

# Eletricidade e Magnetismo em Sistemas Biológicos Parte 1B



**Ignéz Caracelli**  
*ignez@df.ufscar.br*



*São Carlos, 21 de outubro de 2019.*



**096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1**

*Ignéz  
Caracelli*

**1**



**Vamos ao assunto:**  
**Eletricidade &  
Magnetismo**  
*Eletromagnetismo*



**096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1**

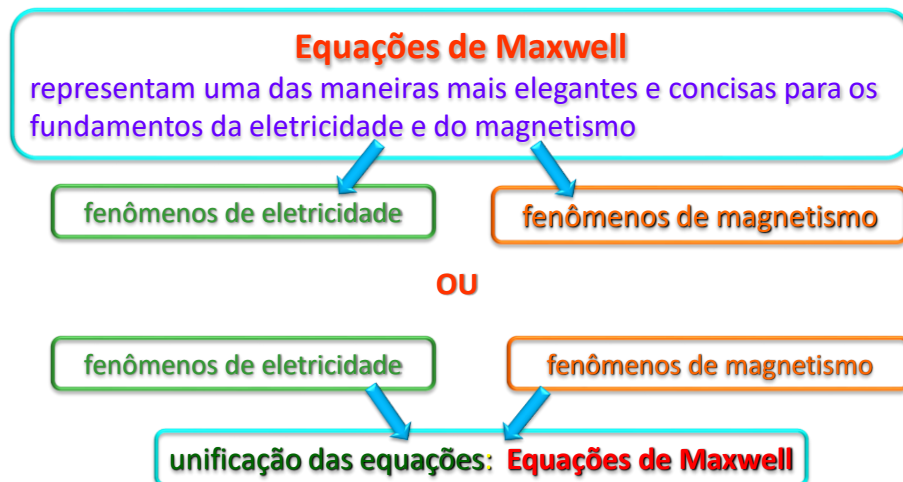
*Ignéz  
Caracelli*

**2**

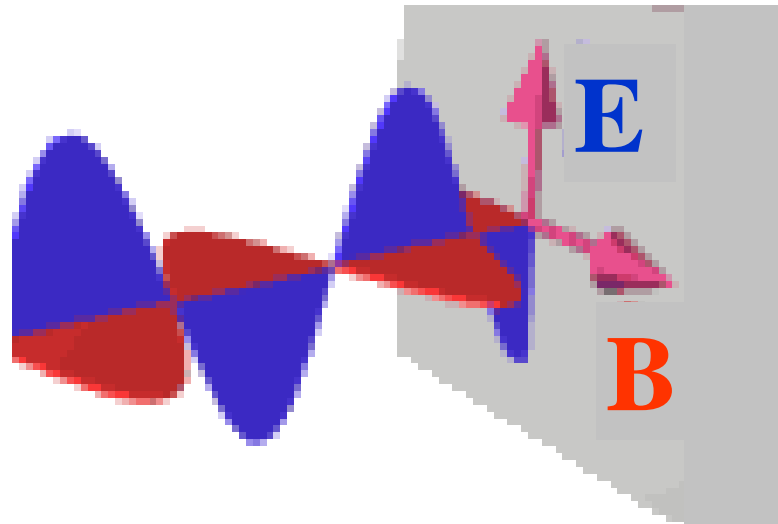


# introdução

## Teoria do Eletromagnetismo



## Ondas Eletromagnéticas



## Equações de Maxwell

Equações de Maxwell  $\Rightarrow$  *situações descritas pelas equações podem ser complexas*

**caso estático:** independe de  $t$

cargas elétricas  $\begin{cases} \nearrow \text{fixas no espaço} \\ \text{ou} \\ \searrow \text{se movem em forma de um fluxo estacionário} \end{cases}$



## carga elétrica

## Fenômenos de Eletricidade

eletricidade estática



**carga elétrica**

*quantidade fundamental presente em  
todos os fenômenos elétricos*



# Fenômenos de Eletricidade

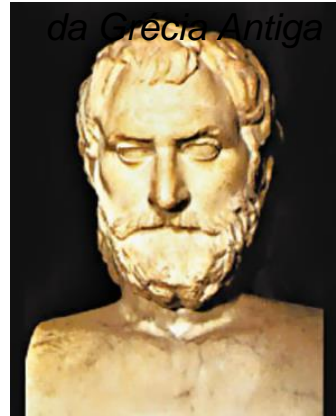
gregos



âmbar =  $\epsilon\lambda\epsilon\chi\tau\rho\nu$

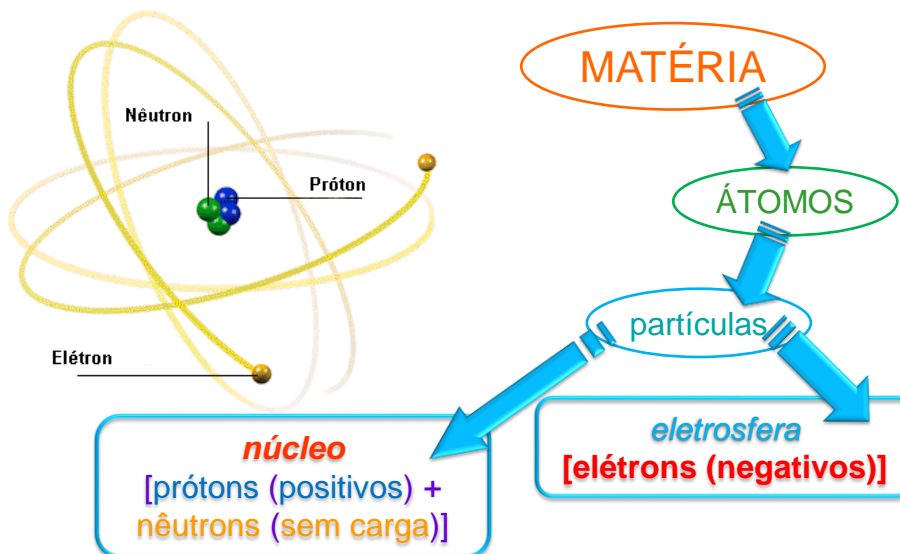
O **âmbar** é uma resina fóssil

um dos sete  
sábios  
da Grécia Antiga



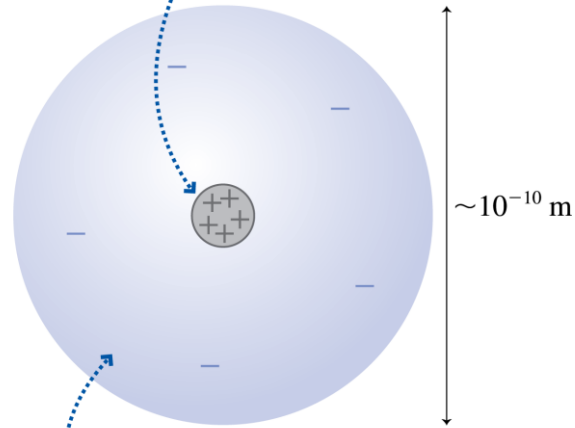
Tales de Mileto  
Grécia - 624 - 546 a.C

## A Matéria



## O átomo

O núcleo, exagerado para visualização, contém prótons positivos.

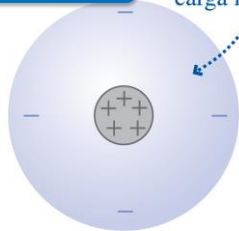


A nuvem eletrônica é carregada negativamente.

## O íon

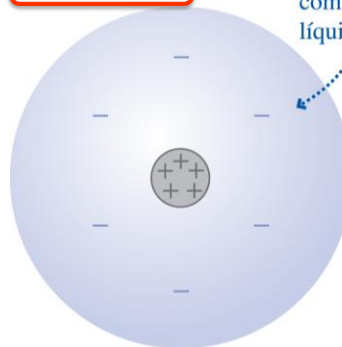
íon positivo

O átomo perdeu um elétron, ficando com uma carga líquida positiva.



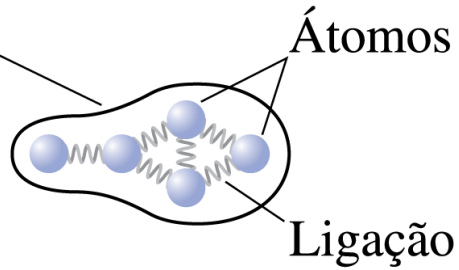
íon negativo

O átomo ganhou um elétron, ficando com uma carga líquida negativa.

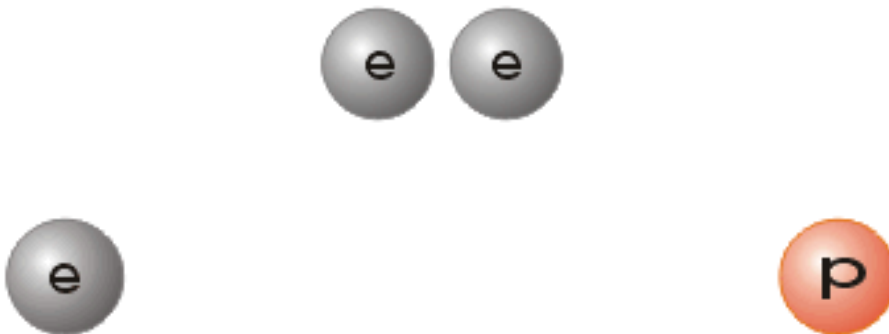


## Átomo neutro

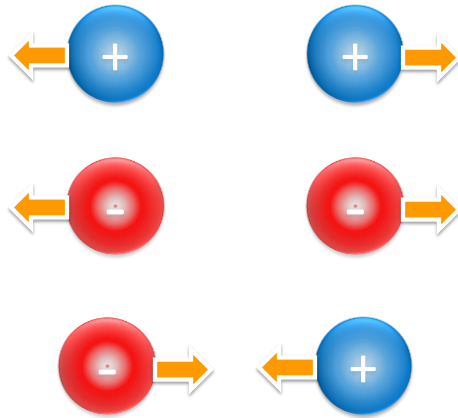
Molécula eletricamente neutra



## Cargas elétricas



## Cargas elétricas



**mobilidade de  
cargas e  
propriedades da  
matéria**

# Tipos de Materiais

Condutores

Isolantes

Semicondutores

Supercondutores



# Tipos de Materiais

Condutores

*mobilidade dos elétrons*

Isolantes

> *mobilidade*

+

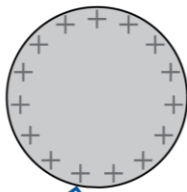
-

< *mobilidade*



## Tipos de Materiais

Seção transversal de um condutor carregado positivamente.



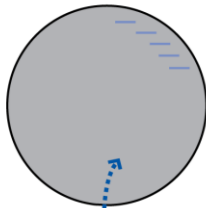
a carga livre

## Condutores

a carga líquida positiva está distribuída próxima à superfície

## Tipos de Materiais

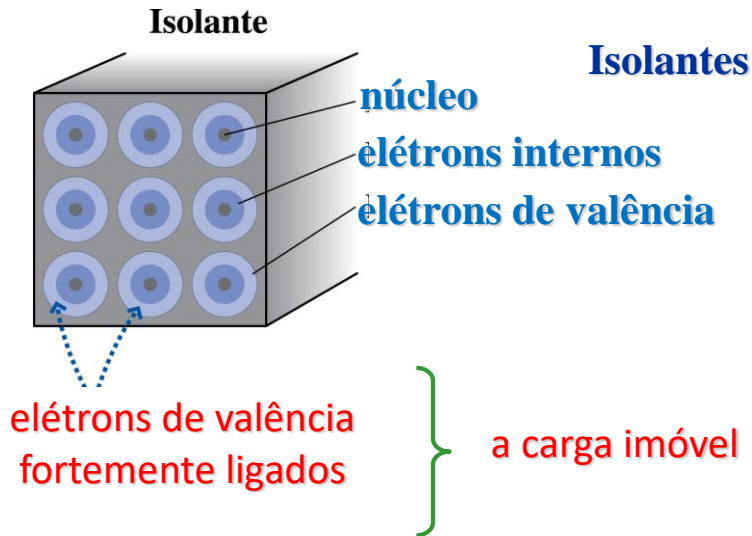
Seção transversal de um isolante carregado negativamente.



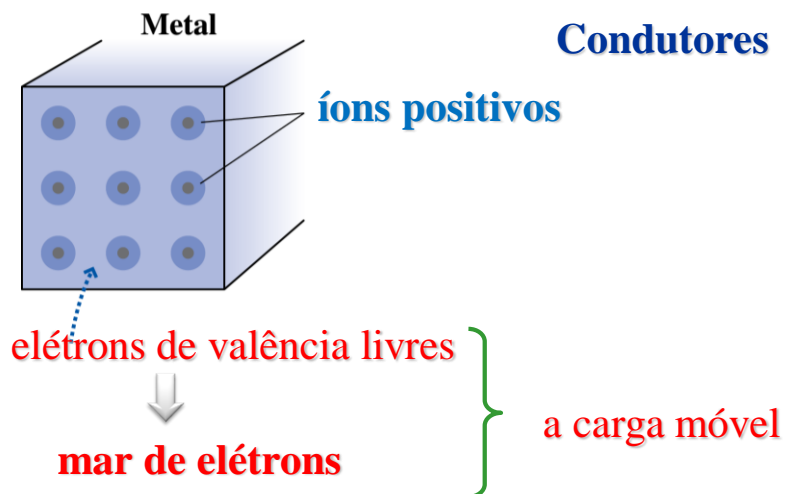
a carga imóvel

## Isolantes

## Tipos de Materiais



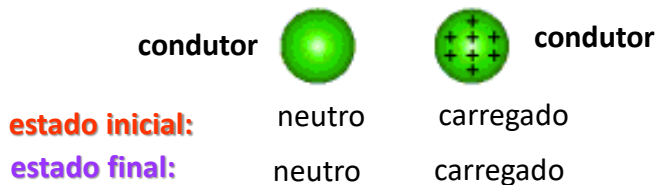
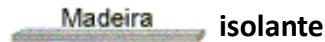
## Tipos de Materiais



# Isolantes

## Isolantes de eletricidade

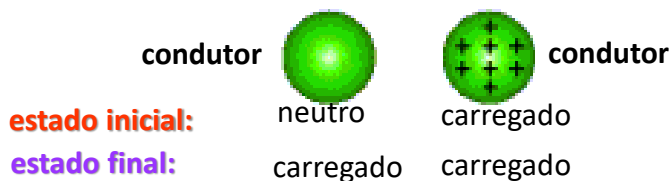
São os meios materiais nos quais não há facilidade de movimento de cargas elétricas. Ex: vidro, borracha, madeira seca, etc.



# Condutores

## Condutores de eletricidade

São os meios materiais nos quais há facilidade de movimento de cargas elétricas, devido a presença de "elétrons livres". Ex: fio de cobre, alumínio, etc.





## Condutores e Isolantes

Um condutor oferece apenas uma **pequena resistência** ao fluxo de carga elétrica.

Um isolante oferece uma **resistência muito maior**.

## Diodo emissor de luz

O **diodo emissor de luz**, também é conhecido pela sigla em inglês **LED (Light Emitting Diode)**



## Tipos de Materiais: *semicondutores*

Materiais que podem se comportar algumas vezes como isolantes e algumas vezes como condutores são chamados de **semicondutores**.

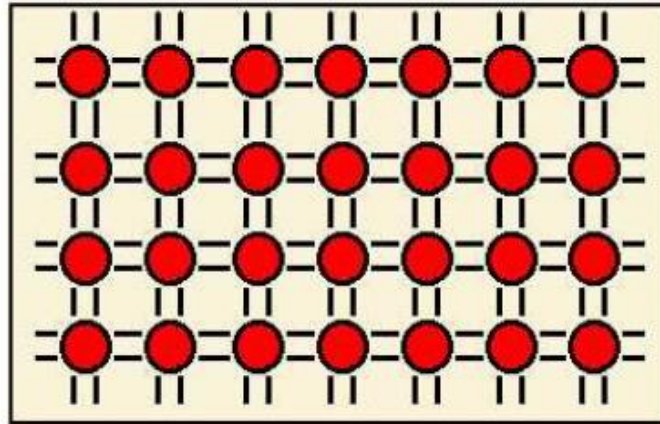
Esses materiais caem no meio da faixa de resistividade elétrica, sendo **condutores médios** em sua forma cristalina pura e tornando-se **excelentes condutores** quando apenas um átomo em 10 milhões é substituído por uma impureza, que adiciona ou retira elétrons da estrutura cristalina.

