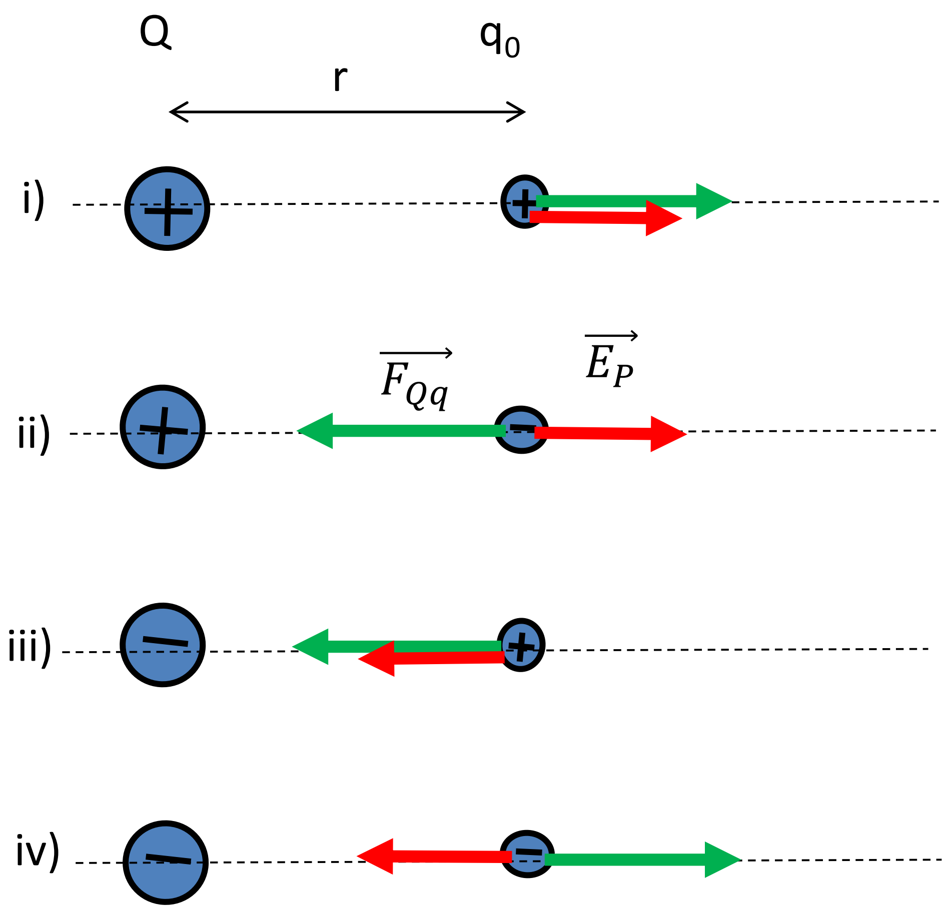
Força que a carga Q exerce na carga q:
Possui magnitude em todas as situações do esquema:

$$\left|\overrightarrow{F_{Qq}}\right| = K\,\frac{[Q]|q|}{r^2}$$

Campo elétrico (criado pela carga Q) no ponto onde está a carga q:
Possui magnitude em todas as situações do esquema
Sentido depende do sinal da carga q

$$\overrightarrow{E_P} = \frac{\overrightarrow{F_{Qq}}}{q}$$

$$\left|\overrightarrow{E_P}\right| = \frac{\left|\overrightarrow{F_{Qq}}\right|}{|q|}$$



i) e ii): Cargas positivas criam campos elétricos que apontam para longe delas

iii) e iv): Cargas negativas criam campos elétricos que apontam para elas

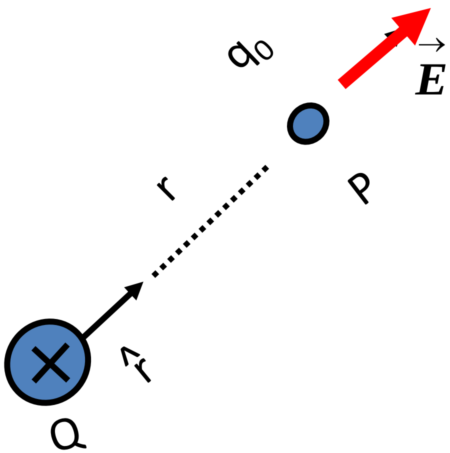
i) e iii): Força na carga e campo que a carga sente tem o mesmo sentido se carga for positiva

