Aula 7

Fundamentos de eletricidade

Física Aplicada à Farmácia

Prof. Henrique A. M. Faria

Motivação

- Nos seres **humanos e** algumas classes de **animais** os fluidos intracelular e extracelulares criam um **potencial de membrana**;
- **Diferentes concentrações de íons** criam essa diferença de potencial elétrico;
- O organismo utiliza aproximadamente **20% de sua taxa metabólica basal** para manter e controlar o fluxo de íons dos lados externo e interno da membrana.

Partículas subatômicas

- Os átomos são constituídos em primeiro nível de três partículas subatômicas.

Partícula	Massa (kg)	Carga elétrica (C)
Elétron	$9{,}109.10^{-31}$	$-1{,}602.10^{-19}$
Próton	$1{,}673.10^{-27}$	$+1{,}602.10^{-19}$
Nêutron	$1{,}675.10^{-27}$	neutra

Fonte: Okuno, 1982, p. 460.

Partículas subatômicas

- A carga do elétron (**$-1{,}602.10^{-19}$ C**) é denominada carga elétrica fundamental;
- Unidade da carga elétrica:

$$[\boldsymbol{C}] \quad (\boldsymbol{coulomb})$$

Lei de Coulomb

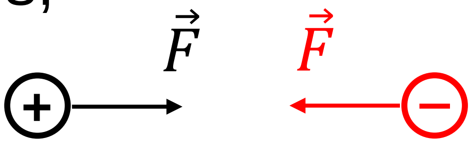
- Quando partículas carregadas interagem forças elétricas atuam entre elas.

Lei de Coulomb

- Quando partículas carregadas interagem forças elétricas atuam entre elas.
- **Forças atrativas**: partículas com cargas de sinais contrários;

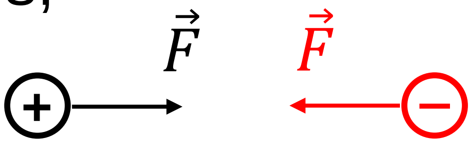
Lei de Coulomb

- Quando partículas carregadas interagem forças elétricas atuam entre elas.
- **Forças atrativas**: partículas com cargas de sinais contrários;



Lei de Coulomb

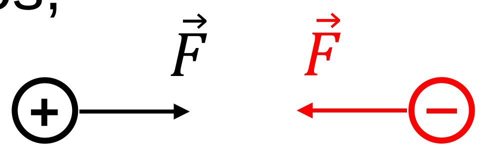
- Quando partículas carregadas interagem forças elétricas atuam entre elas.
- **Forças atrativas**: partículas com cargas de sinais contrários;



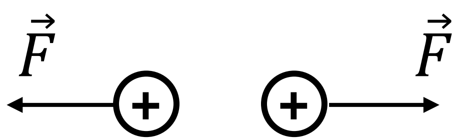
- **Forças repulsivas**: partículas com cargas de sinais iguais.

Lei de Coulomb

- Quando partículas carregadas interagem forças elétricas atuam entre elas.
- **Forças atrativas**: partículas com cargas de sinais contrários;



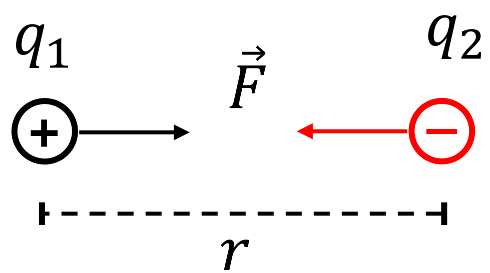
- **Forças repulsivas**: partículas com cargas de sinais iguais.



Lei de Coulomb

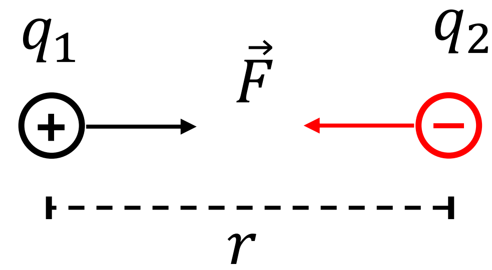
- O sentido da força depende do sinal das cargas;
- A **intensidade** é calculada pela lei de Coulomb:

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



Lei de Coulomb

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



$\boldsymbol{q_1}$; $\boldsymbol{q_2}$: partículas com cargas elétricas;

$\boldsymbol{r}$: distância entre as partículas;

$\boldsymbol{K} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8{,}988.10^9 \left[\frac{Nm^2}{C^2}\right]$;

$\boldsymbol{\varepsilon_0} = 8{,}842.10^{-12} \left[\frac{C^2}{Nm^2}\right]$: permissividade elétrica no vácuo.

Lei de Coulomb

- O **sinal positivo** no cálculo indica que a **força é de repulsão** entre as cargas;
- O **sinal negativo** indica que a **força é de atração** entre as cargas;
- Quando **mais de duas partículas** carregadas interagem a força resultante será a **soma das forças** devidas a cada partícula.

Exemplo

No **átomo de hidrogênio** em seu estado fundamental o elétron tem maior probabilidade de ser encontrado a uma distância média $r_0 = 5{,}290.10^{-11}\ m$ do núcleo. Determine:

a) A intensidade da força elétrica entre o elétron e o próton presente no núcleo;

b) A força peso, por hipótese, que atua em um elétron livre. Compare com a força de Coulomb.

Exemplo

No **átomo de hidrogênio** em seu estado fundamental o elétron tem maior probabilidade de ser encontrado a uma distância média $r_0 = 5{,}290.10^{-11}\ m$ do núcleo. Determine:

a) A intensidade da força elétrica entre o elétron e o próton presente no núcleo;

b) A força peso, por hipótese, que atua em um elétron livre. Compare com a força de Coulomb.

Dados: $e = -1{,}602\,.\,10^{-19}\ [\mathrm{C}]$ $\quad m_e = 9{,}109\,.\,10^{-31}\ [\mathrm{kg}]$

$p = +1{,}602\,.\,10^{-19}\ [\mathrm{C}]$ $\quad g = 9{,}807\ [\frac{m}{s^2}]$

$K = 8{,}988.10^9\ \left[\frac{Nm^2}{C^2}\right]$

Exemplo - solução

Dados: $r_0 = 5{,}290.10^{-11}\ m$ $\quad p = +1{,}602\ .\ 10^{-19}\ [\mathrm{C}]$

$e = -1{,}602\ .\ 10^{-19}\ [\mathrm{C}]$ $\quad m_e = 9{,}109\ .\ 10^{-31}\ [\mathrm{kg}]$

$K = 8{,}988.10^{9}\left[\frac{Nm^2}{C^2}\right]$ $\quad g = 9{,}807\ [\frac{m}{s^2}]$

a)

$$F = K\frac{q_1 q_2}{r^2} = K\frac{e\ p}{r^2} = 8{,}988.10^{9}\ \frac{(-1{,}602\ .\ 10^{-19})x(+1{,}602\ .\ 10^{-19})}{(5{,}290.10^{-11})^2}$$

$$\boldsymbol{F = -8,243.10^{-8}\ [N]\ \ (força\ atrativa)}$$

b)

$$\boldsymbol{F_g} = m_e g = (9{,}109\ .\ 10^{-31})x9{,}807 = \mathbf{8{,}933\ .\ 10^{-30}}\ [\boldsymbol{N}]$$

$$\left|\frac{F}{F_g}\right| = \frac{8{,}243.10^{-8}}{8{,}933\ .\ 10^{-30}} = 10^{23} \qquad \boldsymbol{F = 10^{23} F_g}$$