## Tipos de Materiais: *semicondutores*

Certos materiais, tais como o **germânio** e o **silício**, não são bons condutores nem bons isolantes.

The image displays two periodic tables. The top table is a standard periodic table with color-coded groups: Metals (Alkali metals, Alkaline earth metals, Lanthanoids, Actinoids, Transition metals, Post-transition metals), Metalloids, and Nonmetals (Other nonmetals, Halogens, Noble gases). The bottom table is a periodic table with color-coded groups: Conductors (green), Semiconductors (yellow), and Insulators (red). A red box highlights the elements Silicon (Si) and Germanium (Ge) in the Semiconductors group.

## Material Semicondutor



material semicondutor intrínseco

4 ligações covalentes

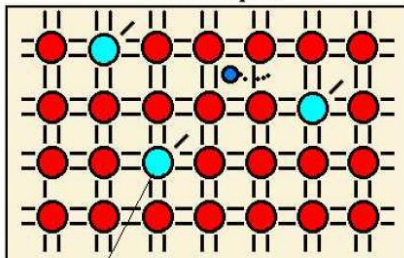
## Material Semicondutor

tipo N

antimônio,  
arsênio,  
fósforo

pentavalentes

material tipo N



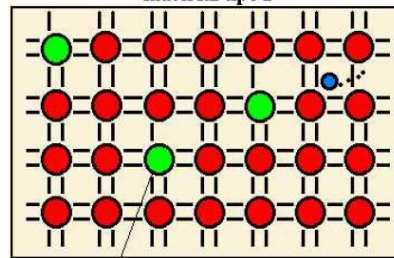
átomo doador de elétrons

tipo P

boro, gálio,  
índio

trivalentes

material tipo P



átomo aceitador de elétrons

## Tipos de Materiais: *semicondutores*

são sólidos cristalinos de condutividade elétrica intermediária entre condutores e isolantes.

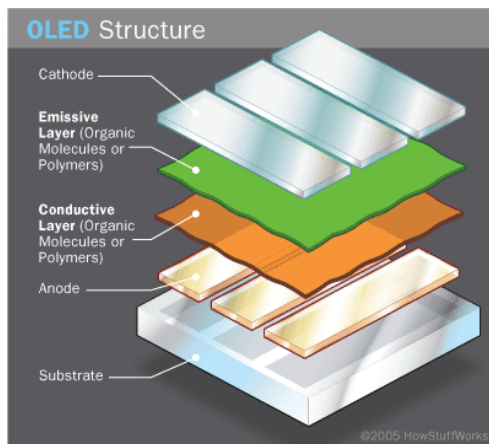
Os elementos semicondutores podem ser tratados quimicamente para transmitir e controlar uma corrente elétrica.

importante na fabricação de componentes eletrônicos tais como diodos, transistores e outros de diversos graus de complexidade tecnológica, microprocessadores, e nanocircuitos usados em nanotecnologia.

atualmente o elemento semicondutor é primordial na indústria eletrônica e confecção de seus componentes.



## Tipos de Materiais: *semicondutores*



OLED display for Sony Clie  
Photo courtesy [Sony Corporation](#)



<http://electronics.howstuffworks.com/oled6.htm>

## Tipos de Materiais: *supercondutores*

Notavelmente, em temperaturas suficientemente baixas, determinados materiais adquirem resistência nula (ou condutividade infinita) ao fluxo de carga.

Esses são os materiais **supercondutores**.

## Tipos de Materiais: *supercondutores*

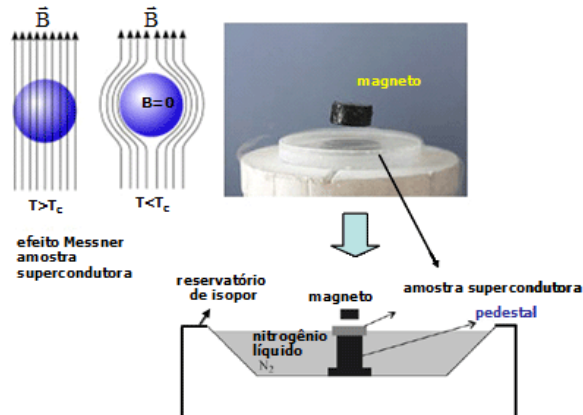
Uma vez que a corrente elétrica tenha sido estabelecida num supercondutor, ela fluirá indefinidamente.

Sem resistência elétrica alguma a corrente passa pelo material sem sofrer perda de energia: nenhum aquecimento ocorre durante o fluxo da carga.

## Tipos de Materiais: *supercondutores*

A supercondutividade em metais próximos ao zero absoluto foi descoberta em 1911.

Em 1987, foi a descoberta a supercondutividade em "altas" temperaturas (acima de 100 K) em um composto não-metálico.



## Tipos de Materiais: *supercondutores*

Pesquisas sobre materiais que são supercondutores tanto em baixas como em altas temperaturas.



As potenciais aplicações incluem transmissão de energia a grandes distâncias sem perdas e veículos de alta velocidade magneticamente levitados, para substituir os trens.

## Tipos de Materiais: supercondutores

- Antes de 1986, os cientistas acreditavam que não havia supercondutividade acima de temperaturas de 30 K.
- **1986** supercondutividade num cuprato na estrutura de perovskita baseado em lantânio, que possuía temperatura de transição de 35 K
- **depois de 1986** substituindo o lantânio por ítrio (YBCO) chegavam a uma temperatura crítica de 92 K  
Isso causou uma revolução comercial, pois o nitrogênio líquido (77 K) pode ser produzido por um custo bem menor do que o hélio líquido.

<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v34n2/v34n2a17.pdf>

## Tipos de Materiais: supercondutores

- Em 1993, o supercondutor com a maior temperatura crítica era uma cerâmica baseada nos elementos tálio, cobre, mercúrio, cálcio, bário e oxigênio com a fórmula  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$  com  $T_c = 138$  K.
- em 2008, um oxipnictídeo que atinge a fase supercondutora a uma temperatura abaixo dos 26 K, e posteriormente substituindo o lantânio por samário elevando sua temperatura crítica a 55 K.
- em 2015, medições demonstraram que o sulfureto de hidrogênio é supercondutor a cerca de 200 K

<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v34n2/v34n2a17.pdf>



## Tipos de Materiais: supercondutores

Pesquisas sobre materiais que são supercondutores tanto em baixas como em altas temperaturas.



As potenciais aplicações incluem transmissão de energia a grandes distâncias sem perdas e veículos de alta velocidade magneticamente levitados, para substituir os trens.

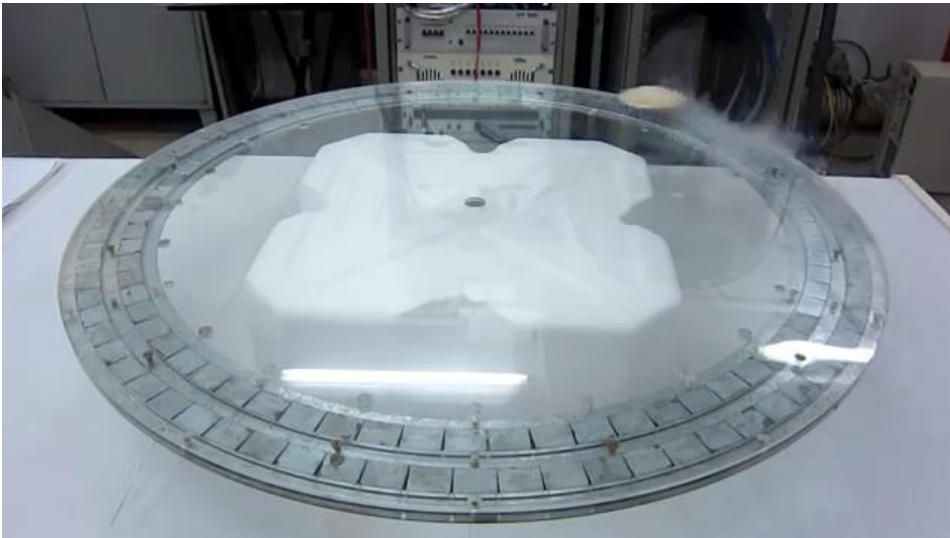
## Supercondutores



<http://giphy.com/gifs/ted-magnet-superconductor-quantum-locking-gw3FZeqeAiKbXM2!>



## Supercondutores



<https://www.youtube.com/watch?v=VyOtIsnG71U>



096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

*Ignês  
Caracelli*

41



## eletrização dos materiais



096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

*Ignês  
Caracelli*

42

## Processos de Eletrização

### Eletrização

transferência de cargas de um material para outro



## Eletrização por Atrito



## Eletrização por Atrito

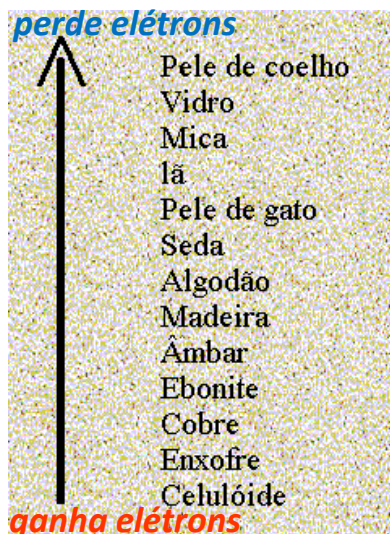
**Triboeletrização** (ou eletrização por atrito):

Ocorre em função *da passagem de elétrons* de um corpo para outro.

Os elétrons da camada periférica - fracamente ligados ao átomo, mais precisamente ao núcleo deste átomo - são capturados pelos átomos do outro corpo, que possuem elétrons não tão distantes.

Os corpos adquirem, assim, cargas de sinais contrários.

## Eletrização por Atrito



***Série Triboelétrica:***

Quando dois elementos constantes na tabela são atritados,  
*o elemento que ocupa a posição superior perde elétrons,*  
enquanto  
*o que ocupa a posição inferior ganha elétrons.*

## Eletrização por Atrito

*perde elétrons* ← **fica + positivo**

↑

- Pele de coelho
- Vidro
- Mica
- lã**
- Pele de gato
- Seda
- Algodão
- Madeira
- Âmbar
- Ebonite
- Cobre
- Enxofre
- Celulóide

*lã + bastão de vidro*

*ganha elétrons* ← **fica + negativo**

## Eletrização por Atrito

*perde elétrons* ← **fica + positivo**

↑

- Pele de coelho
- Vidro
- Mica
- lã**
- Pele de gato
- Seda
- Algodão
- Madeira
- Âmbar
- Ebonite**
- Cobre
- Enxofre
- Celulóide

*lã + ebonite*


*ganha elétrons* ← **fica + negativo**

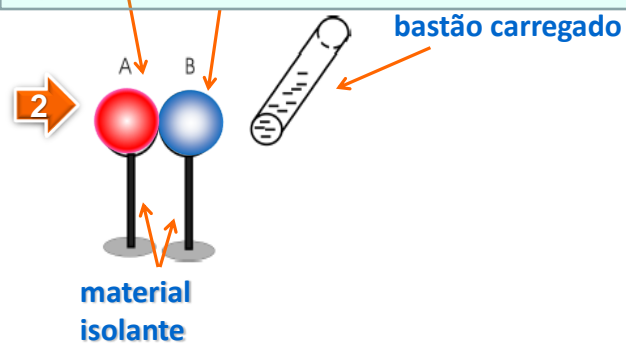
## Eletrização por Contato: *duas esferas condutoras*

1   início: esferas condutoras *neutras* isoladas

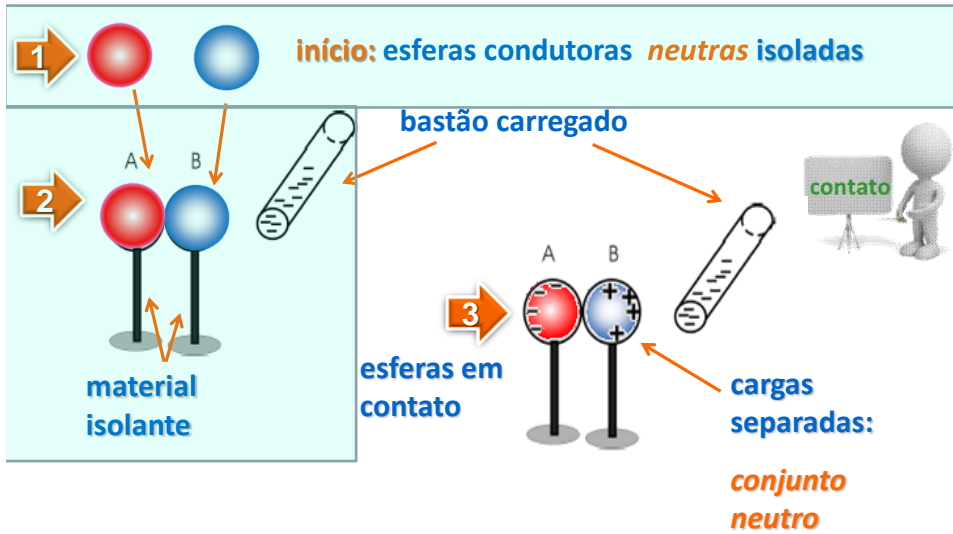


## Eletrização por Contato: *duas esferas condutoras*

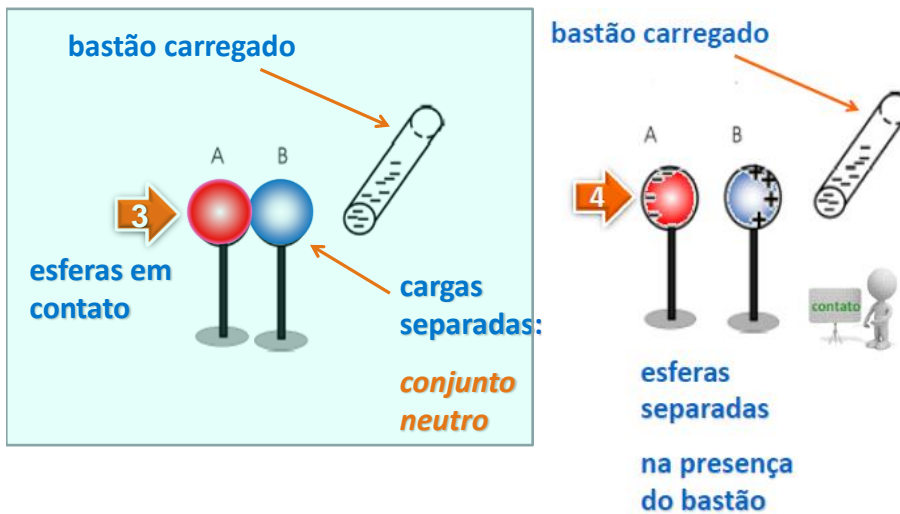
1   início: esferas condutoras *neutras* isoladas



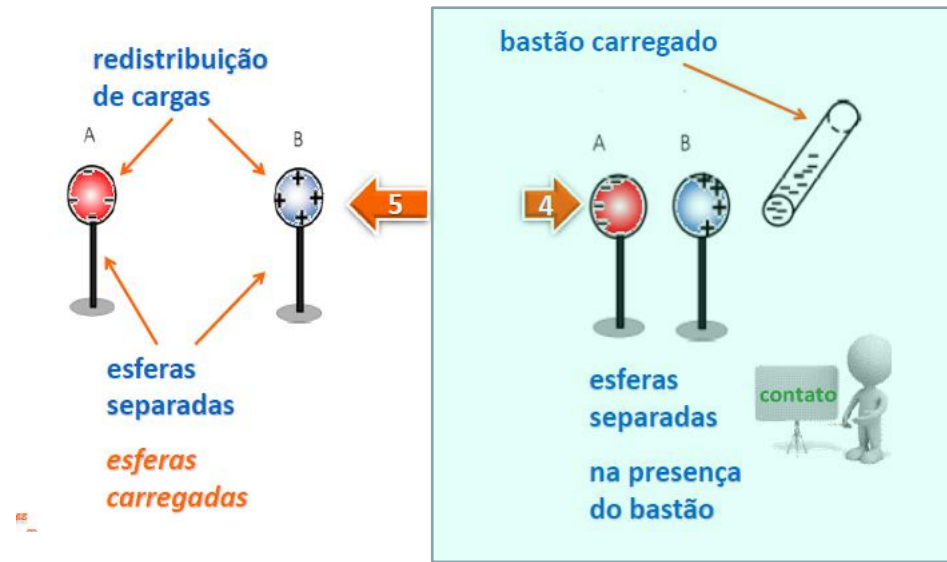
## Eletrização por Contato: *duas esferas condutoras*