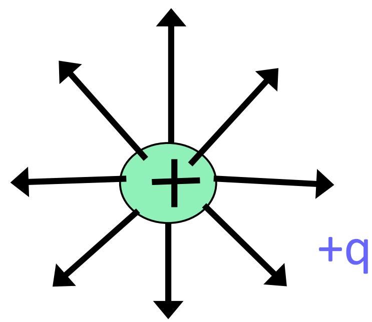
ii) e iv): Força na carga e campo que a carga sente têm sentidos opostos se carga for negativa

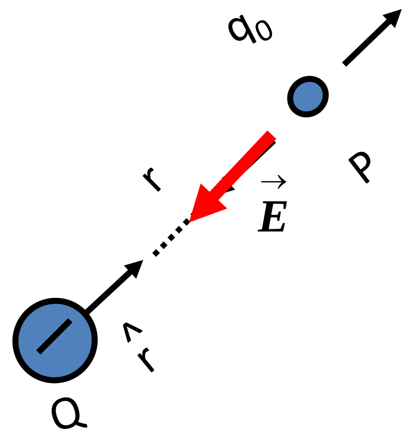
Campo elétrico criado por carga pontual:

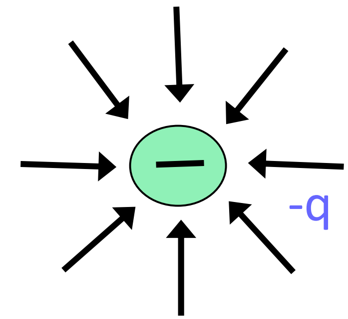
q > 0 $\Rightarrow$ campo radial, dirigido para longe dela

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









$$\vec{F} = K \frac{Q q_0}{r^2} \hat{r}$$

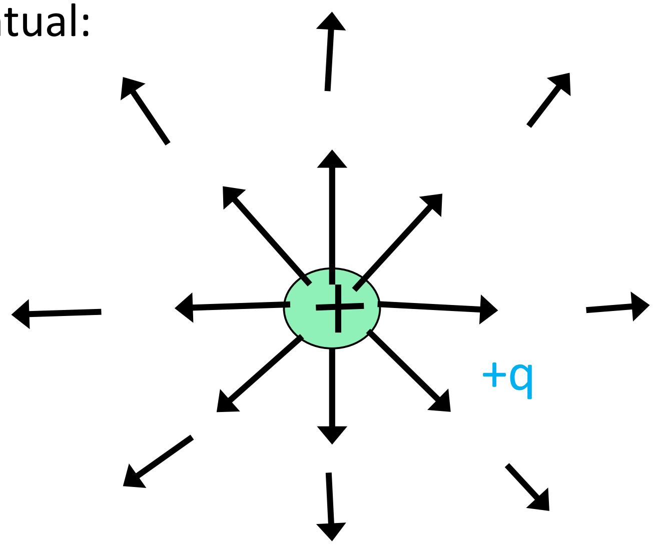
$$\boxed{\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = K \frac{Q}{r^2} \hat{r}}$$

No ponto onde se colocaria a carga de prova

1.7 Campos Elétricos uniformes e não uniformes

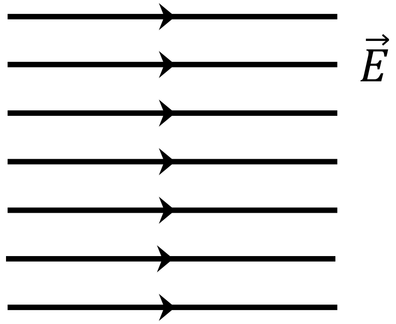
Campo elétrico criado por carga pontual:

$$\vec{E}(r) = \frac{kq}{r^2}\hat{r}$$



Este campo é não uniforme: O campo elétrico varia de ponto para ponto

Campos uniforme: O campo elétrico não varia de ponto para ponto. Módulo direção e sentido são os mesmos em qualquer ponto.