Campo elétrico (E)

- Capacidade de uma **carga fonte** (Q) **influenciar eletricamente o espaço** em seu entorno;
- O conceito é válido para uma distribuição de cargas;

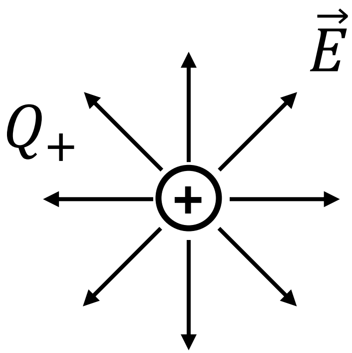
Campo elétrico (E)

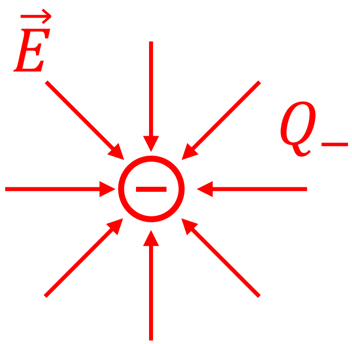
- Capacidade de uma **carga fonte** (Q) **influenciar eletricamente o espaço** em seu entorno;
- O conceito é válido para uma distribuição de cargas;
- O campo elétrico é uma **grandeza vetorial** cuja intensidade diminui com o quadrado da distância de afastamento. O **módulo é**:

$$E = K\frac{Q}{r^2} \quad [\frac{N}{C}]$$

Campo elétrico (E)

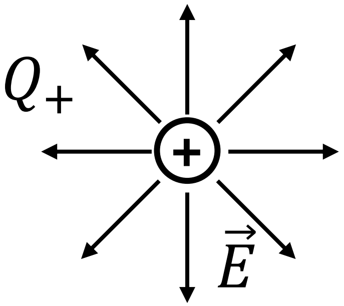
- A **direção** do campo é **radial à carga**;
- O **sentido depende da carga fonte**, ou distribuição de carga: se positiva as linhas de campo divergem da carga; se negativa as linhas de campo convergem.





Campo elétrico (E)

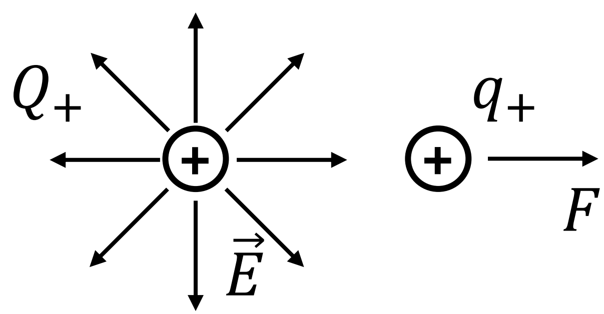
- O campo elétrico criado por uma carga (Q_+) existe independente do que está no seu entorno;



E

Campo elétrico (E)

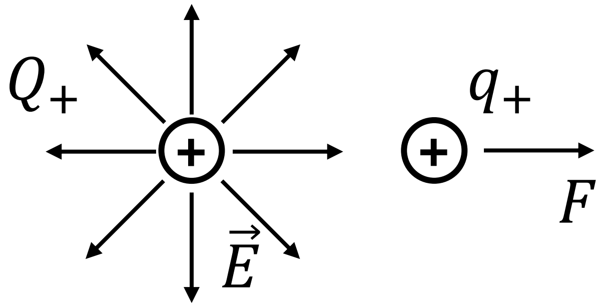
- O campo elétrico criado por uma carga (Q_+) existe independente do que está no seu entorno;
- Uma carga (q_+) colocada a uma distância (r) experimentará uma força elétrica repulsiva (F).



$$qE = F$$

Campo elétrico (E)

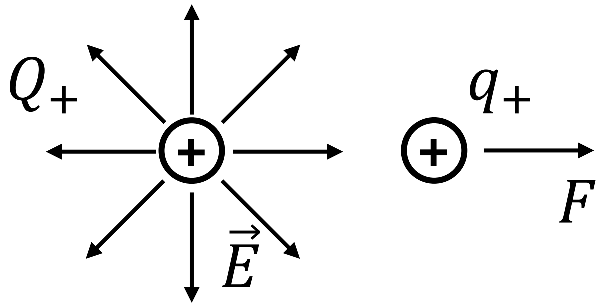
- O campo elétrico criado por uma carga (Q_+) existe independente do que está no seu entorno;
- Uma carga (q_+) colocada a uma distância (r) experimentará uma força elétrica repulsiva (F).



$$qE = F \qquad F = K\frac{Qq}{r^2}$$

Campo elétrico (E)

- O campo elétrico criado por uma carga (Q_+) existe independente do que está no seu entorno;
- Uma carga (q_+) colocada a uma distância (r) experimentará uma força elétrica repulsiva (F).



$$qE = F$$

$$F = K\frac{Qq}{r^2}$$

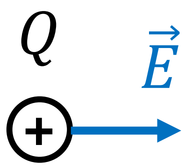
$$E = K\frac{Q}{r^2}$$

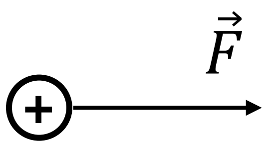
Campo elétrico (E)

- Considerando o **sinal de uma carga fonte** $(\boldsymbol{Q})$ e o sinal de uma carga de prova teremos **quatro situações** para os vetores campo elétrico $(\vec{E})$ e força $(\vec{F})$:

Campo elétrico (E)

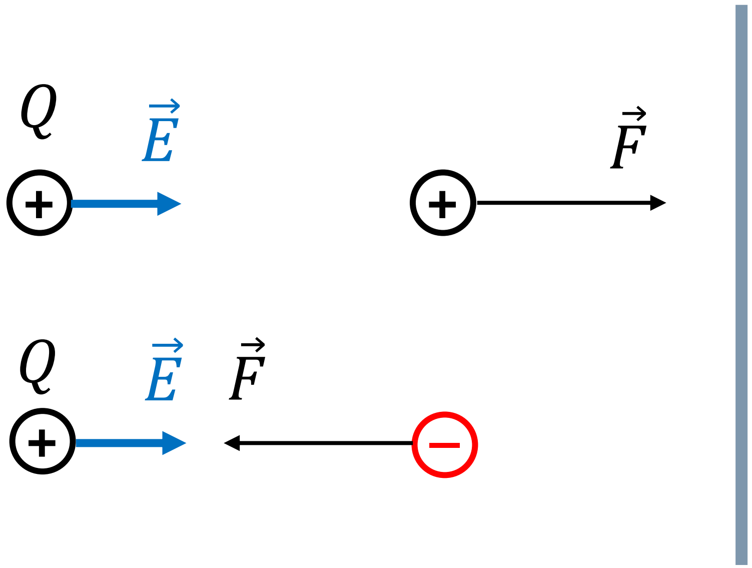
- Considerando o **sinal de uma carga fonte** $(\boldsymbol{Q})$ e o sinal de uma carga de prova teremos **quatro situações** para os vetores campo elétrico $(\vec{E})$ e força $(\vec{F})$:





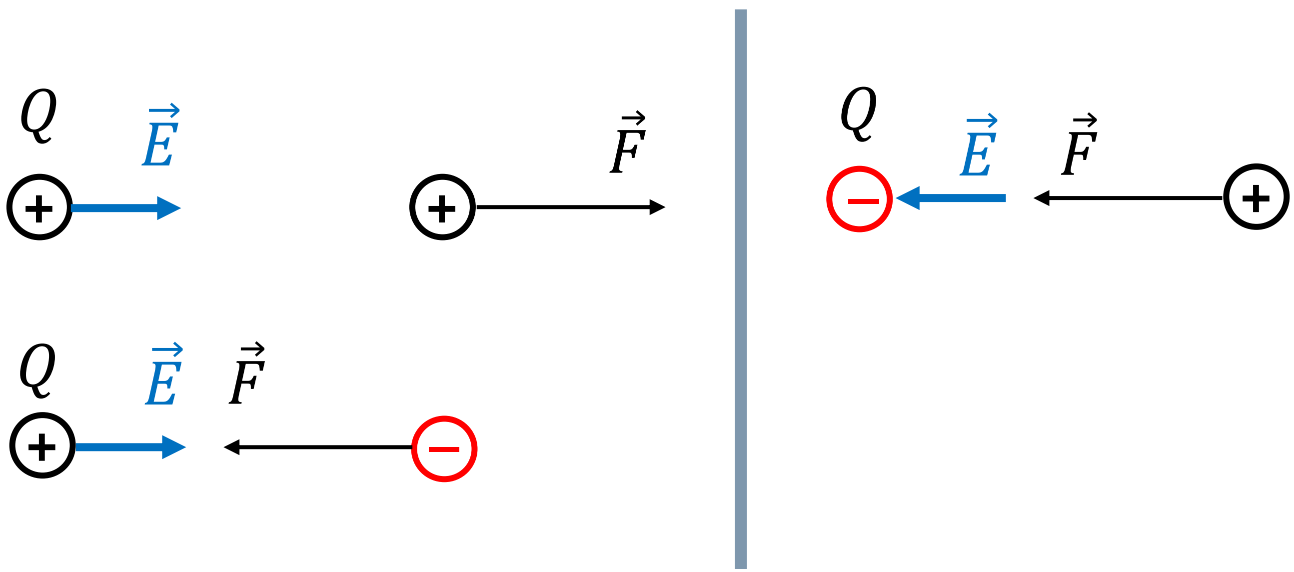
Campo elétrico (E)

- Considerando o **sinal de uma carga fonte** $(\boldsymbol{Q})$ e o sinal de uma carga de prova teremos **quatro situações** para os vetores campo elétrico $(\vec{E})$ e força $(\vec{F})$:



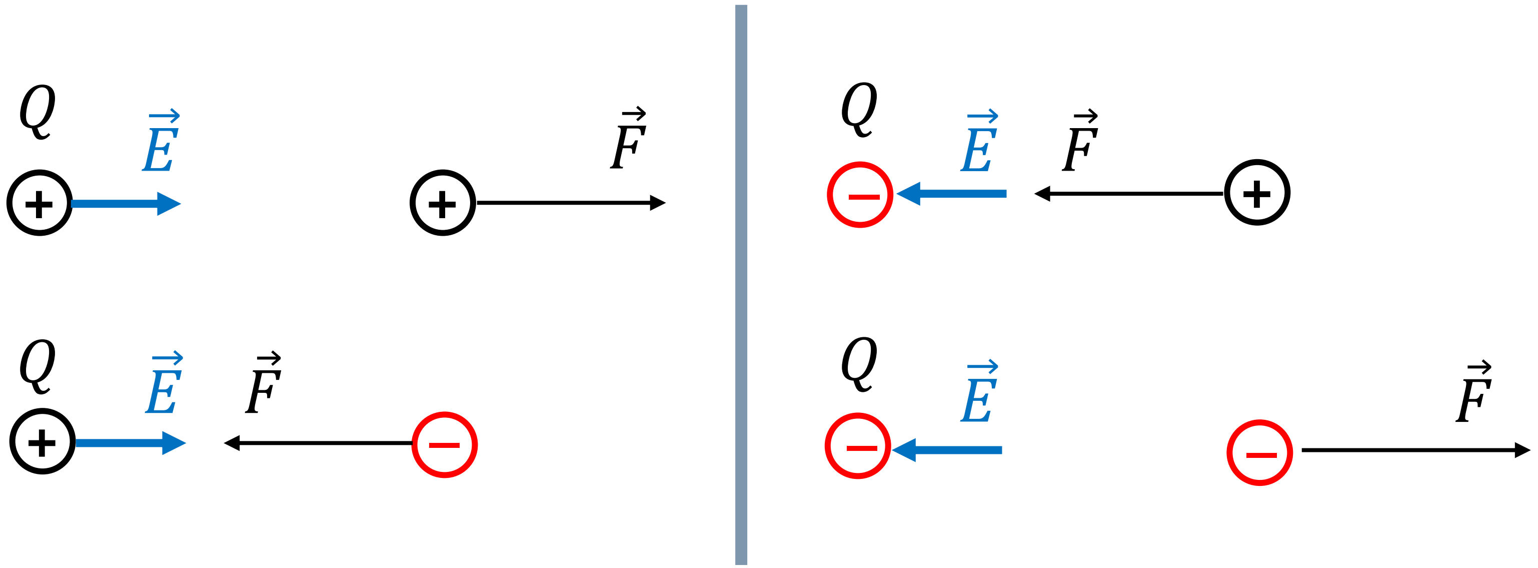
Campo elétrico (E)

- Considerando o **sinal de uma carga fonte** $(\boldsymbol{Q})$ e o sinal de uma carga de prova teremos **quatro situações** para os vetores campo elétrico $(\vec{E})$ e força $(\vec{F})$:



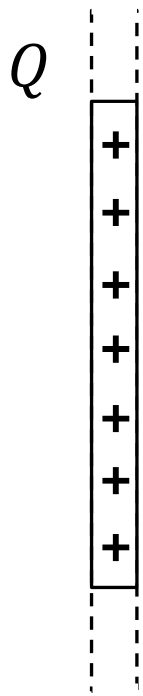
Campo elétrico (E)

- Considerando o **sinal de uma carga fonte** $(\boldsymbol{Q})$ e o sinal de uma carga de prova teremos **quatro situações** para os vetores campo elétrico $(\vec{E})$ e força $(\vec{F})$:

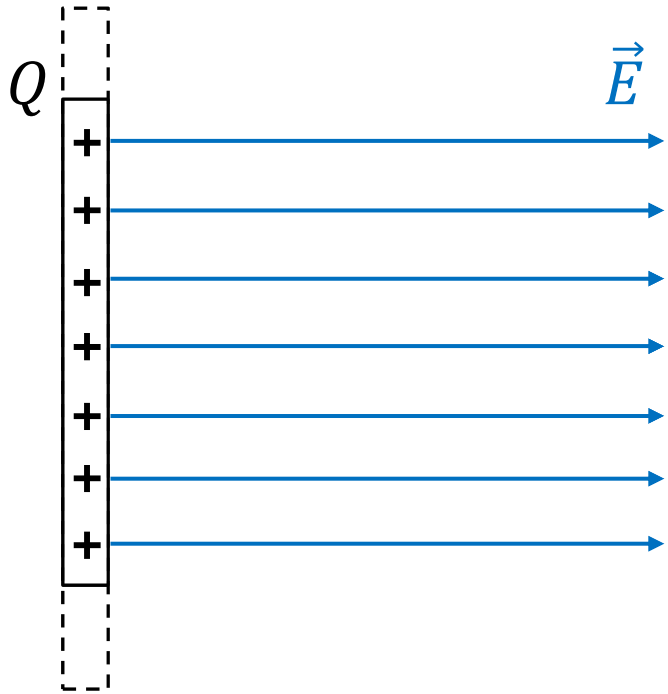


Potencial elétrico (V)

- Consideremos uma superfície plana infinita carregada uniformemente com cargas positivas:

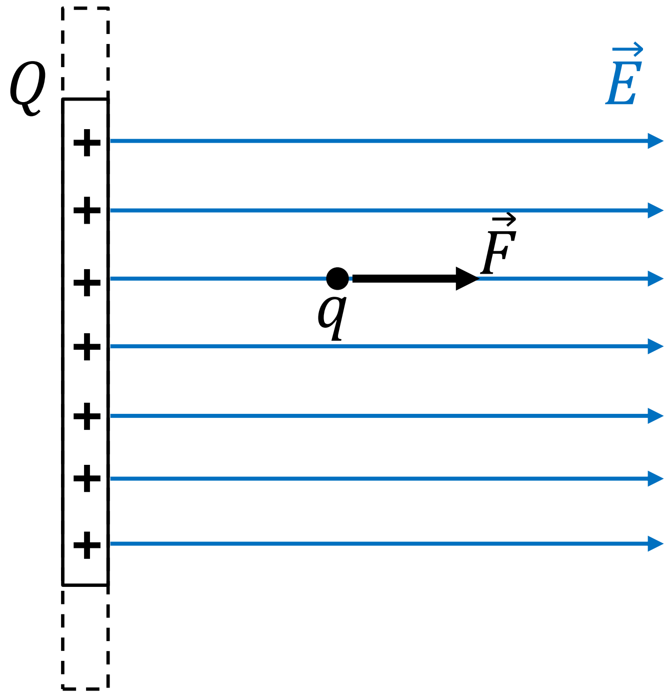


Potencial elétrico (V)



- $\vec{E}$ é perpendicular ao plano;

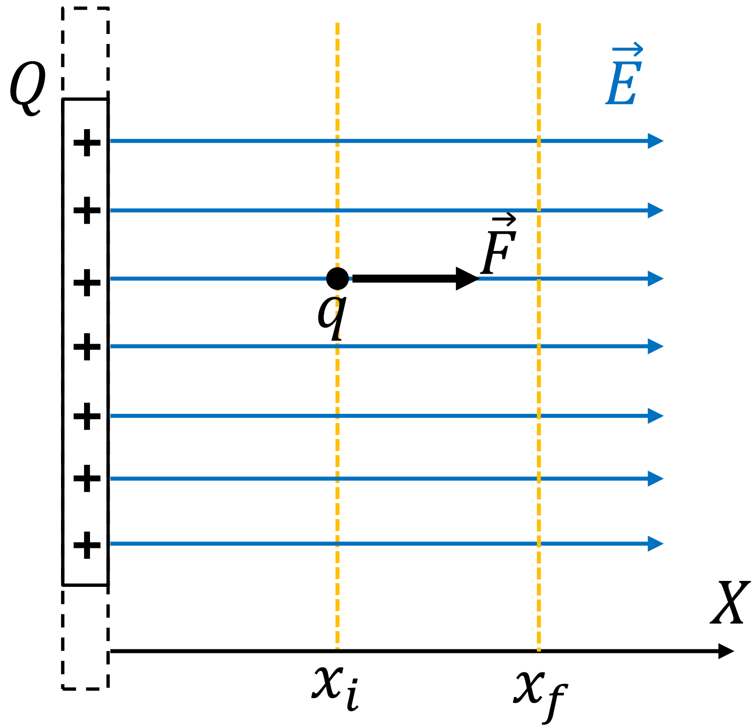
Potencial elétrico (V)



- $\vec{E}$ é perpendicular ao plano;
- Uma carga q nesse campo estará sujeita a $\vec{F}$;

$$qE = F$$

Potencial elétrico (V)

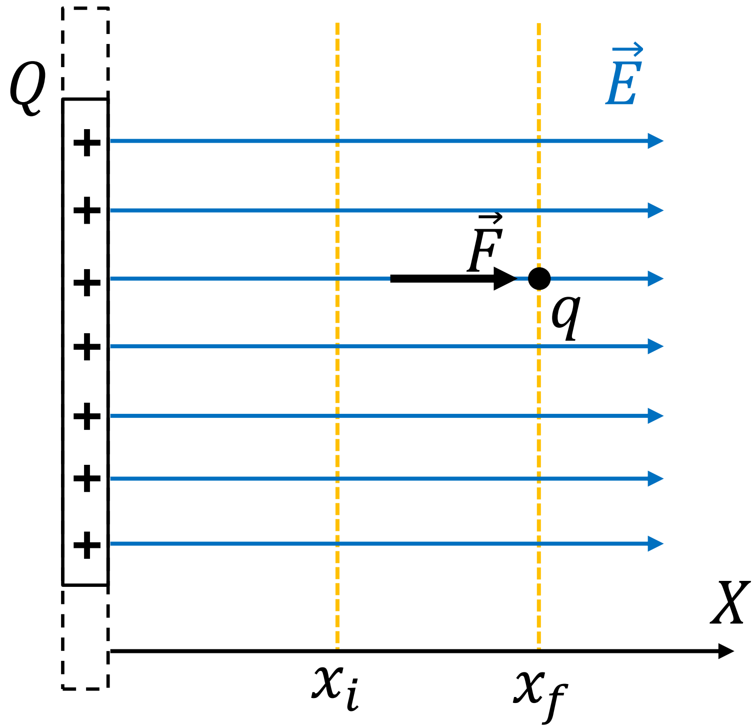


- $\vec{E}$ é perpendicular ao plano;
- Uma carga q no campo estará sujeita a $\vec{F}$:

$$qE = F$$

- Quando q se desloca a força realiza trabalho:

Potencial elétrico (V)