## Eletrização por Contato: *duas esferas condutoras*

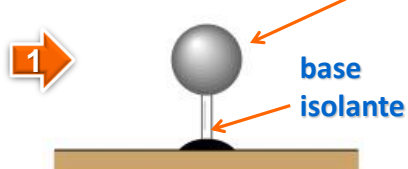


## Eletrização por Contato: *duas esferas condutoras*



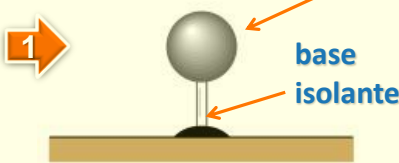
## Eletrização por Indução: *uma esfera condutora*

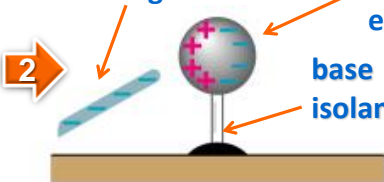
início: esfera condutora *neutra* isolada

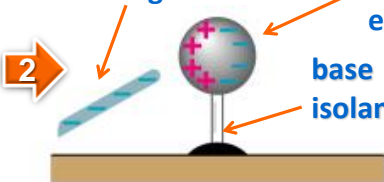



## Eletrização por Indução: *uma esfera condutora*

**início: esfera condutora neutra isolada**

1  base isolante

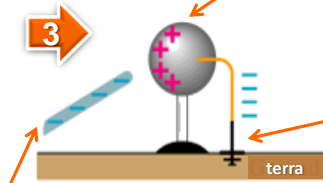

**bastão carregado**  **separação das cargas: esfera condutora neutra isolada**

2  base isolante

 indução

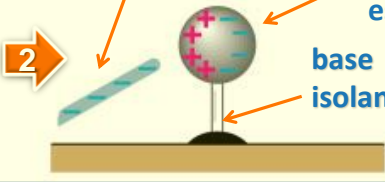
## Eletrização por Indução: *uma esfera condutora*

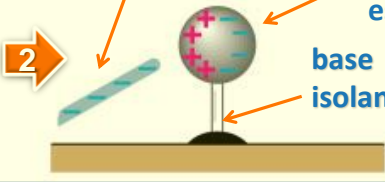
**esfera condutora**


3   símbolo de Terra

**aterramento: elétrons saem da esfera condutora**

terra

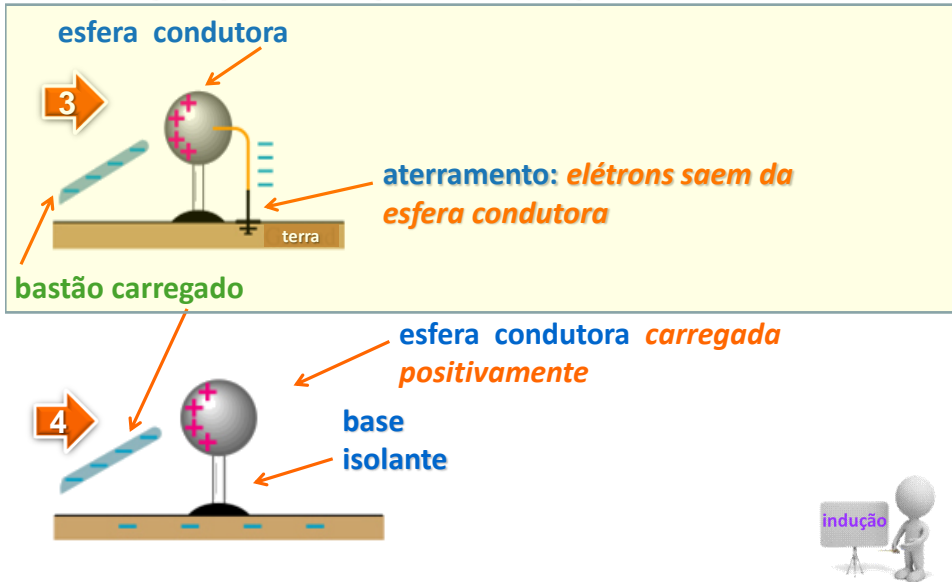
**bastão carregado**  **separação das cargas: esfera condutora neutra isolada**

2  base isolante

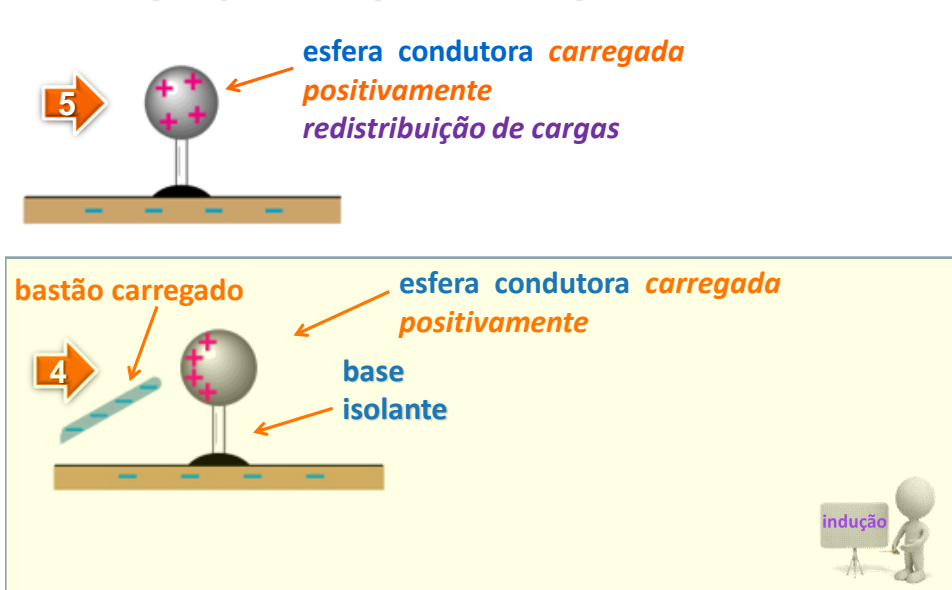
 indução



## Eletrização por Indução: uma esfera condutora



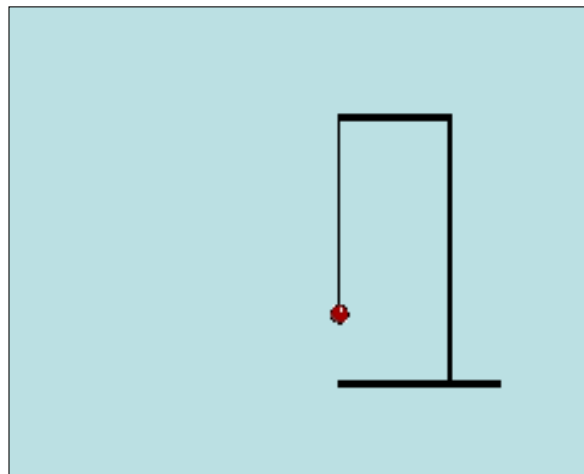
## Eletrização por Indução: uma esfera condutora



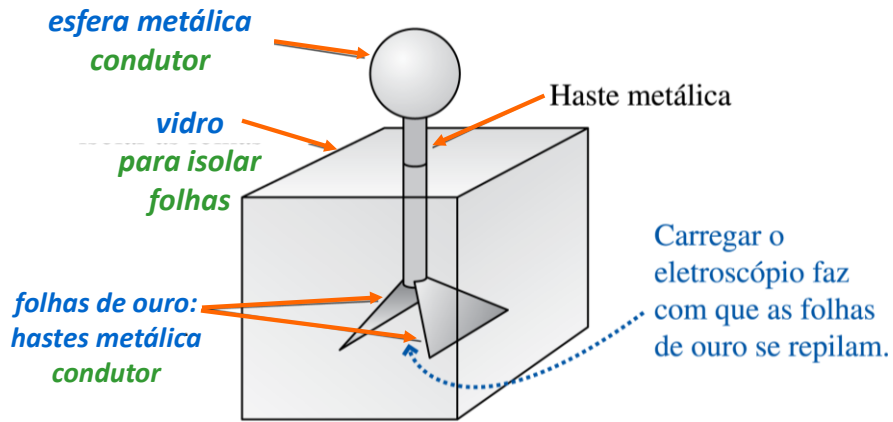


## dispositivos & eletrização

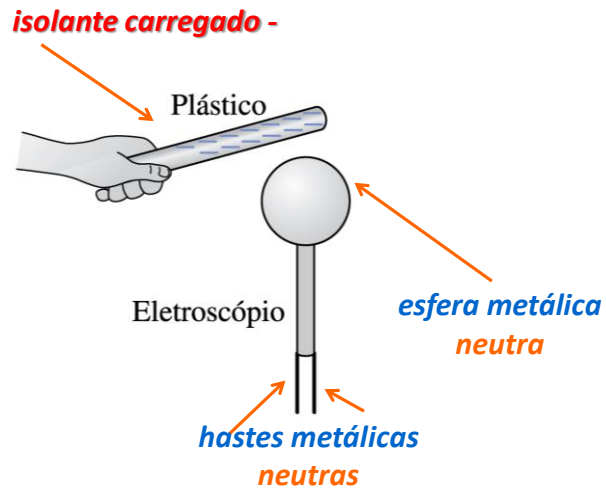
## Pêndulo eletrostático



# Eletroscópio



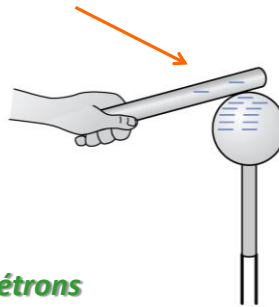
# Eletroscópio



# Eletroscópio

2

*isolante carregado -*



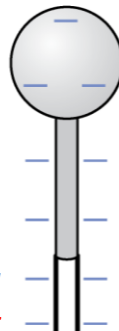
*esfera metálica carregada -*

*transferência de elétrons por contato*

# Eletroscópio

3

*em um processo rápido a carga se distribui pelo eletroscópio*

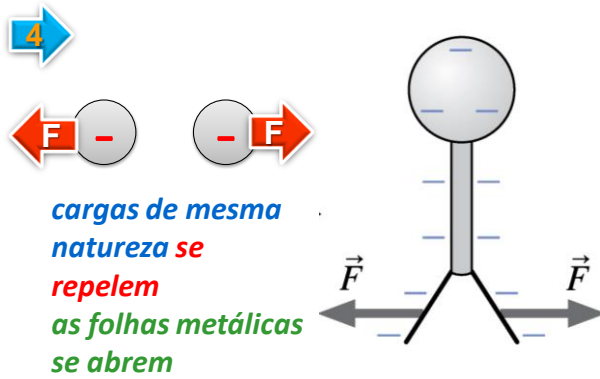


*esfera metálica carregada -*

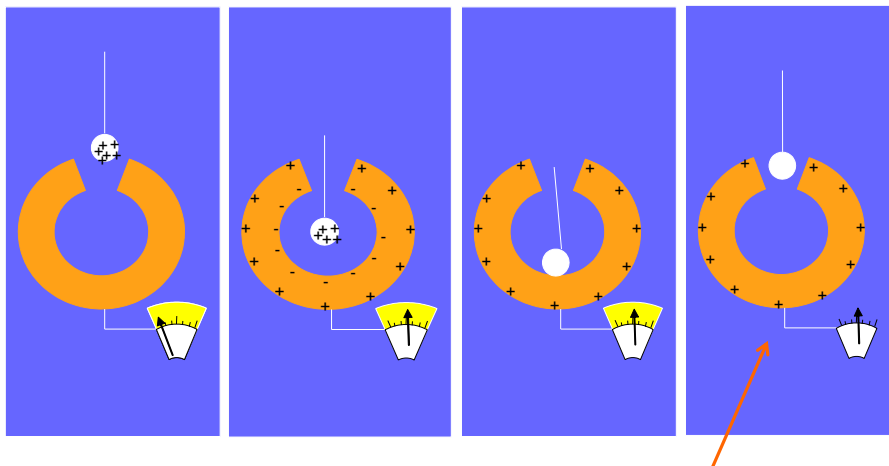
*haste metálica carregada -*

*haste metálica carregada -*

## Eletroscópio



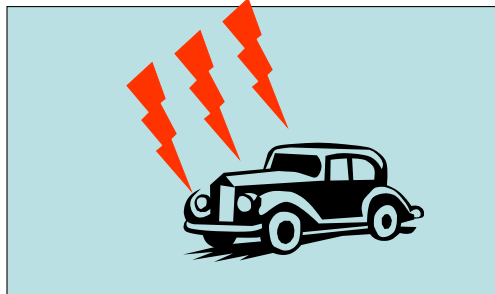
## Gaiola de Faraday



*todas as cargas de um condutor estão na superfície!*

## Gaiola de Faraday

É seguro permanecer dentro de um automóvel em uma tempestade com raios?



*Sim. O excesso de cargas está na superfície. Se os ocupantes permanecerem dentro, estarão seguros.*

## Gaiola de Faraday

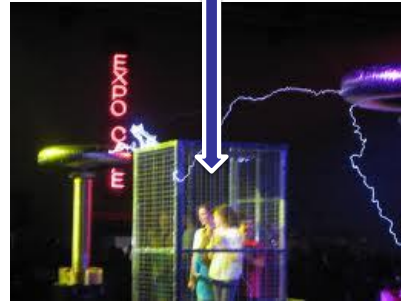


[https://physicsb-2009-10.wikispaces.com/\(\\_11\)+Electrostatics+and+Conductors](https://physicsb-2009-10.wikispaces.com/(_11)+Electrostatics+and+Conductors)

## Gaiola de Faraday

Gaiola de Faraday é a designação pela qual se tornou conhecida uma experiência efetuada por Michael Faraday, em 1836, para demonstrar que uma superfície condutora eletrificada possui um **campo elétrico nulo** no seu interior.

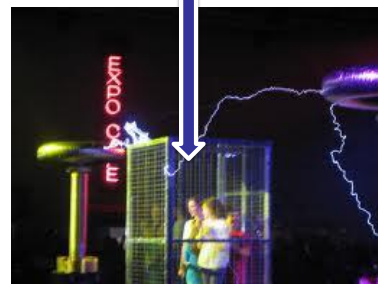
$$\vec{E}_{\text{INTERIOR}} = 0$$



## Gaiola de Faraday

Isso acontece porque as cargas se distribuem de forma homogênea na parte mais externa da superfície condutora, deixando de haver manifestação de fenômenos elétricos em seu interior.

$$\vec{E}_{\text{INTERIOR}} = 0$$



## Gerador de Van de Graaff



**Ano de invenção:** 1931

**Objetivo:** produzir uma ddp muito alta (~ 20 milhões de volts) para **acelerar partículas carregadas**.

O gerador de **van de Graaff** é um gerador de **corrente constante**, enquanto que a **bateria** é um gerador de **tensão constante**.



## Gerador de Van de Graaff



ROBERT VAN DE GRAAFF DEMONSTRATES HIS FIRST GENERATOR TO KARL COMPTON

©MIT Museum All rights reserved





## Gerador de Van de Graaff



## Gerador de Van de Graaff



[https://www.youtube.com/watch?v=A9JX2L\\_n7ek](https://www.youtube.com/watch?v=A9JX2L_n7ek)

## Torniquete Eletrostático



## Torniquete Eletrostático



## Torniquete Elétrico



<https://www.youtube.com/watch?v=ahrSg-Nh5FE>

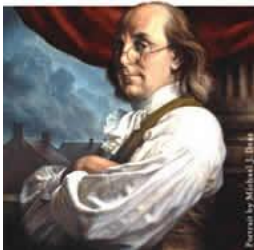


096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignês  
Caracelli

77

## Benjamin Franklin



Benjamin Franklin  
(1706-1790)

Franklin tornou esta teoria inesquecível através da experiência extremamente perigosa de fazer voar uma pipa durante uma tempestade, em 1 de outubro de 1752.