Campo elétrico numa região do espaço devido a várias cargas pontuais

- Princípio da sobreposição: Num determinado ponto do espaço, o campo elétrico total, devido a um grupo de cargas, é igual **à soma vetorial** dos campos elétricos de todas as cargas.

$$\overrightarrow{E_P} = K \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \widehat{r_i}$$

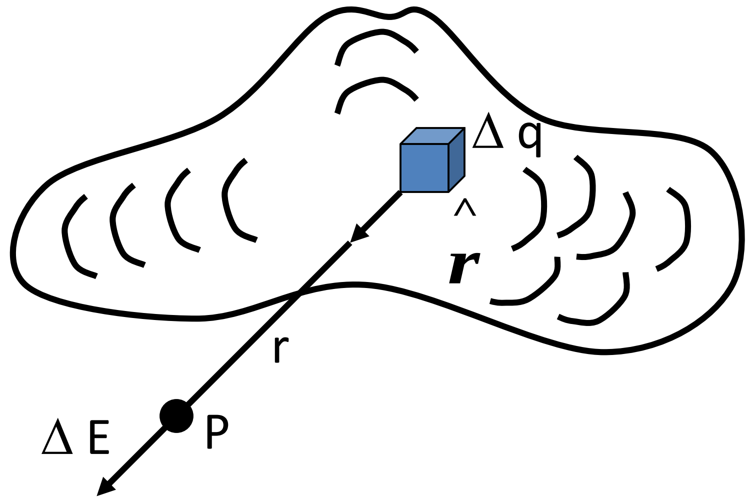
$\widehat{r_i}$: vetor unitário (versor) dirigido de q_i para P

r_i : distância da i-ésima carga, q_i, ao ponto P (localização da carga de prova)

$$\overrightarrow{E_P} = \frac{\overrightarrow{F_{qo,P}}}{q_o}$$

1.8 Campo elétrico de uma distribuição contínua de cargas

Metodologia: Princípio de sobreposição



1. Dividimos a distribuição contínua de carga em pequeninos elementos Δq (dq).

2. Usamos a lei de Coulomb para calcular o campo elétrico em P devido a um desses elementos:

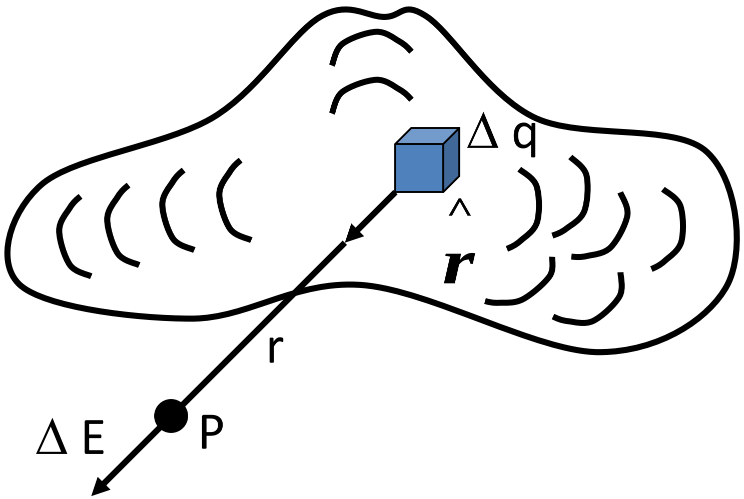
+q

$$\vec{E}(r) = \frac{kq}{r^2}\hat{r}$$

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

$$\boxed{d\vec{E} = K\frac{dq}{r^2}\hat{r}}$$

Contribuição para o campo elétrico no ponto P, devido a Δq (dq)