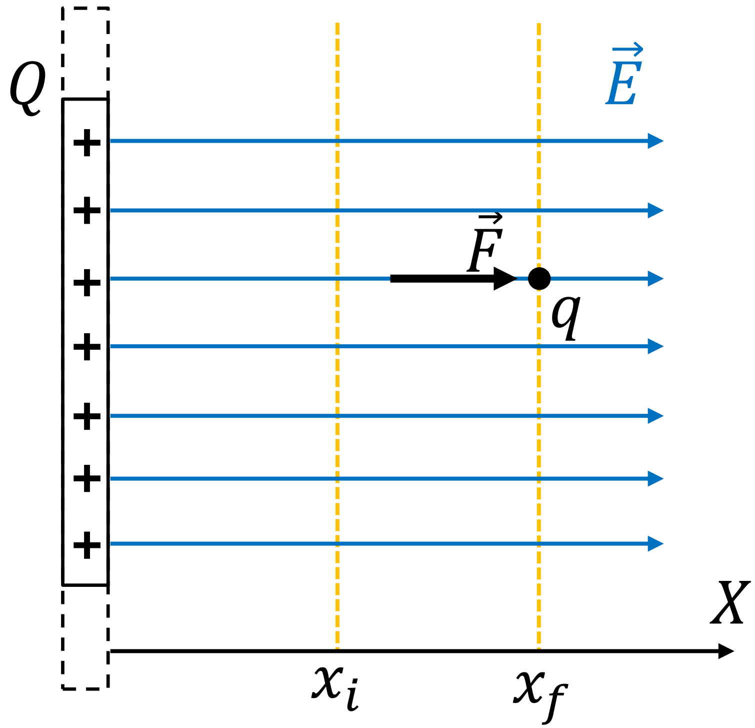
- $\vec{E}$ é perpendicular ao plano;
- Uma carga q no campo estará sujeita a $\vec{F}$:

$$qE = F$$

- Quando q se desloca a força realiza trabalho:

$$\boxed{W = F\Delta x = qE\Delta x}$$

Potencial elétrico (V)



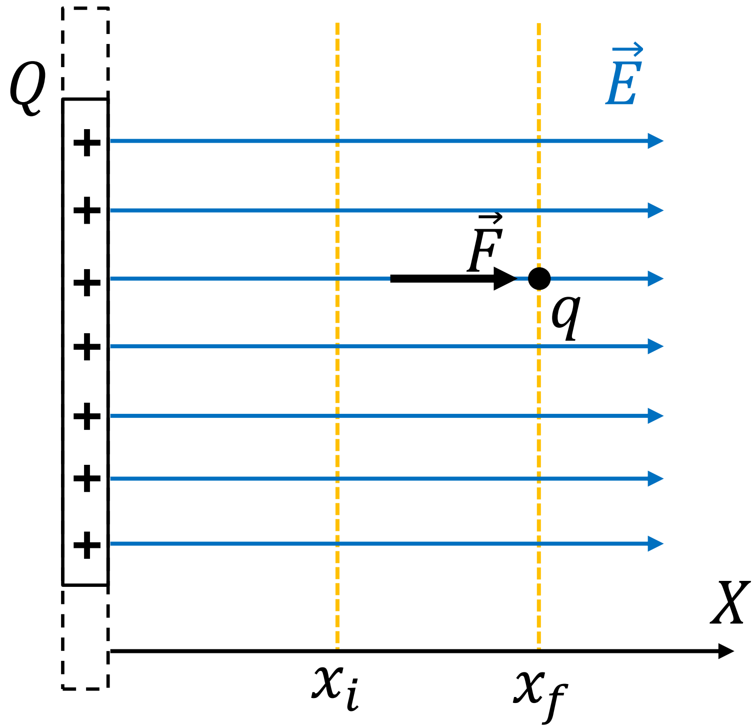
- Mas, o trabalho é igual à variação da energia cinética:

$$W = \Delta K$$

- E a energia mecânica (E_M) é constante:

$$E_M = K + U$$

Potencial elétrico (V)



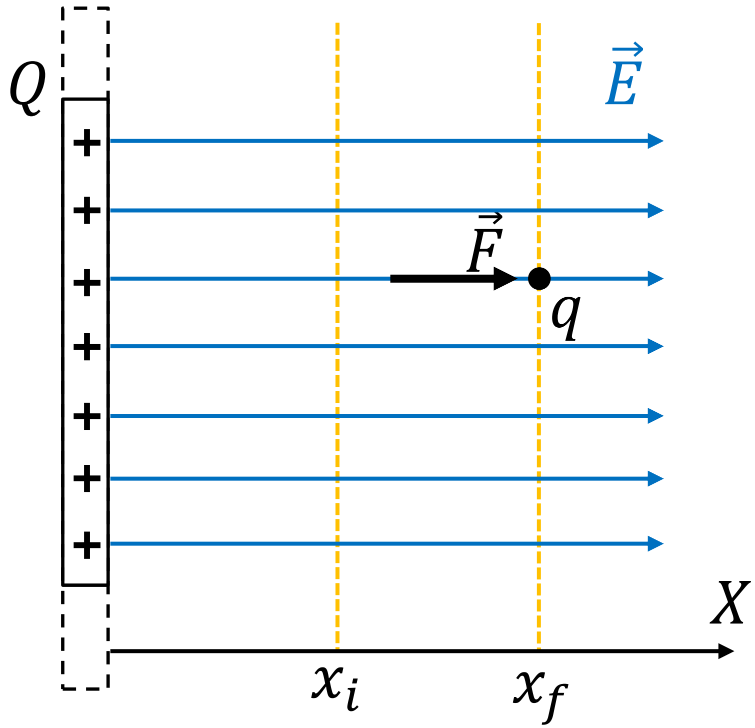
- Então, a variação da energia potencial elétrica (ΔU)está relacionada com a variação da energia cinética (ΔK):

$$\Delta U = -\Delta K$$

- O valor de (ΔU)depende da posição e pode ser escrita como:

$$\Delta U = -W$$

Potencial elétrico (V)

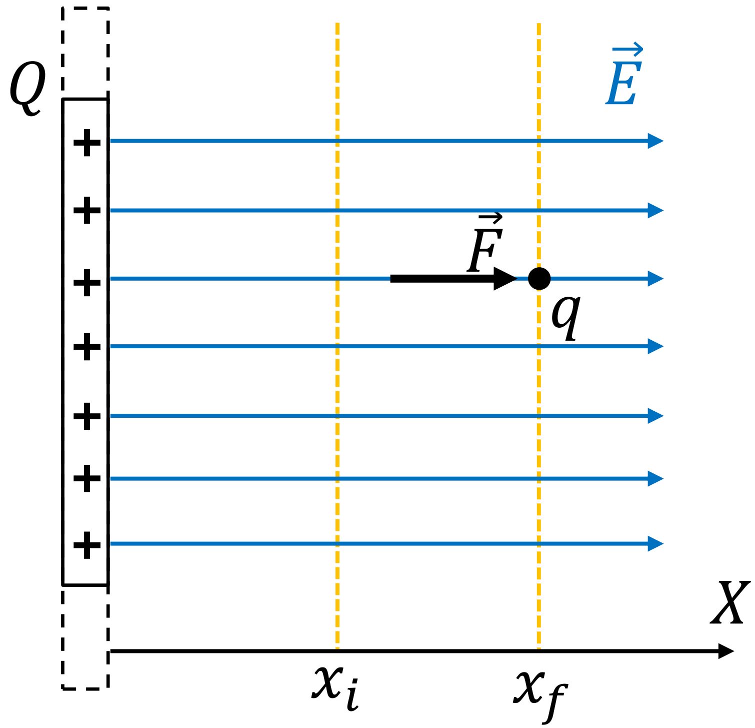


- Portanto, para um campo elétrico uniforme, a variação da energia potencial elétrica (ΔU) pode ser obtida pelo cálculo do trabalho:

$$\Delta U = -W$$

$$\boxed{\Delta U = -qE\Delta x}$$

Potencial elétrico (V)



- É conveniente definir a diferença de potencial elétrico (ΔV) como:

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q} = \frac{-qE\Delta x}{q}$$

$$\boxed{\Delta V = -E\Delta x}$$

- O ponto em que o potencial elétrico é nulo pode ser escolhido convenientemente.