Nos seus escritos, ele demonstra que estava consciente dos perigos e dos modos alternativos de demonstrar que o trovão era elétrico.



78



096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignês  
Caracelli

## Benjamin Franklin



Benjamin Franklin  
(1706-1790)

As invenções de Franklin incluíram o pára-raios, o aquecedor de Franklin - *franklin stove* (um aquecedor a lenha que se tornou muito popular, debitando uma corrente de ar diretamente na área a aquecer), as lentes bifocais e o corpo de bombeiros norte-americano.

Franklin estabeleceu duas áreas de estudo importantes das ciências naturais: eletricidade e meteorologia.

[https://www.sofisica.com.br/conteudos/Biografias/benjamin\\_franklin.php](https://www.sofisica.com.br/conteudos/Biografias/benjamin_franklin.php)

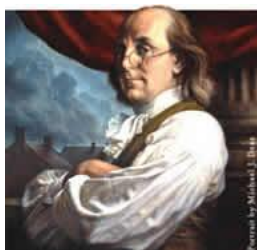
79



096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignaz  
Caracelli

## Benjamin Franklin: "princípio da conservação da carga"



Benjamin Franklin  
(1706-1790)  
químico francês,

Na sua obra clássica *A história das teorias da eletricidade e do Éter*, Sir Edmund Whittaker refere-se à inferência de Franklin de que quando se esfrega uma substância não se cria nenhuma carga elétrica, **mas esta é apenas transferida**, de modo que "a quantidade total em qualquer sistema isolado é invariável".

Esta asserção é conhecida como o "princípio da conservação da carga".

80



096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignaz  
Caracelli

## Benjamin Franklin: " primeiro pára-raios "



Benjamin Franklin

(1706-1790)  
químico francês,

Foi Benjamin Franklin, em 1750, quem demonstrou pela primeira vez que o relâmpago é um fenômeno elétrico, por meio da sua famosa experiência com uma pipa (papagaio).

Ao empinar o papagaio num dia de tempestade, Franklin conseguiu obter efeitos elétricos através da linha e percebeu então que o relâmpago resultava do desequilíbrio elétrico entre a nuvem e o solo.

A partir dessa experiência, ele produziu o primeiro pára-raios.

81

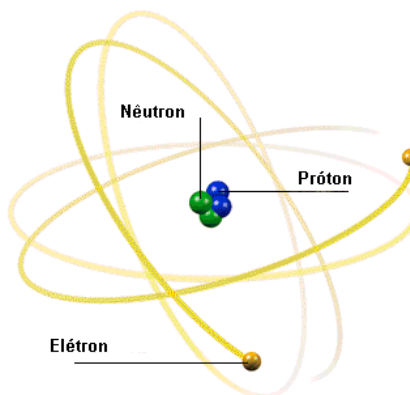


## Átomos, partículas, subpartículas



## Modelo Nuclear do Átomo

- os átomos são compostos de partículas subatômicas chamadas elétrons, prótons e nêutrons.
- os prótons e nêutrons formam um corpo central minúsculo, denso chamado de núcleo do átomo.
- os elétrons estão distribuídos no espaço em torno do núcleo.



## Tipos de Forças

Podemos reduzir todos os tipos de forças a apenas quatro tipos fundamentais:

- *as interações gravitacionais*
- *as interações eletromagnéticas, entre as quais encontramos as forças elétricas,*
- *as interações fracas,*
- *as interações fortes, responsáveis pelas forças nucleares.*

## Interação nuclear fraca: léptons

Os elétrons são classificados como *léptons* e sofrem interações fracas.

Os *léptons* pareciam ser partículas elementares (até 2007), mas em 2008, foi publicado artigo que mostra que não é mais considerado elementar.

Dolev, Heiblum, Umansky, Stern, Mahalu. Nature, 452, 829-835, 2008.  
doi:10.1038/nature06855

## Interação nuclear fraca: léptons

Nome	Carga	Massa(GeV/c <sup>2</sup> )
Elétron	-1	0.000511
Múon	-1	0.1056
Tau	-1	1.777
Neutrino do elétron	0	~0
Neutrino do múon	0	~0
Neutrino do tau	0	~0

## Interação nuclear fraca: léptons

Os elétrons são classificados como *léptons* e sofrem interações fracas.

Um elétron é constituído de quasipartículas:

- **'holon'** (*que carrega a carga do elétron*)
- **'spinon'** (*que carrega o spin do elétron – propriedade quântica relacionada com o magnetismo*)
- **'orbiton'** (*que carrega seu momento orbital, devido ao movimento em torno do núcleo*).

Schlappa, J. *et al.* Nature, 2012, 485, 82–85.  
<http://dx.doi.org/10.1038/nature10974>

## Interação nuclear forte: hádrons

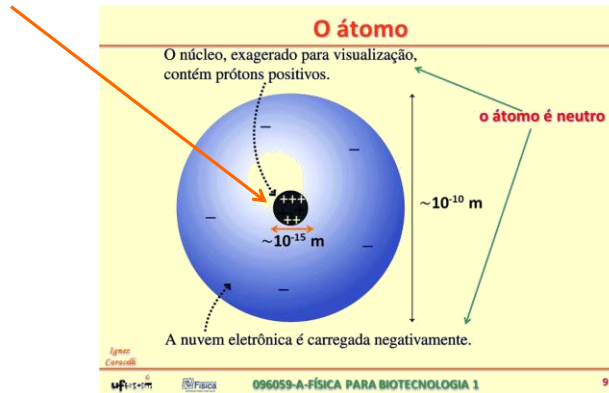
os **hádrons** são partículas complexas: são constituídos por *quarks*.



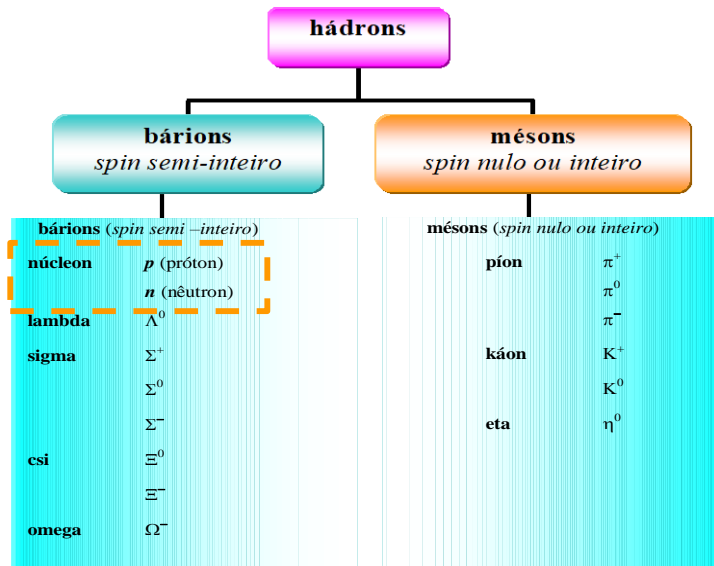
## Força nuclear forte

interação hadrônica (núcleo do átomo)

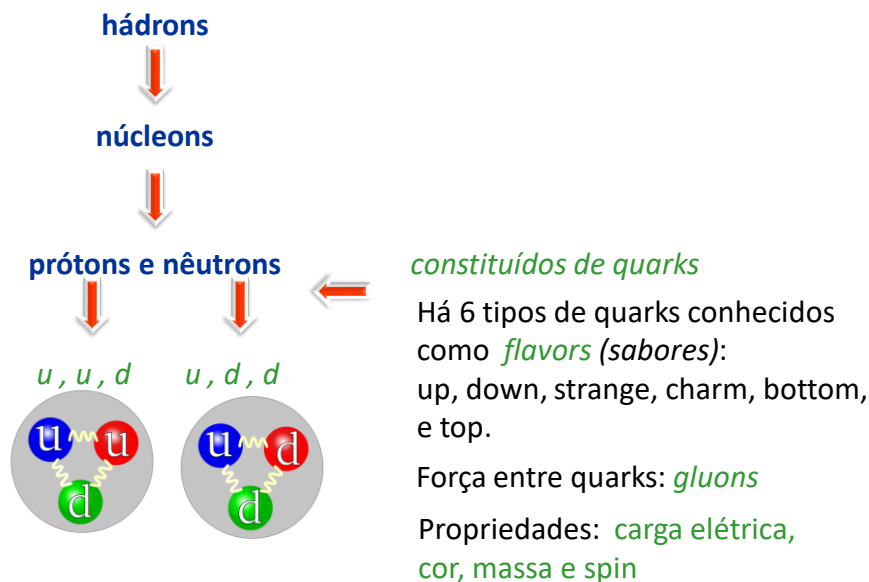
é uma força de curto alcance.



## Interação nuclear forte: hádrons



## Interação nuclear forte: hádrons



## Hádrons e quarks

Os hádrons sofrem uma interação forte resultante da interação entre os quarks que os constituem.

Para prótons e nêutrons ha três tipos de quarks: **up**, **down** e **strange** (representados por  $u$ ,  $d$  e  $s$ ).

próton → constituído de três quarks:  $u, u, d$

nêutron → constituído de três quarks:  $u, d, d$

## Força nuclear forte

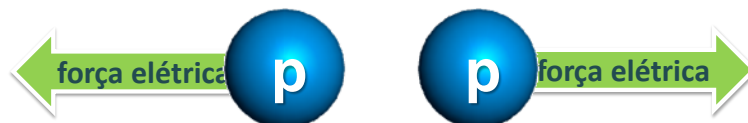
Os prótons e nêutrons em um átomo estão localizados dentro de uma região de cerca de  $10^{-15}$  m.

A **força de repulsão coulombiana** entre prótons a distâncias tão pequenas é muito grande; apesar disso, temos núcleos que são estáveis, e sabemos que para fragmentá-los é necessário bombardeá-los com partículas de energias elevadas.

Portanto as interações fortes devem ser de intensidades ainda maiores que as interações eletromagnéticas, porém devem ser de **curto alcance**.

## Hádrons e quarks

Quando os prótons estão muito próximos a interação atrativa hadrônica forte supera a força repulsiva elétrica.



## Modelo Nuclear do Átomo

**Tabela 1 - Propriedades das Partículas Subatômicas**

Partícula	símbolo	carga*	massa, kg
elétron	$e^-$	-1	$9,109 \times 10^{-31}$
próton	p	+1	$1,673 \times 10^{-27}$
nêutron	n	0	$1,675 \times 10^{-27}$

\*As cargas são dadas como múltiplos da carga de um próton, que nas unidades SI vale  $1,602 \times 10^{-19}$  C.



## Leis de conservação: Conservação da Carga

## Conservação da Carga

Em um sistema isolado, a soma de todas as cargas do sistema permanece constante.

Um **sistema isolado** é a parte do universo que queremos estudar e que se encontra livre de influências externas.

### Qual o significado dessa lei?

Quer dizer o sistema pode ser acelerado, iluminado, aquecido, ou sofrer outras influências e sua carga total não sofrerá mudanças, exceto se houver **transferência de carga** entre o sistema e o meio externo.

## Quantização da Carga

$n$  → número de cargas

$e$  → valor da carga

$$q = n e$$

$$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

carga do elétron:  $-e = -1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$

carga do próton:  $+e = +1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$

## Quantização da Carga

$$q = n e$$

$$e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$



**Lei de Coulomb**  
**Natureza das cargas**  
**Força entre cargas**

# Charles Augustin de Coulomb

**1736** nascimento em Angoulême, França

**1777** inventa a balança de torção para medir a força de atração ou repulsão que exercem entre si duas cargas elétricas, e estabelece a função que liga esta força com a distância

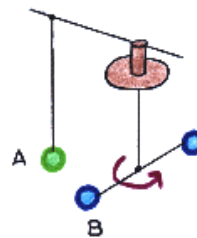
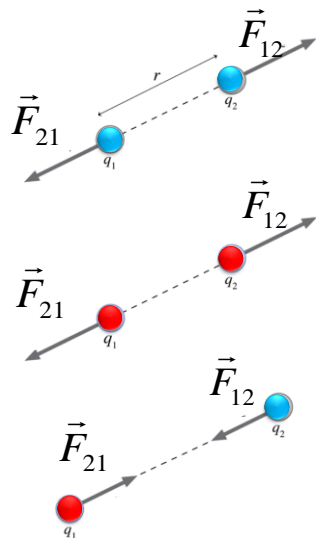
**1785** estabelece o princípio que rege a interação entre as cargas elétricas, a *lei de Coulomb*

**1789** deixa seus cargos públicos e militares, para dedicar-se por inteiro à pesquisa em eletrostática e magnetismo.

**1806** morte em Paris, França



## Lei de Coulomb → Lei experimental



## Lei de Coulomb

- ➔ há duas espécies de carga elétrica
- ➔ duas cargas pontuais exercem, entre si, forças que atuam ao longo da linha que as une e são inversamente proporcionais ao quadrado da distância entre elas
- ➔ as forças são proporcionais ao produto das cargas; são repulsivas para cargas de mesmo sinal e atrativas para cargas de sinais opostos

## Lei de Coulomb; Modelo Matemático

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

A *Lei de Coulomb* aplica-se a:

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

- cargas pontuais
- interações entre partículas elementares
- repulsão eletrostática entre núcleos a distâncias  $> 10^{-14}$  m



## Unidades



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

$$k = 8,9875 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$$



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

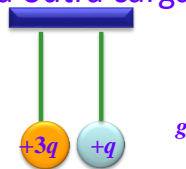
$\epsilon_0$  permissividade do espaço livre

F → Newton (N); q → Coulomb (C)

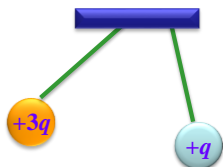


## Exemplo

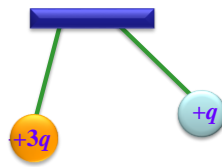
Duas esferas de massas iguais estão suspensas e presas por fios não-condutores. Uma das esferas tem carga  $+3q$  e a outra carga  $+q$ .



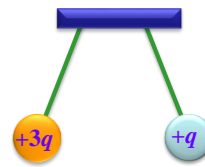
Qual das seguintes figuras melhor representa a posição de equilíbrio?



(a)



(b)

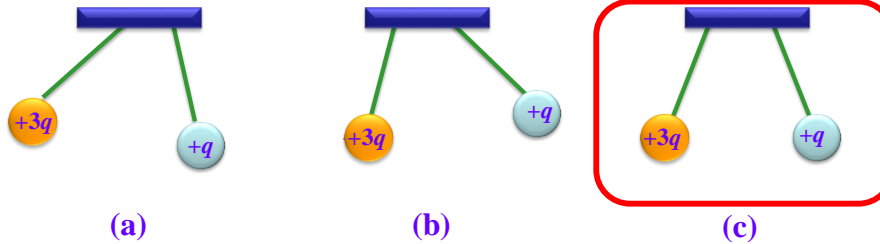


(c)



## Exemplo

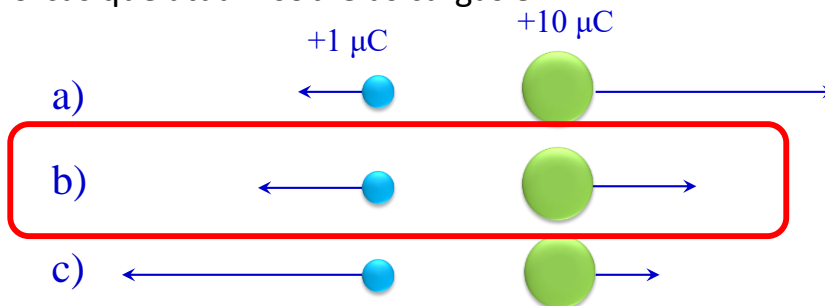
Qual das seguintes figuras melhor representa a posição de equilíbrio?



terceira Lei de Newton!

## Exemplo

- Duas cargas  $q = +1 \mu\text{C}$  e  $Q = +10 \mu\text{C}$  são colocadas uma ao lado da outra. O diagrama que melhor descreve as forças que atuam sobre as cargas é:



## Questão

- Sobre duas cargas que interagem, além da **força elétrica** existe também a **força gravitacional**.
- É necessário considerar a **força gravitacional**?