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

$$\boxed{\vec{E} \cong K \sum_{i} \frac{\Delta q_i}{r_i^{\,2}} \hat{r}_i}$$

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:

$$\vec{E} = K \lim_{\Delta q_i \to 0} \sum_i \frac{\Delta q_i}{r_i^{\,2}} \hat{r}_i = K \int \frac{dq}{r^2} \hat{r}$$

Cargas uniformemente distribuídas

Densidades de carga:

Num volume	$V \Rightarrow \rho \equiv \frac{Q}{V}\left(\frac{C}{m^3}\right)$

$Q_{total} = \rho V$

Uma superfície de área	$A \Rightarrow \sigma \equiv Q/A\left(\frac{C}{m^2}\right)$

$Q_{total} = \sigma A$

Uma linha de comprimento	$l \Rightarrow \lambda \equiv Q/l\left(\frac{C}{m}\right)$

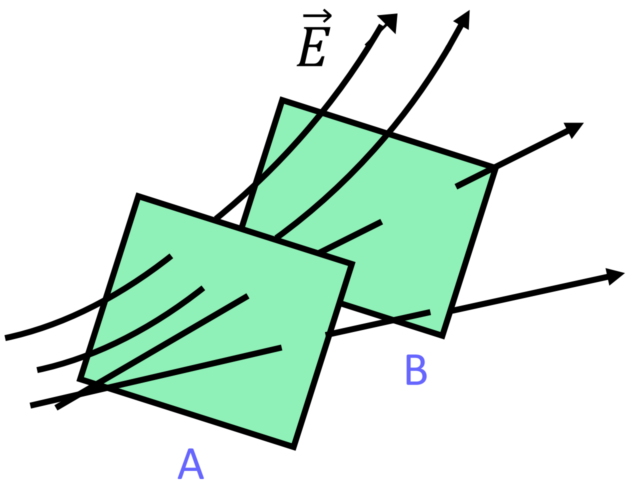
$Q_{total} = \lambda L$

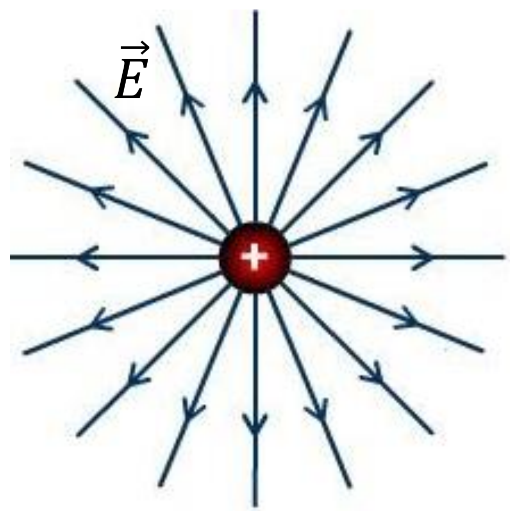
Cargas NÃO uniformemente distribuídas:

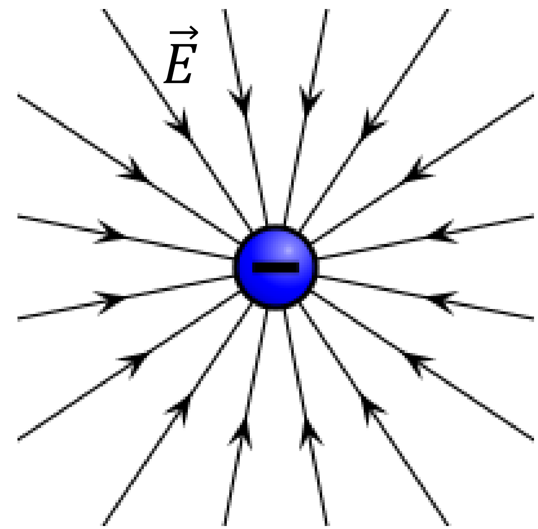
$$\rho = \frac{dQ}{dV};\sigma = \frac{dQ}{dA};\lambda = \frac{dQ}{dl}$$

1.9 Linhas do Campo Elétrico

1. $\vec{E}$ é tangente, em cada ponto, à linha do campo elétrico que passa pelo ponto.
2. O número de linhas, por unidade de área, é proporcional ao valor (magnitude) do campo elétrico na região.