Potencial elétrico (V)

- Atribuindo-se ao **ponto** x_f uma distância muito grande (infinita) de uma carga fonte (Q) na qual **o campo não tem influência na carga de prova** (q);

- O potencial elétrico pode ser definido como o trabalho necessário para mover a carga (q)do infinito, onde o potencial é nulo, a um dado ponto na região do campo elétrico.

$$\Delta V = -E\Delta x \quad \rightarrow \quad 0 - V = -Er \qquad como\!: E = K\frac{Q}{r^2}$$

$$V = K\frac{Q}{r^2}r \qquad \boxed{V = K\frac{Q}{r}} \qquad [V] \ \ (volt)$$

Exemplo

Duas cargas elétricas com $Q = 5\,\mu C$ estão separadas por 1 m. Determine:

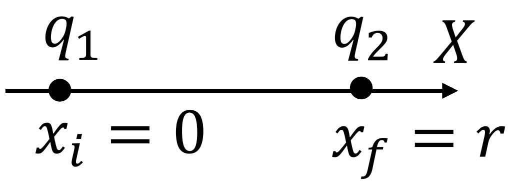
a) A força elétrica entre elas;
b) O campo elétrico no ponto médio entre as cargas;
c) O potencial elétrico no ponto médio.

Dados: $K = 9.10^9 \left[\frac{Nm^2}{C^2}\right]$

Exemplo - solução

Dados: $q_1 = q_2 = 5\mu C = 5.10^{-6}\,[\mathrm{C}]$ $\quad K = 9.10^9 \left[\frac{Nm^2}{C^2}\right]$ $\quad r = 1\,[m]$

$d = 0{,}5\,[m]$



a) $\boldsymbol{F} = K\dfrac{q_1 . q_2}{r^2} = 9.10^9\,\dfrac{(5\,.\,10^{-6})x(5\,.\,10^{-6})}{(1)^2} = \mathbf{0,2}\,[\boldsymbol{N}]$

b) $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = K\dfrac{q_1}{r^2} - K\dfrac{q_1}{r^2} = 0$

c) $V = V_1 + V_2 = K\dfrac{q_1}{d} + K\dfrac{q_2}{d} = \dfrac{K}{d}(q_1 + q_2)$

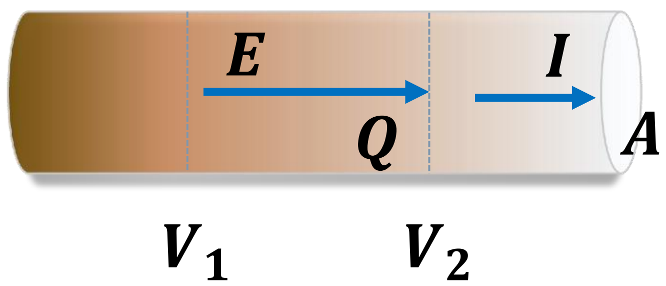
$$\boldsymbol{V} = \frac{9.10^9}{0{,}5}\,2x(5.10^{-6}) = \mathbf{1,8.10^5}\,[\boldsymbol{V}]$$

Corrente elétrica (I)

- A corrente elétrica é um **fluxo de cargas** elétricas devido à diferença de potencial (ΔV) estabelecido por um campo elétrico$(\vec{E})$;

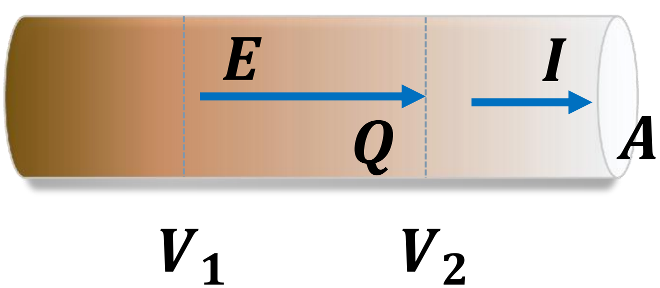
Corrente elétrica (I)

- A corrente elétrica é um **fluxo de cargas** elétricas devido à diferença de potencial (ΔV) estabelecido por um campo elétrico$(\vec{E})$;
- **Em um condutor ou solução eletrolítica** é definida a intensidade média de corrente elétrica (I), através de uma área (A) como a razão entre a variação da carga no tempo.



Corrente elétrica (I)

- A corrente elétrica é um **fluxo de cargas** elétricas devido à diferença de potencial (ΔV) estabelecido por um campo elétrico$(\vec{E})$;
- **Em um condutor ou solução eletrolítica** é definida a intensidade média de corrente elétrica (I), através de uma área (A) como a razão entre a variação da carga no tempo.



$$\boxed{I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}} \; [A](ampère)$$

Corrente elétrica (I)

- Na maioria dos **materiais sólidos** a corrente é devida ao **fluxo de elétrons** e é denominada **corrente eletrônica**;

- Nas soluções, ou **materiais iônicos**, pode existir um **movimento de íons** que produz uma **corrente iônica**;

- Em ambos os tipos o **processo é denominado condução**, eletrônica ou iônica.

Resistência elétrica (*R*)

- Em ambos os casos de condução, eletrônica e iônica, haverá uma **propriedade que dificulta a passagem da corrente**;

- Essa propriedade é denominada **resistência elétrica (*R*)**;

- A resistência está relacionada com as **propriedades físicas** do material ou solução e também com a **geometria do corpo** que conduz a corrente.