## Exemplo: átomo de hidrogênio

massa do elétron  $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$  kg

massa do próton  $m_p = 1,67 \times 10^{-27}$  kg

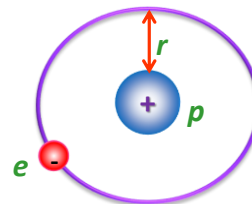
carga do elétron  $q_e = -e = -1,6 \times 10^{-19}$  C

carga do próton  $q_p = +e = +1,6 \times 10^{-19}$  C

constante de Coulomb  $k = 8,988 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2 \approx 9,0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$

constante de gravitação universal  $G \cong 6,7 \times 10^{-11} \frac{\text{N}\cdot\text{m}^2}{\text{kg}^2}$

raio da órbita  $r = 5 \times 10^{-11}$  m



## Forças

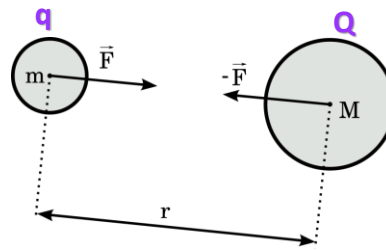
força elétrica

Lei de Coulomb

$$\mathbf{F}_e = k \frac{qQ}{r^2}$$

força gravitacional

$$\mathbf{F}_g = G \frac{mM}{r^2}$$



## Exemplo: átomo de hidrogênio

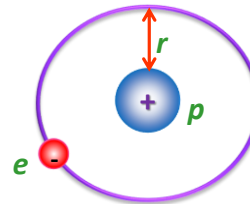
cálculo da **força elétrica**:

$$|\mathbf{F}_e| = k \frac{q_e q_p}{r^2}$$

$$|\mathbf{F}_e| = k \frac{e \times e}{r^2}$$

$$|\mathbf{F}_e| = 9,0 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \frac{(1,6 \times 10^{-19} C)^2}{(5 \times 10^{-11} m)^2}$$

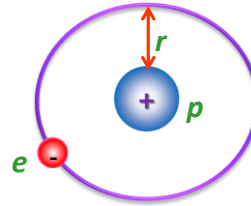
$$|\mathbf{F}_e| \cong 8 \times 10^{-8} N$$



## Exemplo: átomo de hidrogênio

- cálculo da **força gravitacional**:

$$F_g = G \frac{m_e m_p}{r^2}$$



$$F_g = 6,7 \times 10^{-11} \frac{N \cdot m^2}{kg^2} \frac{(9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}) (1,67 \times 10^{-27} \text{ kg})}{(5 \times 10^{-11} \text{ m})^2}$$

$$F_g \cong 4 \times 10^{-47} \text{ N}$$

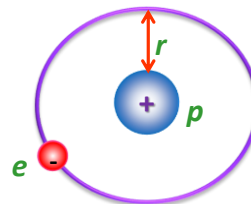
## Exemplo: átomo de hidrogênio

comparação entre a **força elétrica** e **força gravitacional**:

$$|F_e| \cong 8 \times 10^{-8} \text{ N}$$

$$F_g \cong 4 \times 10^{-47} \text{ N}$$

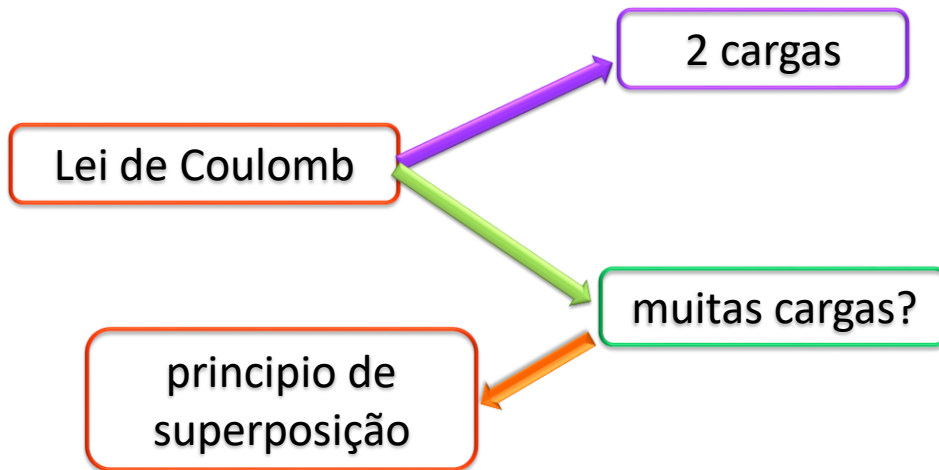
$$\frac{F_e}{F_g} = \frac{8 \times 10^{-8} \text{ N}}{4 \times 10^{-47} \text{ N}} \cong 2 \times 10^{39}$$



**força elétrica**

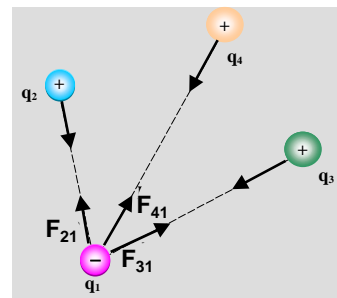
**força elétrica** >>>> **força gravitacional**

## Uma carga, muitas cargas



## Princípio de superposição

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



$$\vec{F}_1 = q_i \sum_{j \neq i}^N \frac{q_j}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{r}_{ij}}{r_{ij}^3} \quad \text{N cargas pontuais}$$

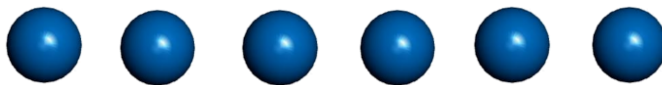
## Princípio da Superposição

N cargas pontuais

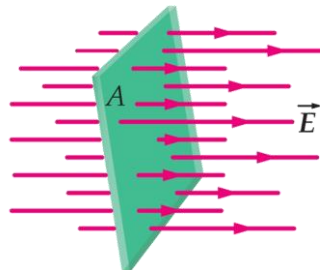
distribuição contínua de cargas

## Princípio da Superposição

N cargas pontuais



distribuição contínua  
de cargas





# Campo Elétrico

## Linhas de Campo

## Campo Elétrico

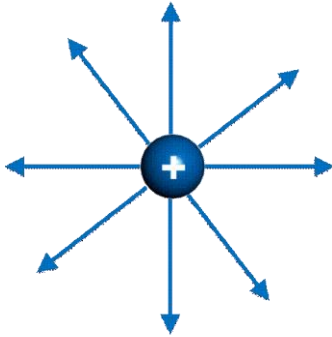
uma carga elétrica  $q$   
cria um campo elétrico  $\vec{E}$



## Campo Elétrico

*forças à distância*

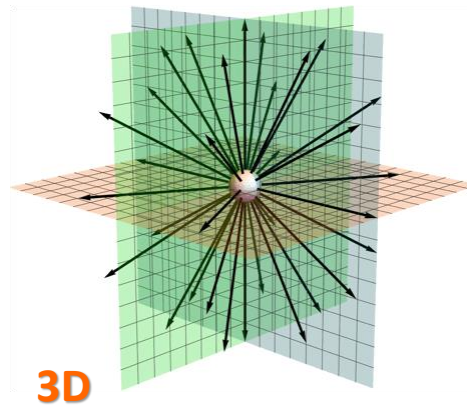
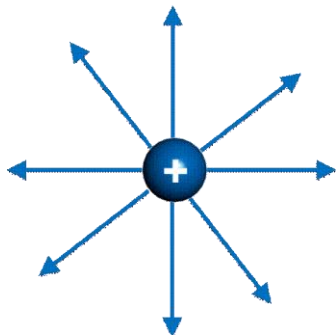
*linhas de força elétrica*  $\equiv$  *linhas de campo*



## Campo Elétrico

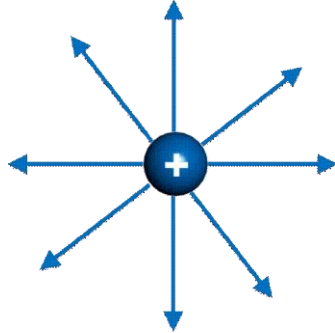
*forças à distância*

*linhas de força elétrica*  $\equiv$  *linhas de campo*

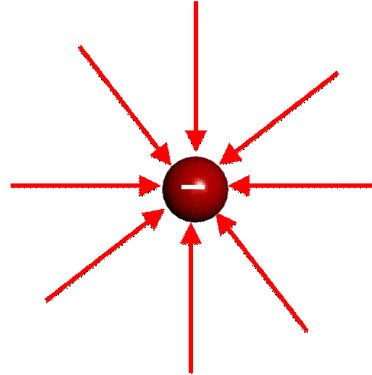


## Campo Elétrico: representação

*linhas de campo:*

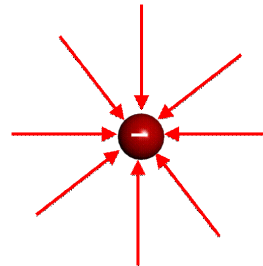
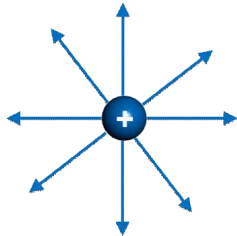


*principiam nas cargas positivas*



*terminam nas cargas negativas*

## Linhas de Campo Elétrico



- *são simétricas em torno da carga;*
- *tem número proporcional ao tamanho da carga (maior a carga, maior o número de linhas);*
- *a grandes distâncias de um sistema de cargas, são uniformemente espaçadas e radiais como as de uma carga puntiforme;*
- *nunca se cruzam.*



## Campo Elétrico

### Carga de Prova $q_0$

## Campo Elétrico



como sabemos se em  
alguma região  
do espaço há  
um campo elétrico  $\vec{E}$  ?



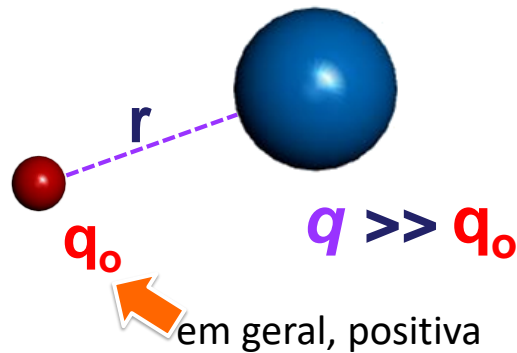
usamos uma  
carga de prova  
 $q_0$



## Carga de Prova

carga  $q$  que cria o campo  $\vec{E}$

carga de prova  $q_o$

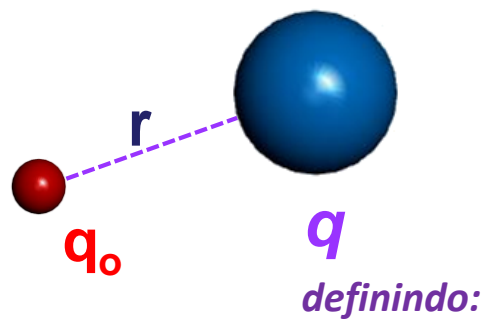


Lei de Coulomb

$$F = k \frac{q q_o}{r^2}$$

## Carga de Prova

carga  $q$  que cria o campo  $\vec{E}$



Lei de Coulomb

$$F = k \frac{q q_o}{r^2}$$

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

## Carga de Prova

carga  $q$  que cria o campo  $\vec{E}$

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

Lei de Coulomb

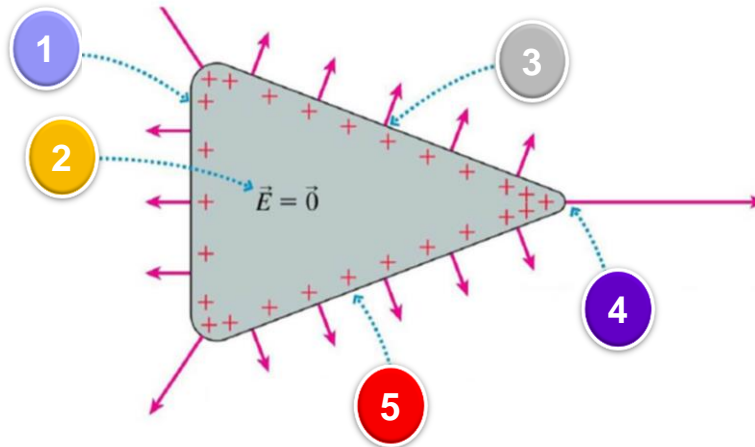
$$F = k \frac{q q_0}{r^2}$$

$$E = \frac{1}{q_0} k \frac{q q_0}{r^2}$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

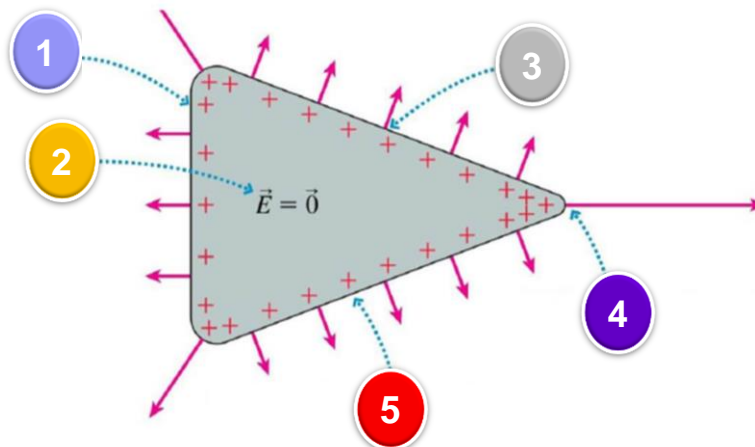


## Condutores em equilíbrio eletrostático



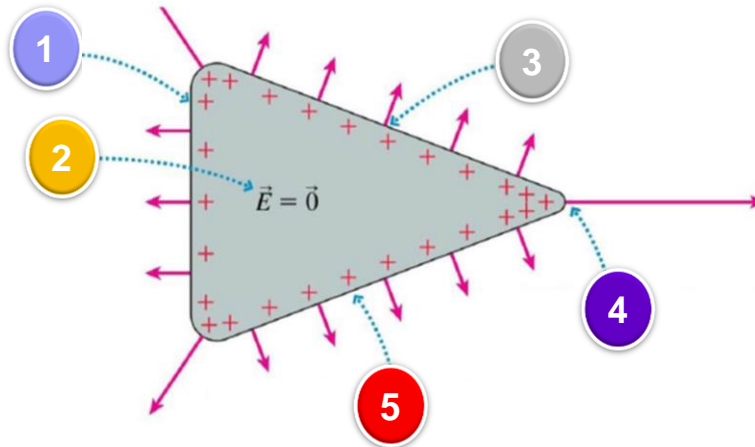
1 Todo excesso de carga está na superfície do condutor

## Condutores em equilíbrio eletrostático



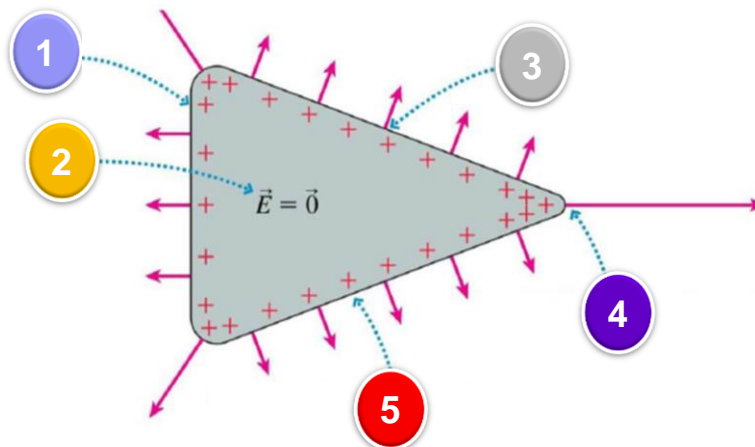
2 O campo elétrico  $E$  é igual a zero dentro do condutor

## Condutores em equilíbrio eletrostático



3 O campo elétrico externo é perpendicular à superfície em cada ponto.

## Condutores em equilíbrio eletrostático



4 A densidade superficial de cargas e a intensidade do campo elétrico são maiores nas pontas (“poder das pontas”)

## Condutores em equilíbrio eletrostático

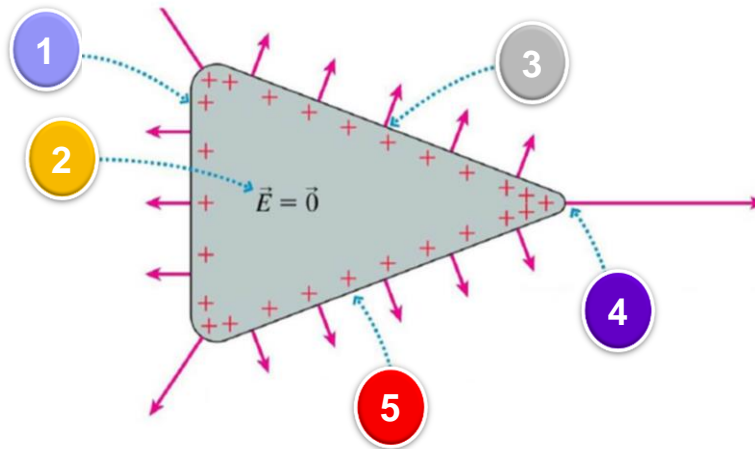
o campo elétrico é mais intenso junto à superfícies de raio menor



Torniquete elétrico → vento elétrico

- 4 A densidade superficial de cargas e a intensidade do campo elétrico são maiores nas pontas (“poder das pontas”)

## Condutores em equilíbrio eletrostático



- 5 O condutor inteiro está no mesmo potencial.