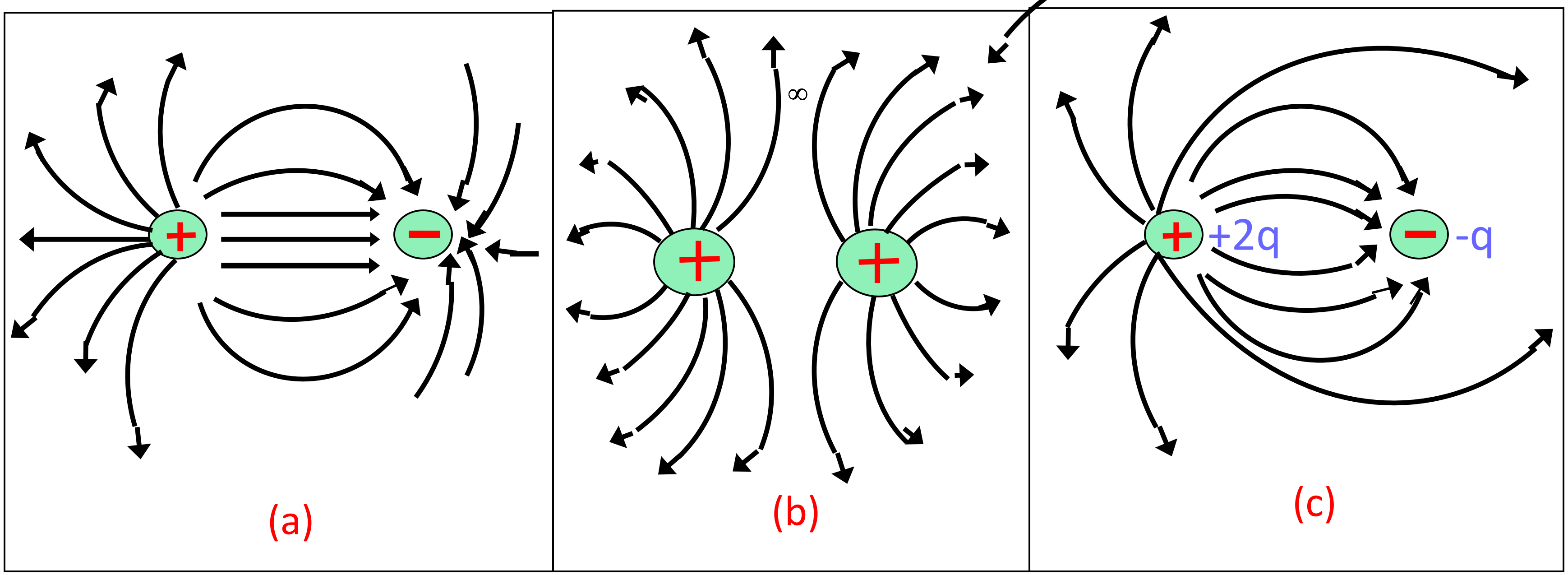




Regras para traçar as linhas do campo elétrico:

1. As linhas começam em cargas (+) e terminam em cargas (–), ou no ∞, no caso de haver excesso de carga.
2. O número de linhas que saem de uma carga (+), ou que convergem para uma carga (–), é proporcional ao módulo da carga (ou seja da intensidade do campo).
3. As linhas do campo elétrico nunca se cruzam.

Não são entidades materiais!