Resistência elétrica (*R*)

- Parte da **energia** associada à corrente, quando encontra uma resistência, é **dissipada na forma de calor**;

- Unidades de **resistência elétrica** (***R***);

$$\boldsymbol{R}\text{: } [\boldsymbol{\Omega}] \quad (\boldsymbol{ohm})$$

Resistividade elétrica (ρ)

- A propriedade que determina as **características intrínsecas de condução** é chamada de resistividade elétrica (***ρ***);

- A resistividade é **dependente da temperatura**;

- Relaciona com a resistência elétrica (R) e com as características geométricas:

$$\boxed{\rho = \frac{RA}{l}}\ [\Omega.m]$$

ρ: *resistividade elétrica;*
A: *área da seção;*
l: *distância entre dois pontos em que o potencial é medido.*

Condutividade elétrica (σ)

- O **inverso da resistividade** (ρ)é a condutividade (σ);

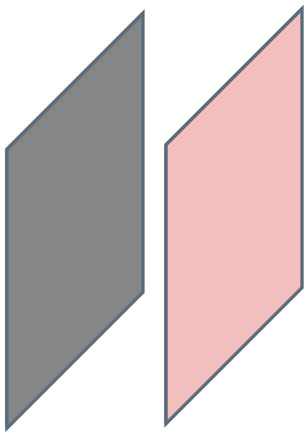
$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (\Omega.m)^{-1}$$

- Quando a resistência (R) for constante, a corrente (I) será proporcional à diferença de potencial (V), relação conhecida com **lei de Ohm**:

$$\boxed{\mathrm{V} = RI} \qquad \boldsymbol{Lei\ de\ Ohm}.$$

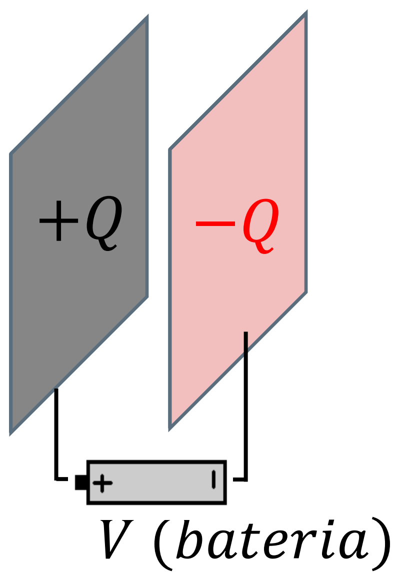
Capacitores

- Os capacitores são dispositivos que **armazenam cargas elétricas**;
- O tipo **mais simples** consiste de duas **placas carregadas** com cargas elétricas $+Q$ e $-Q$:



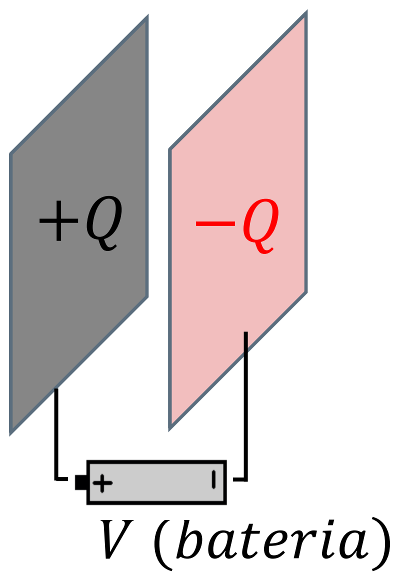
Capacitores

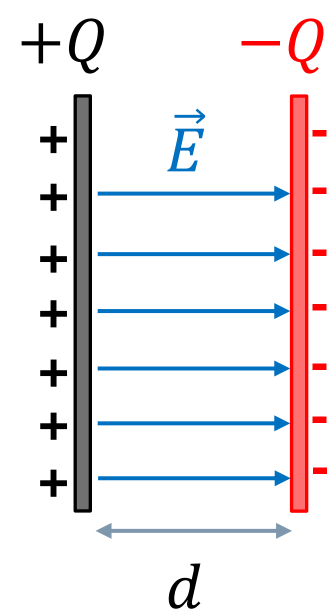
- Os capacitores são dispositivos que **armazenam cargas elétricas**;
- O tipo **mais simples** consiste de duas **placas carregadas** com cargas elétricas $+Q$ e $-Q$:



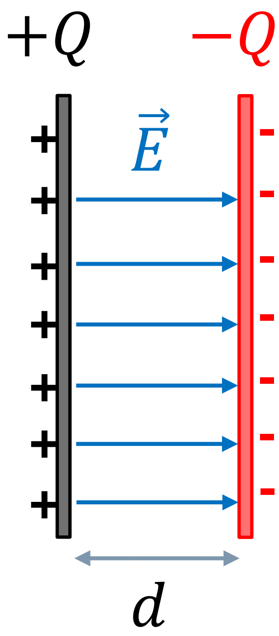
Capacitores

- Os capacitores são dispositivos que **armazenam cargas elétricas**;
- O tipo **mais simples** consiste de duas **placas carregadas** com cargas elétricas $+Q$ e $-Q$:





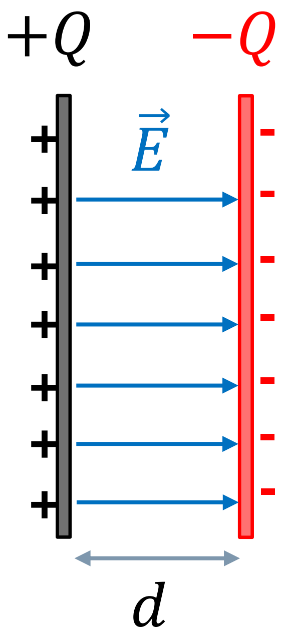
Capacitores



- A carga de cada superfície tem a mesma magnitude mas, de sinal contrário;
- A intensidade de campo elétrico entre as placas é proporcional à **densidade de cargas elétricas** $(\boldsymbol{\sigma})$:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon}\frac{Q}{A}$$

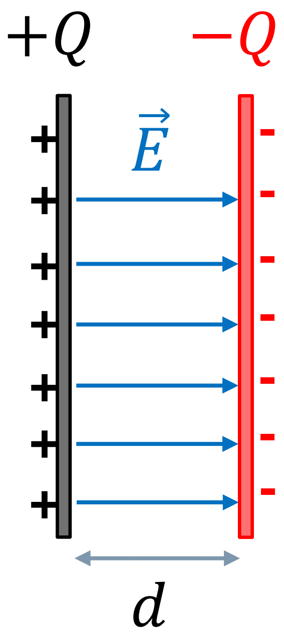
Capacitores



$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon}\frac{Q}{A}$$

$\boldsymbol{A}$: *área da placa;*
$\boldsymbol{Q}$*: carga total na placa;*
$\boldsymbol{\sigma}$: *densidade superficial de cargas;*
$\boldsymbol{\varepsilon}$: permissividade elétrica do meio entre as placas;

Capacitores



- Existe uma diferença de potencial entre as placas;
- Escolhendo como potencial nulo a placa positiva:

$$\Delta V = -E\Delta x \quad \rightarrow \quad 0 - V = -Ed$$

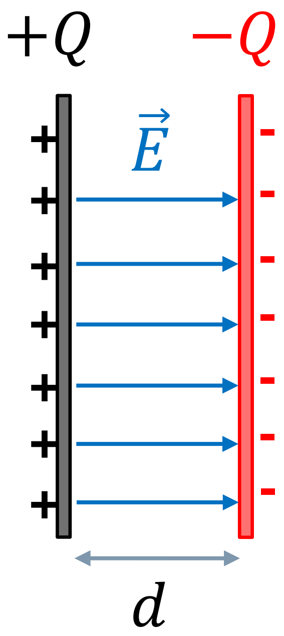
$$V = Ed$$

$$como: \quad \boxed{E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{1}{\varepsilon}\frac{Q}{A}}$$

$$\boxed{V = \frac{1}{\varepsilon}\frac{Q}{A}d} \; [V] \quad \rightarrow \quad \frac{Q}{V} = \frac{\varepsilon A}{d}$$