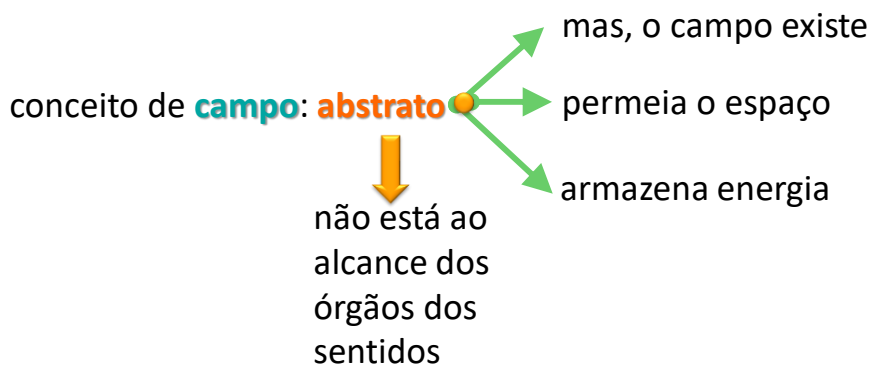
# Campo Elétrico

## *visualização*

## Campo Elétrico

ideia de **campo**:

implementa o conceito de **ação à distância**



## Campo Elétrico

**campo:**

representado por uma função  $F$

é uma função de até quatro variáveis

esta função **campo:** três variáveis representam o ponto do espaço  $(x, y, z)$

uma variável representam o tempo

esta função **campo:**  $F = F(x, y, z, t)$

## Campo Elétrico

**campo:**

representado por uma função

esta função **campo** pode representar um campo escalar:  $V(x, y, z, t)$

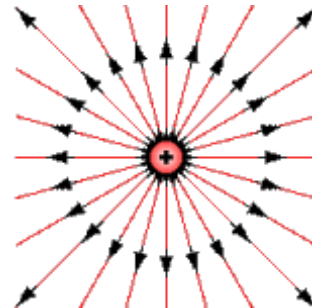
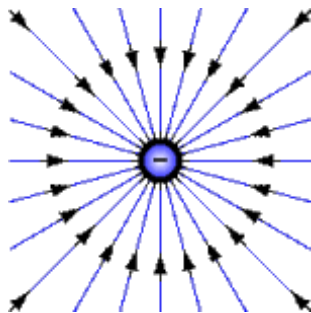
pode representar um campo vetorial:  $\vec{E}(x, y, z, t)$

## Campo Elétrico

carga elétrica  $q$  (em repouso):  
gera campo elétrico  $\vec{E}$

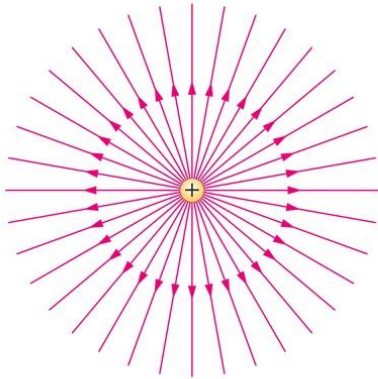
carga elétrica  $q$  (em movimento):  
gera campo magnético  $\vec{B}$

## Campo Elétrico: Cargas isoladas

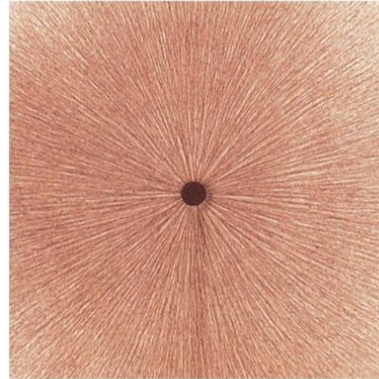


o vetor campo elétrico  $\vec{E}$  é sempre tangente às linhas de campo

## Campo Eléctrico: Cargas isoladas

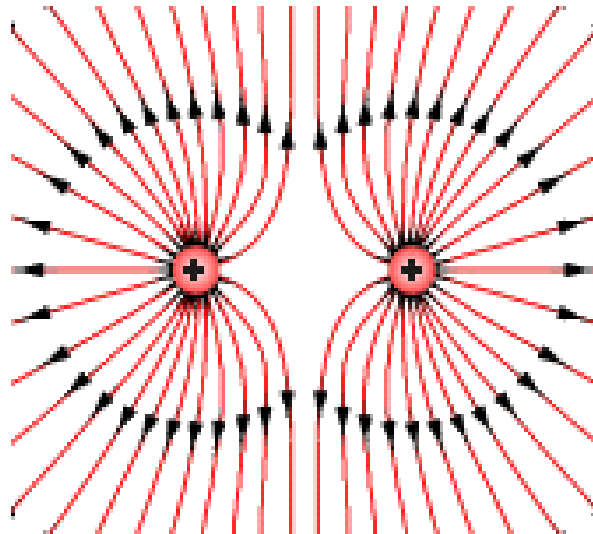


(a)



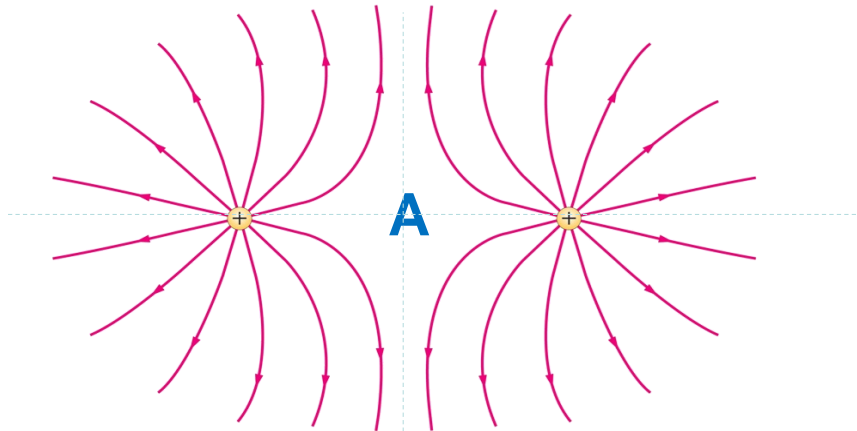
(b)

## Campo Eléctrico: Cargas iguales próximas

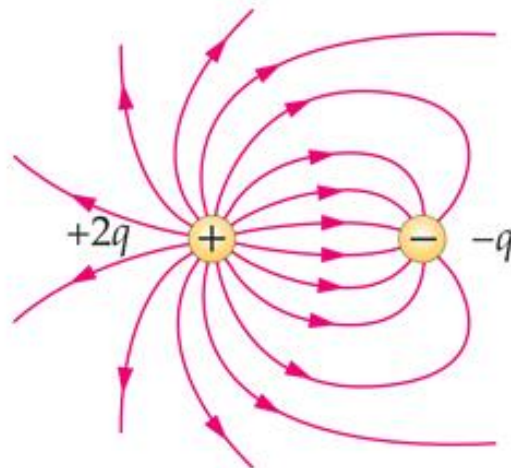


## Campo Elétrico: Cargas iguais próximas

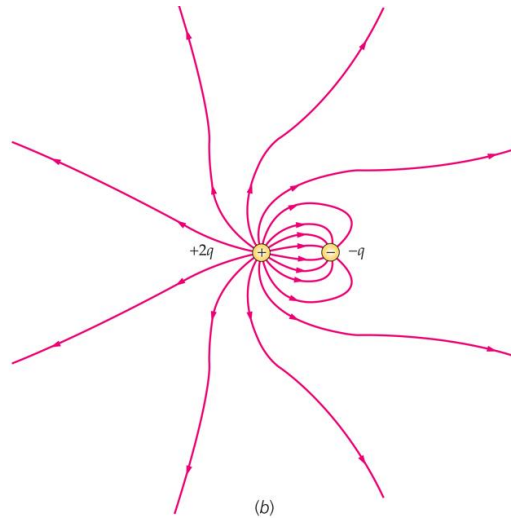
o que acontece com uma *carga de prova*  $q_0$  colocada no ponto **A**?



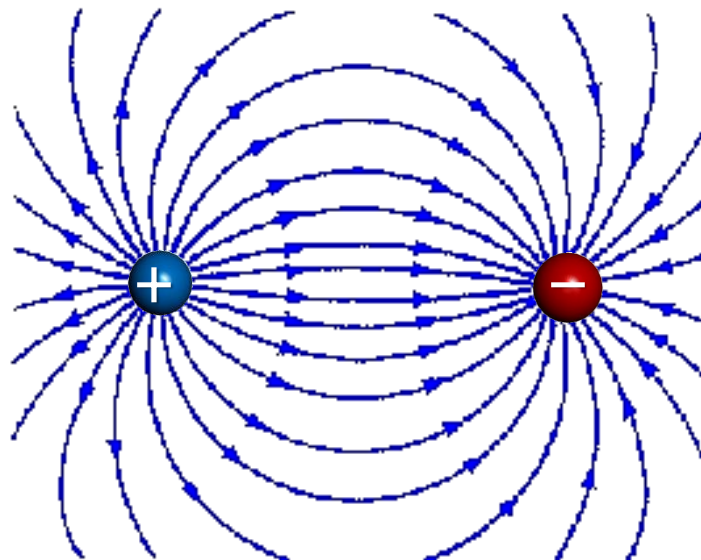
## Campo Elétrico: Sinal $\neq$ ; Carga $\neq$



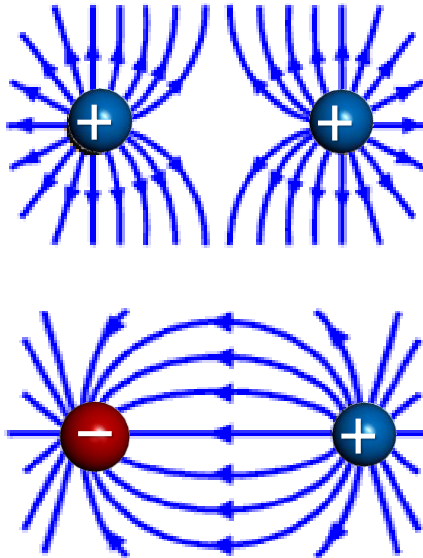
## Campo Eléctrico: Sinal $\neq$ ; Carga $\neq$



## Campo Eléctrico: Dipolo Eléctrico



## Campo Elétrico: 2 Cargas próximas



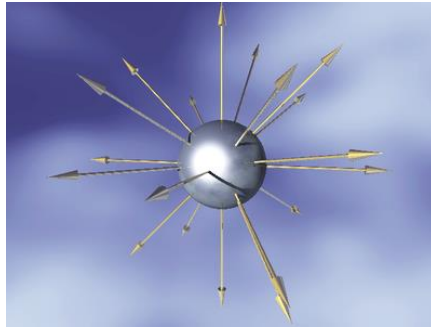
## Campo Elétrico $\vec{E}$

Os quatro modelos básicos de campo elétrico são:

- $\vec{E}$  de uma carga puntiforme  $\oplus$  } *distribuição pontual de cargas*
  - $\vec{E}$  de um fio carregado infinitamente longo
  - $\vec{E}$  de um plano carregado infinitamente extenso
  - $\vec{E}$  de uma esfera carregada
- } *distribuição contínua de cargas*

## Campo Elétrico $\vec{E}$

- $\vec{E}$  de uma carga puntiforme  $\oplus$  } *distribuição pontual de cargas*



3D

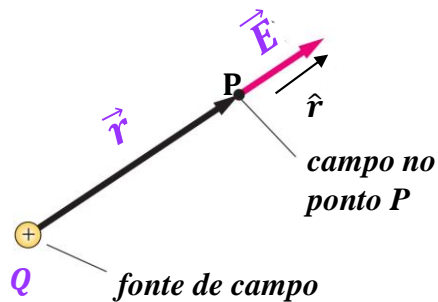
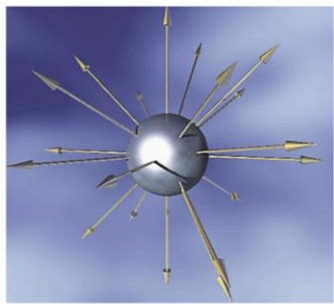
$$\vec{E} = \frac{kq}{r^2} \hat{r}$$

*campo elétrico no ponto P*

## campo elétrico $\vec{E}$

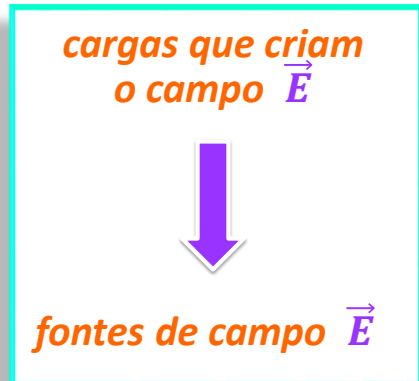
*carga Q que cria o campo  $\vec{E}$*

$$\mathbf{E} = k \frac{Q}{r^2} \quad \longrightarrow \quad \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$$





## campo elétrico $\vec{E}$



## valores de campo elétrico $\vec{E}$

valores típicos de $\vec{E}$	intensidade do campo $E$ (N/C)
interior de um condutor	$10^{-3} - 10^{-1}$
próximo à superfície da Terra	$10^2 - 10^4$
próximo a objetos carregados por atrito	$10^3 - 10^6$
ruptura dielétrica do ar produzindo centelha	$3 \times 10^6$
interior de um átomo	$10^{11}$

## valores de campo elétrico $\vec{E}$

valores típicos de $\vec{E}$	intensidade do campo $E$ (N/C)
ruptura dielétrica do ar produzindo centelha	$3 \times 10^6$

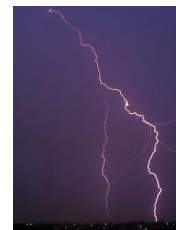
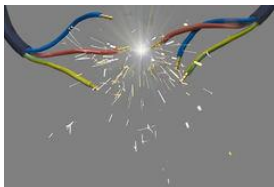
A **rigidez dielétrica** de um certo material é um valor limite de campo elétrico  $\vec{E}$  aplicado sobre a espessura do material (kV/mm), sendo que, a partir deste valor, os átomos que compõem o material se ionizam e o material dielétrico deixa de funcionar como um isolante.

$$E = 3 \times 10^6 \text{ N/C}$$

## valores de campo elétrico $\vec{E}$

valores típicos de $\vec{E}$	intensidade do campo $E$ (N/C)
ruptura dielétrica do ar produzindo centelha	$3 \times 10^6$

o ar é isolante, mas quando o campo elétrico  $E = 3 \times 10^6 \text{ N/C}$  o ar se torna condutor