O campo é contínuo – existe em todos os pontos do espaço!!!

1.10 Movimento de Partículas Carregadas num Campo Elétrico Uniforme

Equivalente ao projétil num campo gravitacional uniforme.

Carga *q* (e massa *m*) colocada num campo elétrico $\vec{E}$ $\Rightarrow$

$$\boxed{\vec{F} = q\vec{E} = m\vec{a}}$$

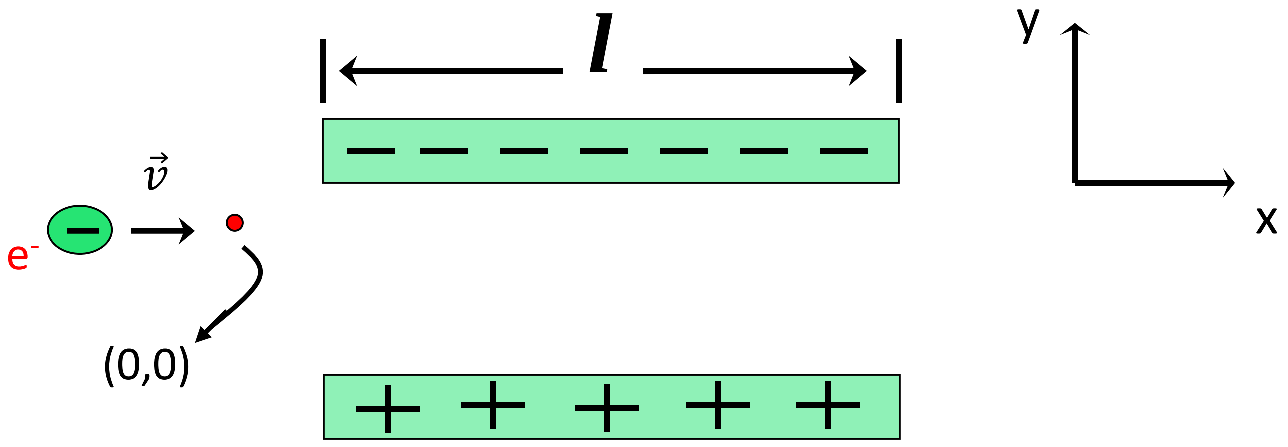
2ª Lei de Newton

$$\boxed{\vec{a} = q\frac{\vec{E}}{m}}$$

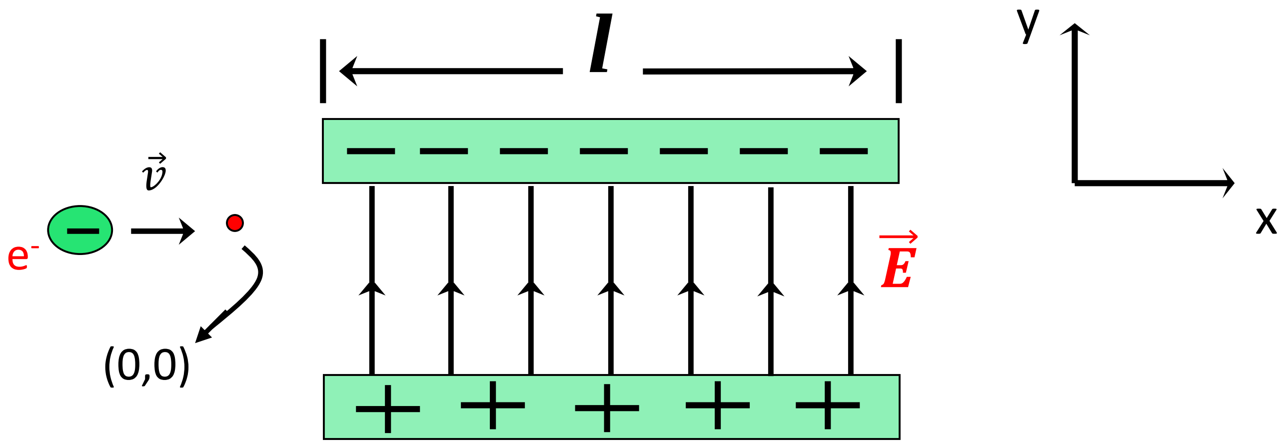
Se $\vec{E}$ for uniforme (módulo e direção constantes) $\Rightarrow$ $\vec{a}$ será uma constante do movimento.