Capacitores

- O termo $\frac{Q}{V}$ é definido como capacitância (C):



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

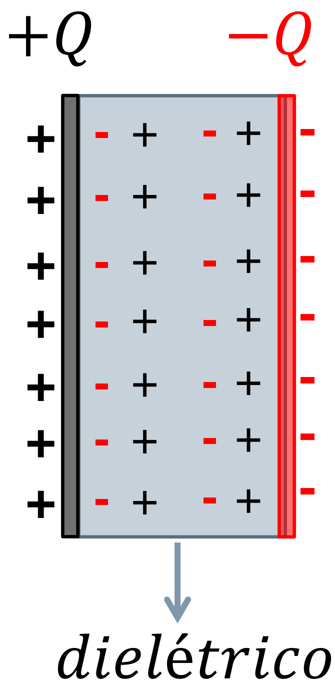
$[F]$ *(farad)*

Para capacitores de placas paralelas: $C = \frac{\varepsilon A}{d}$

Dielétricos

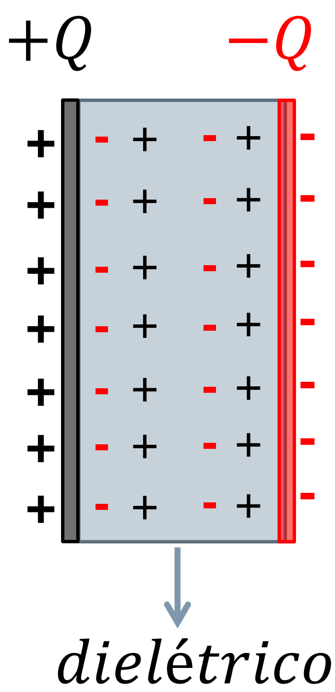
- Material ou meio com características não condutoras, isto é, um **isolante elétrico**;
- Quando um campo elétrico é aplicado no dielétrico ocorre um **deslocamento** (D) das **cargas elétricas** positivas e negativas;
- A separação de componentes moleculares e atômicos positivos e negativos dá origem a uma **polarização** (P);
- A **polarização de cargas de sinais opostos** e mesmo módulo é chamada de **dipolo elétrico**.

Dielétricos



- Os dielétricos são utilizados nos capacitores para **aumentar a capacidade de armazenamento**;

Dielétricos



- Os dielétricos são utilizados nos capacitores para **aumentar a capacidade de armazenamento**;

- Define-se a **permissividade relativa** (ε_r) como sendo a razão entre a permissividade no meio e no vácuo (ε_0).

$$\boxed{\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}}$$

Exemplo (21.2 Okuno)

Considere um capacitor de placas paralelas, separadas por uma distância $d = 0{,}1\,mm$, com cargas elétricas $+\mathrm{Q}$ e $-Q$ de módulo $4{,}4.\,10^{-8}[C]$. A área de cada placa é $A = 5{,}0\,cm^2$ e entre elas existe somente o ar cuja permissividade pode ser aproximada como sendo a permissividade do vácuo ($\varepsilon_{ar} = \varepsilon_0 = 8{,}85.\,10^{-12}[C^2/Nm^2]$)

Calcule:

a) A capacitância *C*;

b) O campo elétrico *E* entre as placas.

Exemplo 21.2 - solução

Dados: $\boldsymbol{Q} = 4{,}4.10^{-8}\,[\mathrm{C}]$ $\boldsymbol{\varepsilon_{ar}} = 8{,}85.\,10^{-12}[C^2/Nm^2]$

$\boldsymbol{d} = 0{,}1\,mm = 0{,}1.\,10^{-3}\,m$ $\boldsymbol{A} = 5{,}0\,cm^2 = 5{,}0.\,10^{-4}\ m^2$

a) $\boldsymbol{C} = \dfrac{\varepsilon_{ar} A}{d} = \dfrac{8{,}85.\,10^{-12}\ x\ \ 5{,}0.\,10^{-4}}{0{,}1.\,10^{-3}} = \boldsymbol{4{,}4.\,10^{-11}}[\boldsymbol{F}]$

b) $\boldsymbol{E} = \dfrac{1}{\varepsilon}\dfrac{Q}{A} = \dfrac{1}{\varepsilon_{ar}}\dfrac{Q}{A} = \dfrac{1}{8{,}85.\,10^{-12}}\dfrac{4{,}4.10^{-8}}{5{,}0.\,10^{-4}} = \mathbf{9{,}9.10^{6}\,[N/C]}$

Exemplo (p. 248 Duran)

Um capacitor de placas paralelas de área $A = 7{,}0\ cm^2$, tem capacitância de $150\ pF$. As placas estão separadas por uma lâmina plástica de espessura $d = 0{,}20\ mm$. Determine a permissividade elétrica do plástico.

Exemplo p. 249 - solução

Dados: $\boldsymbol{C} = 150\,pF = 150.10^{-12}$ [F]

$\boldsymbol{d} = 0{,}20\,mm = 0{,}20.\,10^{-3}\,m$ $\boldsymbol{A} = 7{,}0\,cm^2 = 7{,}0.\,10^{-4}\ m^2$

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{CA}{d}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{150.10^{-12}\ x\ \ 0{,}20.10^{-3}}{7{,}0.10^{-4}} = \mathbf{4{,}3.\,10^{-11}}\left[\frac{\boldsymbol{C^2}}{\boldsymbol{Nm^2}}\right] = [\frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{m}}]$$

$$\boldsymbol{\varepsilon} > \boldsymbol{\varepsilon_{ar}} = 8{,}85.\,10^{-12}[C^2/Nm^2]$$

Para depois desta aula

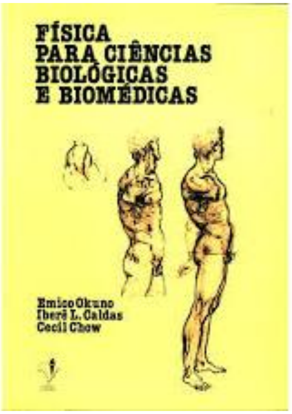
- Completar estudo com a leitura do capítulo 21 do livro texto (Okuno);
- Acessar Lista 06 no site:

profhenriquefaria.com

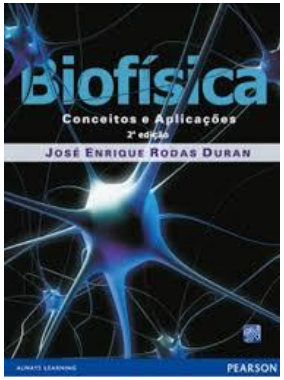
Obrigado pela atenção!

E bons estudos.

Referências



Okuno, E. Caldas, I. L. Chow, C. **Física para Ciências Biológicas e Biomédicas.** São Paulo: Harbra, 1986. (Capítulo 21)



DURAN, J.E.R. **Biofísica. Fundamentos e Aplicações, 2ª Ed.** São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011. (Capítulo 8)