## Campo Elétrico $\vec{E}$

- $\vec{E}$  de uma carga puntiforme  } *distribuição pontual de cargas*



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

*campo elétrico no ponto P*

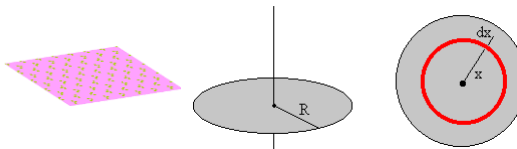
## Modelos & cálculos de campo elétrico $\vec{E}$

➔ *distribuições contínuas de carga*

- *unidimensionais*



- *bidimensionais*



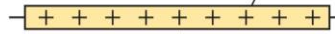
- *tridimensionais*



## densidade de carga elétrica

→ distribuições contínuas de cargas

- unidimensionais



$$\lambda = \frac{Q}{L}$$

$\lambda \rightarrow$  densidade linear de carga

$$[\lambda] = \frac{[C]}{[m]}$$

## densidade de carga elétrica

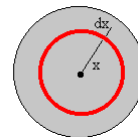
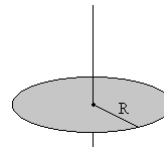
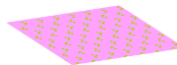
→ distribuições contínuas de cargas

- bidimensionais

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

$\sigma \rightarrow$  densidade superficial de carga

$$[\sigma] = \frac{[C]}{[m^2]}$$



## densidade de carga elétrica

### → distribuições contínuas de cargas

- tridimensionais  $\rho = \frac{Q}{V}$

$\rho \rightarrow$  densidade volumétrica de carga

$$[\rho] = \frac{[C]}{[m^3]}$$



## densidade de carga elétrica

### → distribuições contínuas de cargas

- unidimensionais  $\lambda = \frac{Q}{L}$

- bidimensionais  $\sigma = \frac{Q}{A}$

- tridimensionais  $\rho = \frac{Q}{V}$

## Campo Elétrico para distribuições discretas

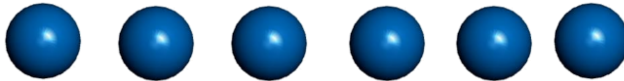
1 carga pontual



• P

$$\vec{E} = k \frac{Q}{r^2} \vec{r}$$

N cargas pontuais

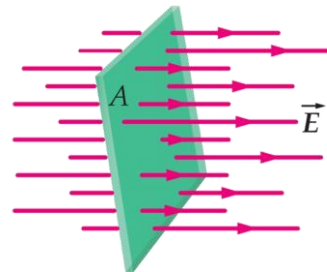


• P

$$\vec{E} = \sum_n \vec{E}_n$$

## Campo Elétrico para distribuições contínuas

distribuição contínua de cargas



$$\vec{E} = \int k \frac{dq}{r^2} \vec{r}$$

## Cálculos de Campo elétrico



a fonte de cargas?

pontual? extensa?

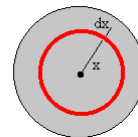
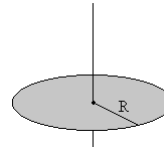
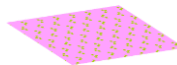
o ponto P onde  
queremos calcular o  
campo?

## Distribuição de cargas em superfícies

- *bidimensionais*  $\sigma = \frac{Q}{A}$

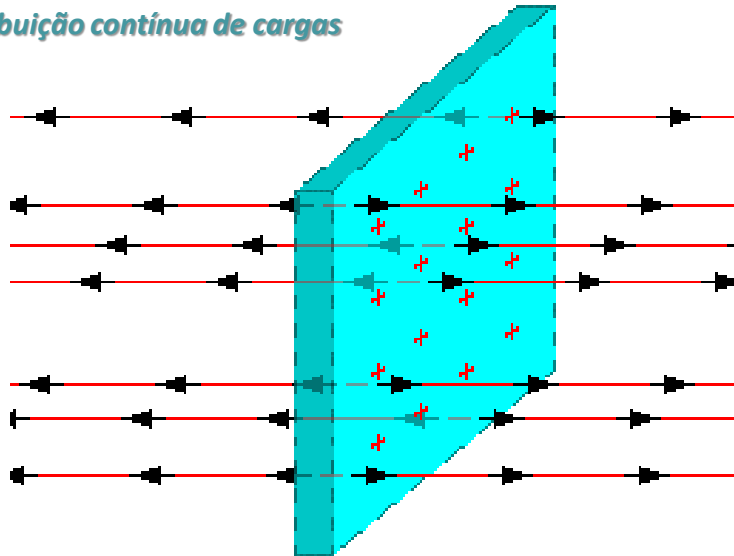
$\sigma \rightarrow$  densidade superficial de carga

$$[\sigma] = \frac{[C]}{[m^2]}$$



## Campo Elétrico: 1 Placa carregada

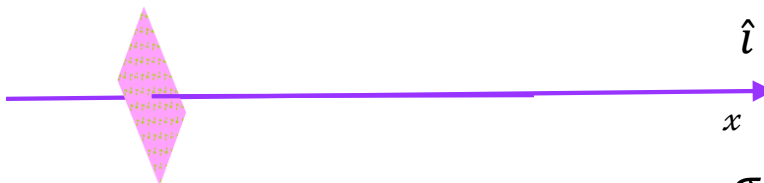
*distribuição contínua de cargas*



## carga distribuída ao longo de um plano infinito

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

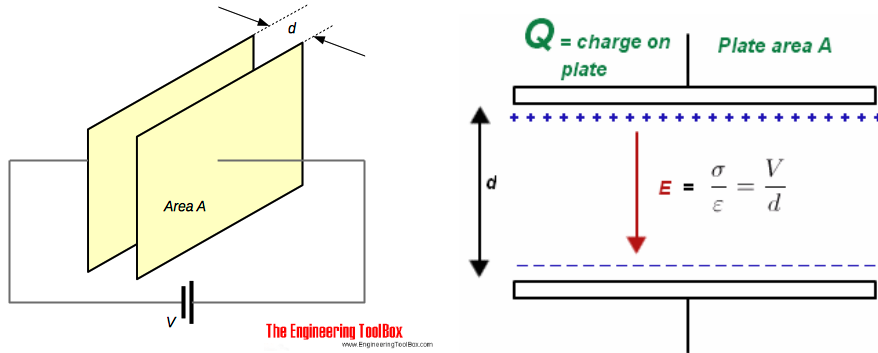
$\sigma \rightarrow$  densidade superficial de carga



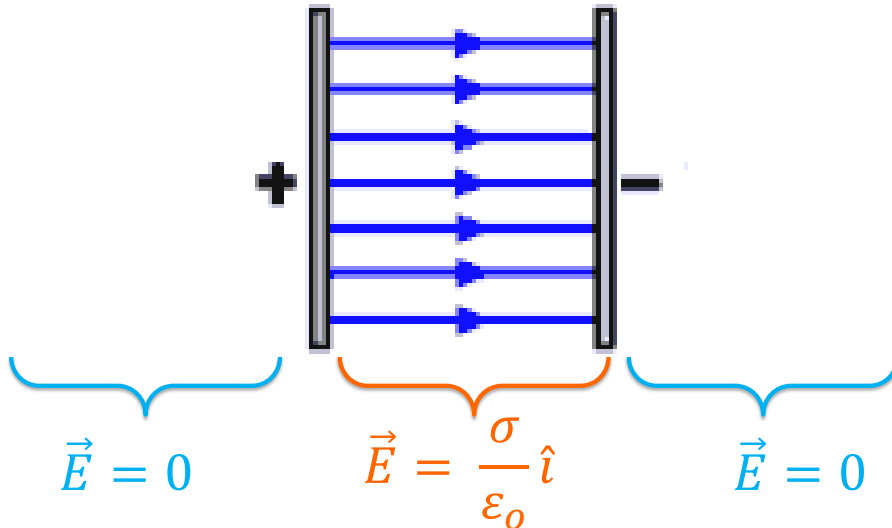
$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{i}$$



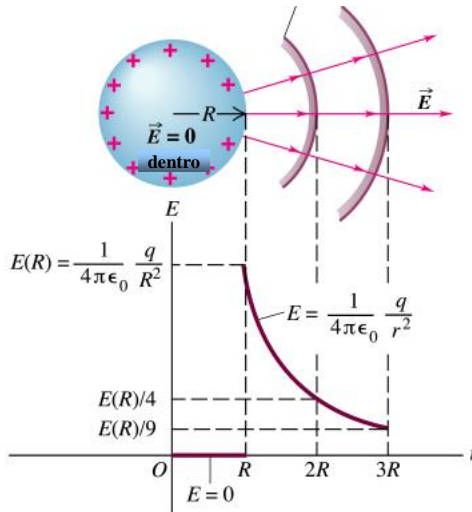
## capacitor campo entre duas placas paralelas carregadas



## Campo Elétrico: 2 Placas carregadas



## Aplicações da Lei de Gauss esfera condutora uniformemente carregada



$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

## Aplicações da Lei de Gauss esfera condutora × esfera isolante



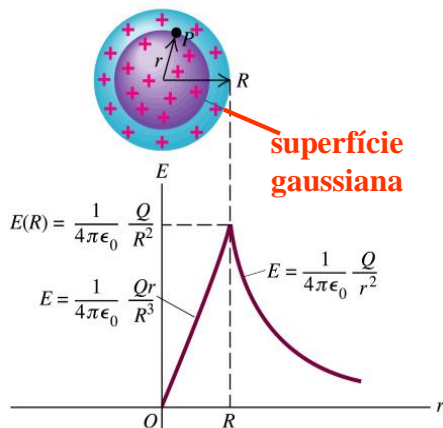
esfera condutora



esfera isolante

## Aplicações da Lei de Gauss

### campo de uma esfera *isolante* uniforme carregada



raio da esfera: R  
raio da superfície gaussiana: r

esferas concêntricas

se  $r > R$   
densidade volumétrica de carga:

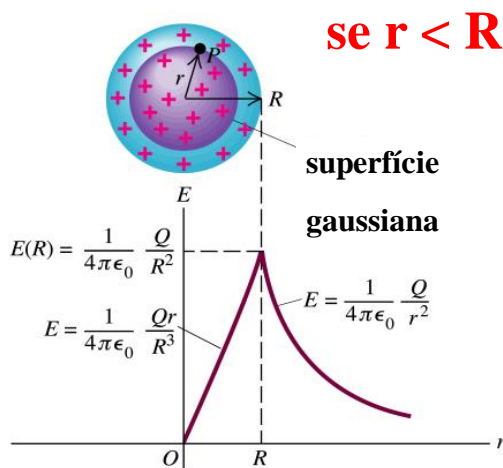
carga total da esfera

$$\rho = \frac{Q}{V} \qquad \rho = \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3}$$

volume total da esfera

## Aplicações da Lei de Gauss

### campo de uma esfera *isolante* uniforme carregada



$Q_{\text{dentro}}$   $\equiv$  carga dentro da superfície gaussiana

$$Q_{\text{dentro}} = \rho V_{\text{dentro}}$$

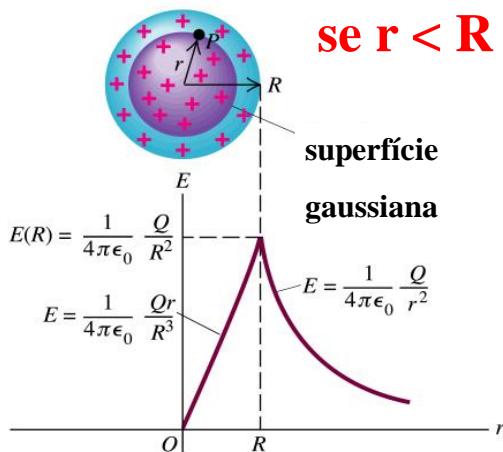
$$Q_{\text{dentro}} = \left( \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3} \right) \left( \frac{4}{3}\pi r^3 \right)$$

$$Q_{\text{dentro}} = \left( \frac{Q}{R^3} \right) (r^3)$$

$$Q_{\text{dentro}} = \frac{r^3}{R^3} Q$$

## Aplicações da Lei de Gauss

### campo de uma esfera *isolante* uniforme carregada



**se  $r < R$**  usando a Lei de Gauss:

$$\Phi_E = (4\pi r^2)E$$

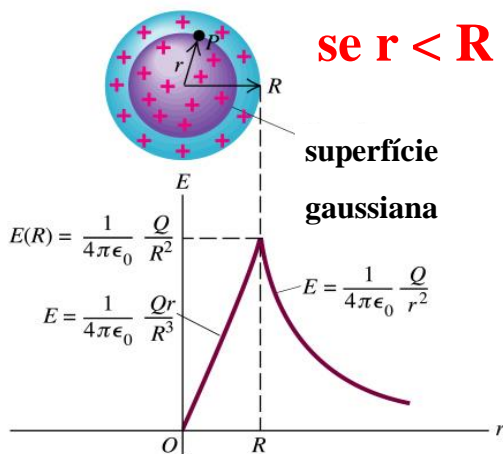
$$(4\pi r^2)E = \frac{r^3}{R^3} \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{r}{R^3}$$

campo no interior da esfera uniformemente carregada ( $r < R$ )

## Aplicações da Lei de Gauss

### campo de uma esfera *isolante* uniforme carregada



**se  $r < R$**

**se  $r > R$**

Q dentro = Q

usando a Lei de Gauss:

$$\Phi_E = (4\pi r^2)E$$

$$(4\pi r^2)E = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

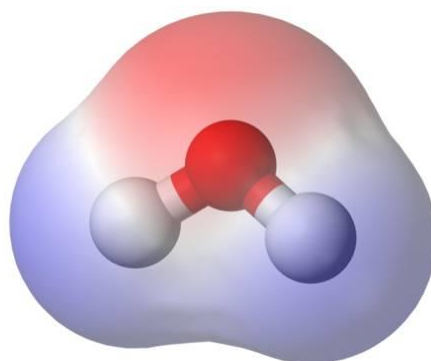
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$$

campo no exterior da esfera uniformemente carregada ( $r > R$ )