$\vec{a}$ cte $\Rightarrow$ eqs da cinemática (movimento uniform.^{te} variado)

Exemplo:

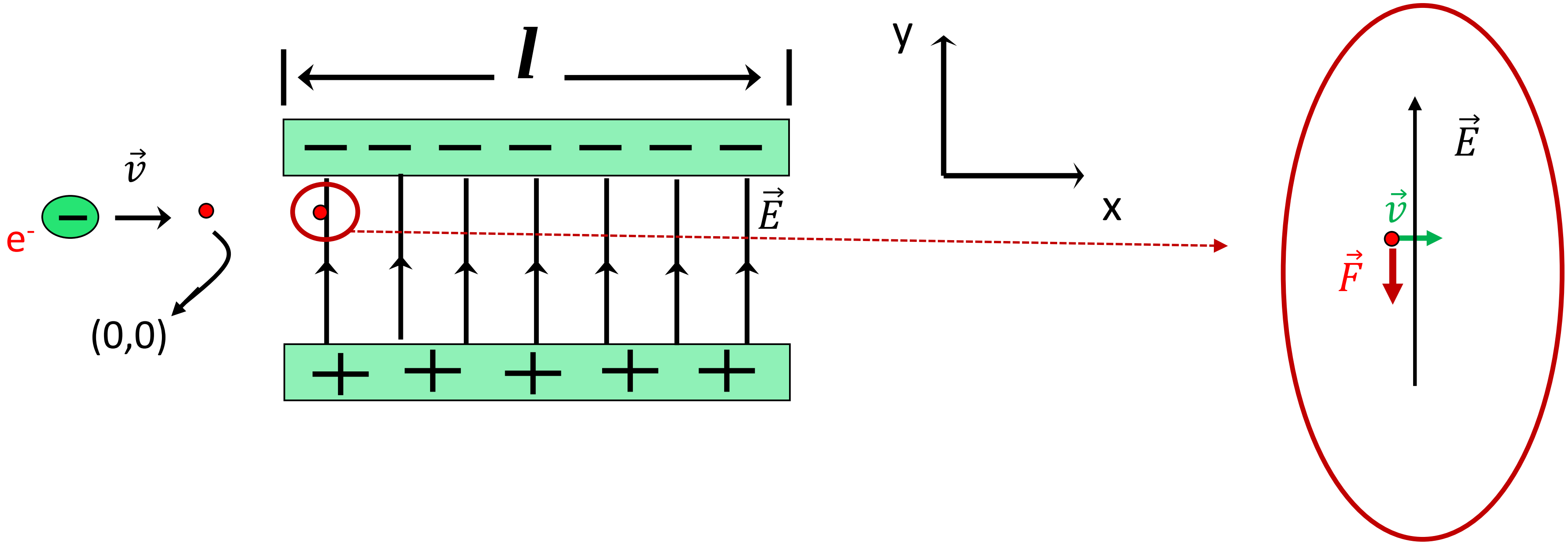


Exemplo:



$$\left|\vec{F}\right| = |q|\left|\vec{E}\right|$$

Exemplo:



$$\left|\vec{F}\right| = |q|\left|\vec{E}\right|$$

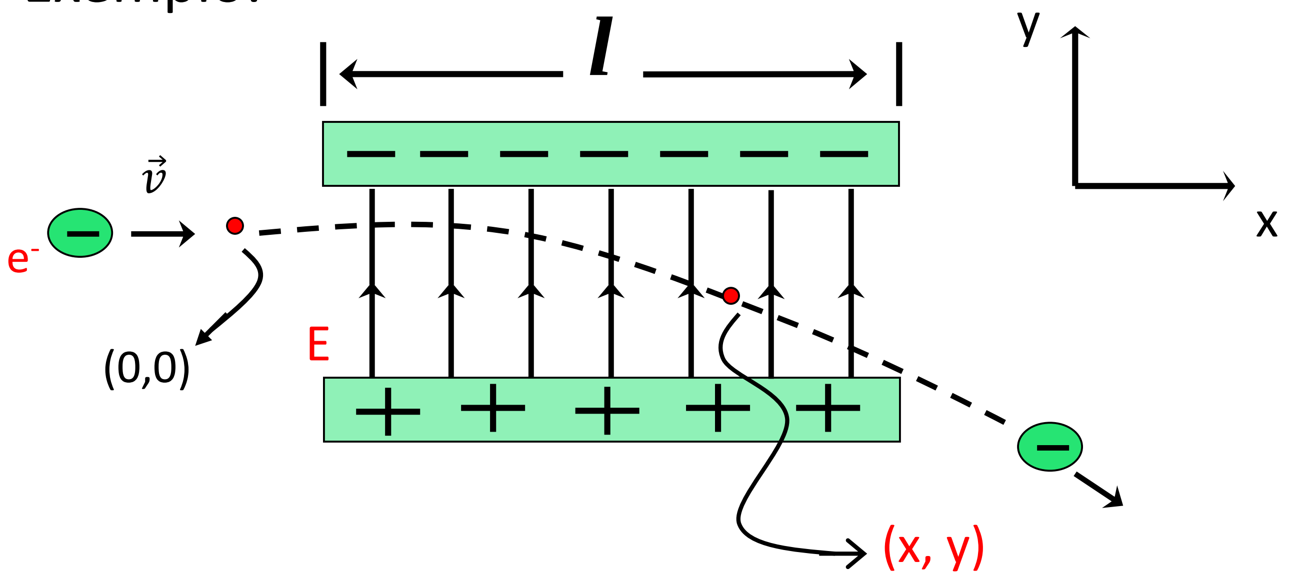
$$\vec{F} = F_y\,(-\hat{\jmath}) = |e|\left|\vec{E}\right|(-\hat{\jmath}) = m\,a_y\,(-\hat{\jmath})$$

$\vec{v} \longrightarrow (\hat{\imath})$

$$\vec{a} = \frac{e\,E}{m}(-\hat{\jmath}) = \frac{-e\,E}{m}(\hat{\jmath})$$

$\vec{a} \longrightarrow (-\hat{\jmath})$

Exemplo:



Equações gerais do movimento:

$$\begin{cases} v_x = v_{ox} + a_x t \\ v_y = v_{oy} + a_y t \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = x_o + v_{ox} t + \dfrac{1}{2}\, a_x t^2 \\ y = y_o + v_{oy} t + \dfrac{1}{2}\, a_y t^2 \end{cases}$$

Equações gerais do movimento:

$$\begin{cases} v_x = v_{ox} + a_x t \\ v_y = v_{oy} + a_y t \end{cases} \qquad \begin{cases} x = x_o + v_{ox} t + \frac{1}{2}\, a_x t^2 \\ y = y_o + v_{oy} t + \frac{1}{2}\, a_y t^2 \end{cases}$$

No exemplo em estudo: $v_{ox} = v$, $v_{oy} = 0$, $a_x = 0$, $x_o = y_o = 0$

$$\begin{cases} v_x = v \text{ (Cte)} \\ v_y = a_y t = \frac{e\,E}{m}\, t \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = vt \Rightarrow t = \frac{x}{v} \\ y = \frac{1}{2}\, a_y t^2 = \frac{1}{2}\, \frac{e\,E}{m}\, t^2 \end{cases}$$

$$\boxed{y \cong x^2}$$ parábola

PS: Desprezamos a força gravitacional sobre o eletrão