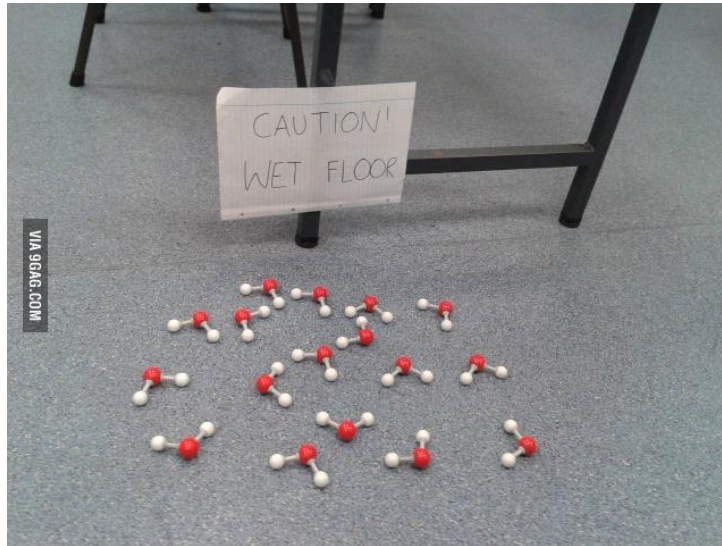
## Dipolo Elétrico

### Um dos dipolos mais conhecidos



água

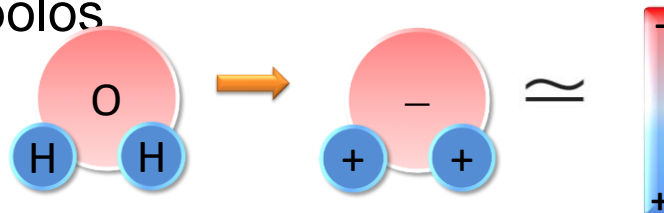
## Água: um dos dipolos mais conhecidos



## Dipolo Elétrico

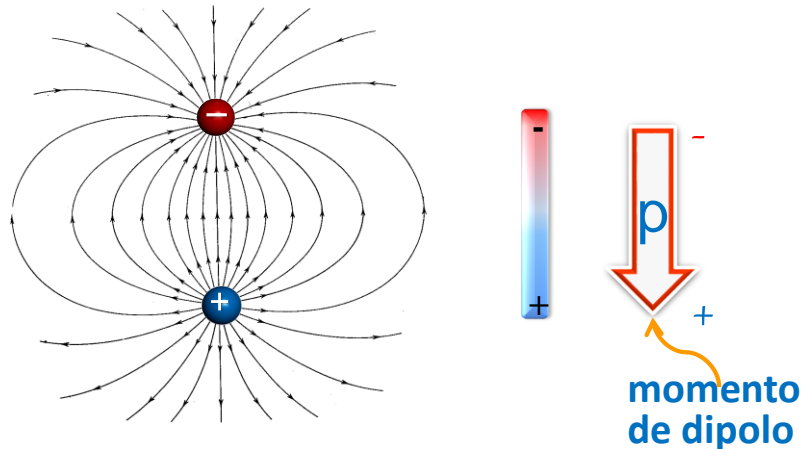
um par de cargas iguais e opostas

-as moléculas podem ser modeladas aproximadamente como dipolos



## O momento de dipolo elétrico $\vec{p}$

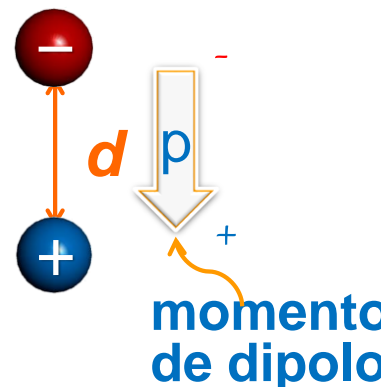
um par de cargas iguais e opostas



## O momento de dipolo elétrico $\vec{p}$

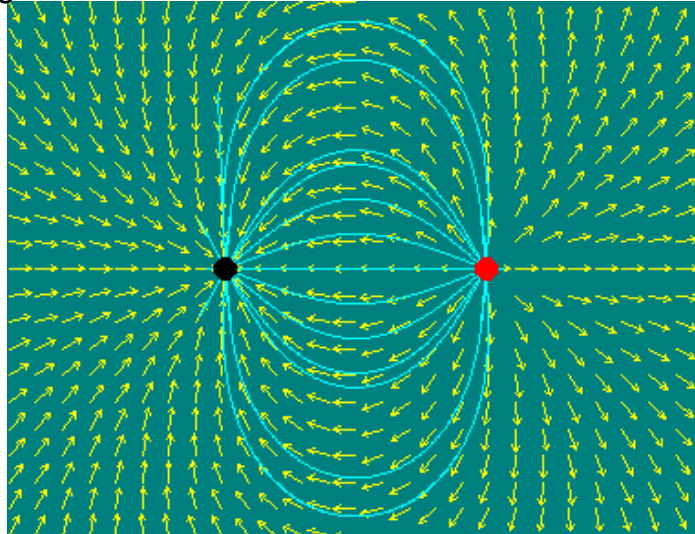
Um sistema formado de duas cargas elétricas de valores absolutos iguais e de sinais opostos ( $+q$  e  $-q$ ), separadas por uma distância  $d$ , geram um dipolo elétrico.

$$\vec{p} = q \vec{d}$$



## O momento de dipolo elétrico $\vec{p}$

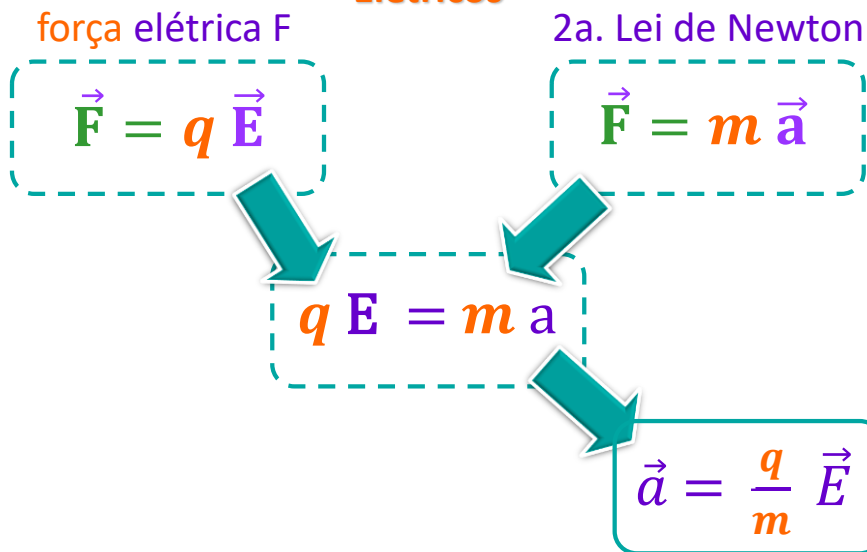
o vetor campo elétrico  $\vec{E}$  é sempre tangente às linhas de campo



## Movimentos de cargas em Campo Elétrico




## Movimentos de Cargas Puntiformes em Campos Elétricos

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

## Movimentos de Cargas Puntiformes em Campos Elétricos

uma carga  $q$ , de massa  $m$ ,  
que experimenta um campo  $\vec{E}$   
(criado por *outra carga* ou *sistema de cargas*)  
sofre aceleração  $\vec{a}$


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



## Movimentos de Cargas Puntiformes em Campos Elétricos

aceleração  $\vec{a}$  & campo  $\vec{E}$  tem mesma direção

- se  $q > 0$ , tem mesmo sentido
- se  $q < 0$ , tem sentidos opostos


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



## Moléculas Apolares & Polares em Campo Elétrico

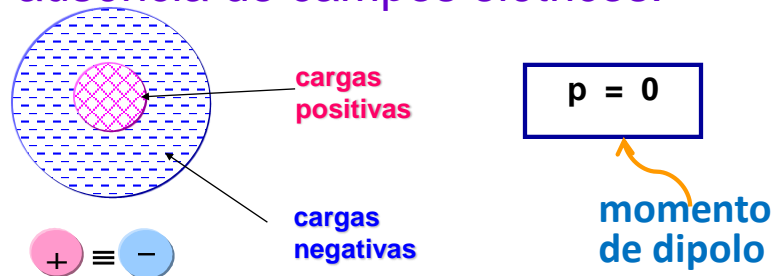
Os átomos e moléculas que são eletricamente neutros,  
são afetados pela presença de campos elétricos.



Como isso acontece?

## Molécula Apolar (ou não-polar)

**átomo ou molécula apolar:** o **centro das cargas positivas** coincide com o **centro das cargas negativas** na ausência de campos elétricos.



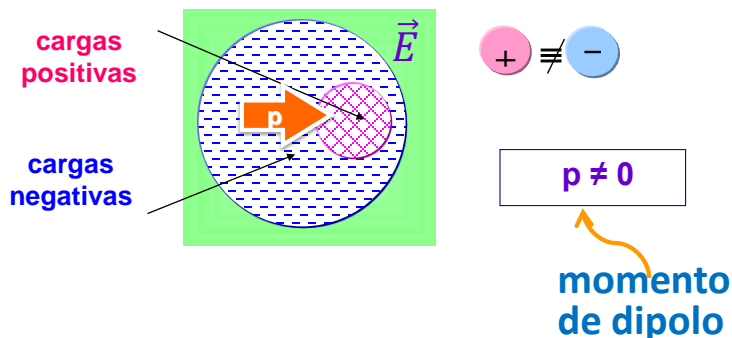
## Molécula Apolar (ou não-polar)

molécula apolar na presença de **campo elétrico**:

⇒ **centro das cargas positivas**  $\neq$  **centro das cargas negativas**

⇒ um dipolo induzido (orientado de - para +)

⇒  $p \neq 0$



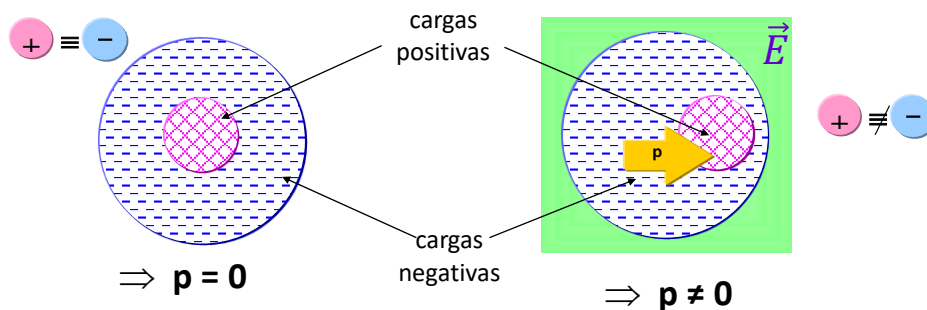
## Molécula Apolar (ou não-polar)

**molécula apolar**

o centro de cargas positivas (núcleo) coincide com o centro de cargas negativas (nuvem eletrônica).

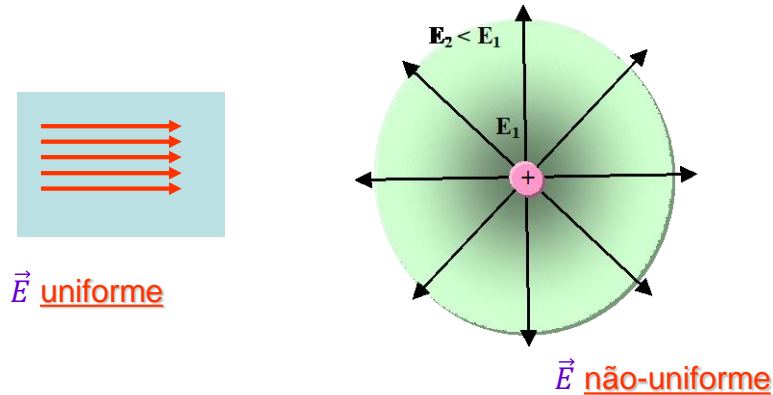
**dipolo induzido**

o centro de cargas positivas (núcleo) não coincide com o centro de cargas negativas (nuvem eletrônica).



## Molécula Apolar (ou não-polar)

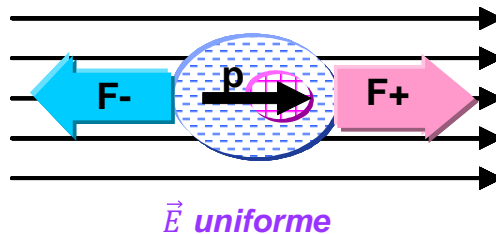
Uma molécula apolar pode ser colocada em um campo elétrico uniforme ou em um campo elétrico não-uniforme.



## Molécula Apolar em $\vec{E}$ uniforme

aparece o momento do dipolo induzido mas a força resultante é nula

$$F_{\text{res}} = F_+ - F_- = 0$$

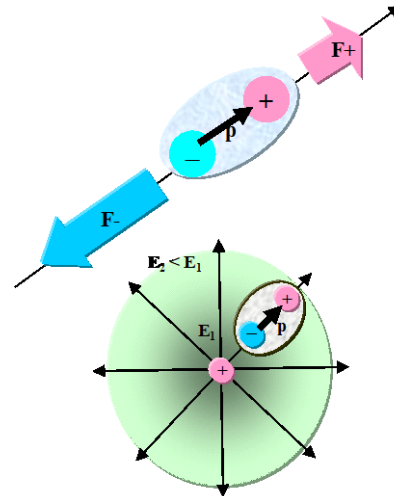


## Molécula Apolar em $\vec{E}$ não-uniforme

aparece o momento do dipolo induzido e a força resultante é diferente de zero.

$$F_{res} = F_- - F_+ \neq 0$$

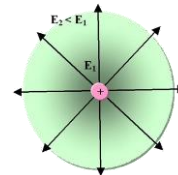
$$\begin{aligned} F_- &= q E_1 \\ F_+ &= q E_2 \\ E_1 &> E_2 \\ F_- > F_+ &\Rightarrow F_- - F_+ \neq 0 \end{aligned}$$



## Molécula Apolar



$\vec{E}$  uniforme



$\vec{E}$  não-uniforme

$$\vec{F}_{resultante} = 0$$

$$\vec{F}_{resultante} \neq 0$$

$$\vec{p} \neq 0$$

$$\vec{p} \neq 0$$

dipolo induzido

## Molécula Polar

*mesmo na ausência de campo elétrico:*

→ *centro de cargas positivas*  $\neq$

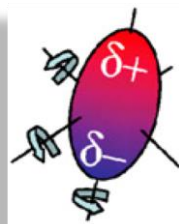
*centro das cargas negativas*

→ molécula é um dipolo chamado de **dipolo permanente**

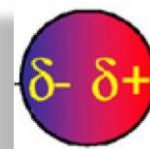
## Em Física 2... sobre interações....



íons



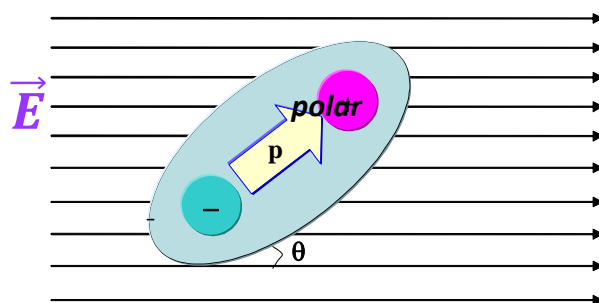
dipolo permanente



dipolo induzido

## Molécula Polar

⇒ o dipolo permanente tem as cargas separadas

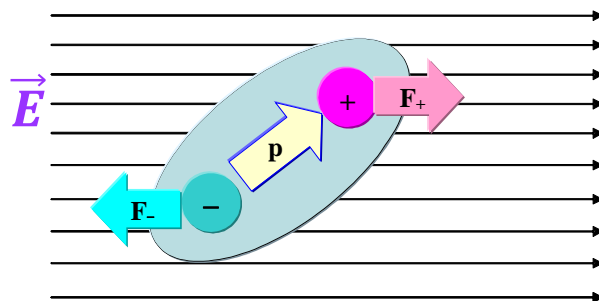


*molécula polar = dipolo permanente*  
*Campo elétrico  $\vec{E}$  uniforme*

## Molécula Polar

⇒ sobre a carga positiva atua uma força  $F_+$

⇒ sobre a carga negativa atua uma força  $F_-$

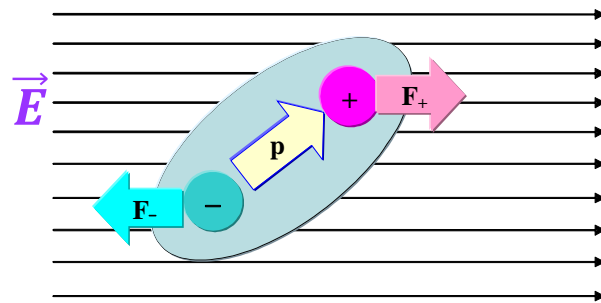


*molécula polar = dipolo permanente*  
*Campo elétrico  $\vec{E}$  uniforme*



## Molécula Polar

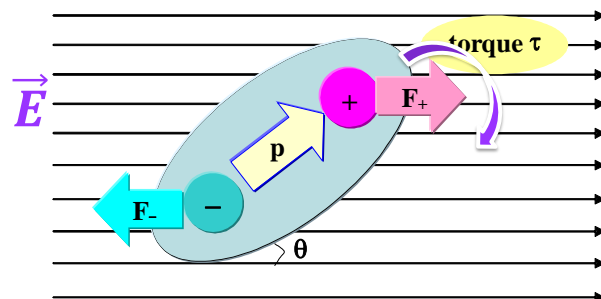
⇒ as forças atuam em sentidos opostos  $\vec{F} = q \vec{E}$



*molécula polar = dipolo permanente  
campo elétrico  $E$  uniforme*

## Molécula Polar

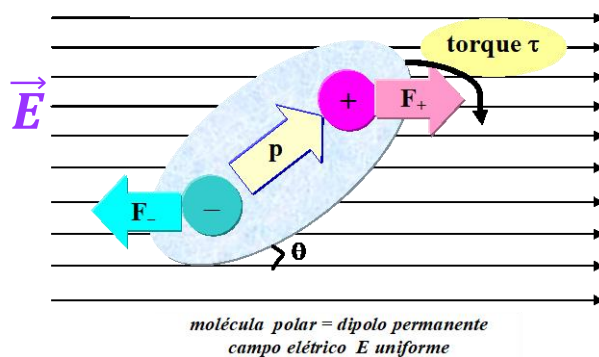
⇒ aparece o torque  $\tau$



*molécula polar = dipolo permanente  
campo elétrico  $E$  uniforme*

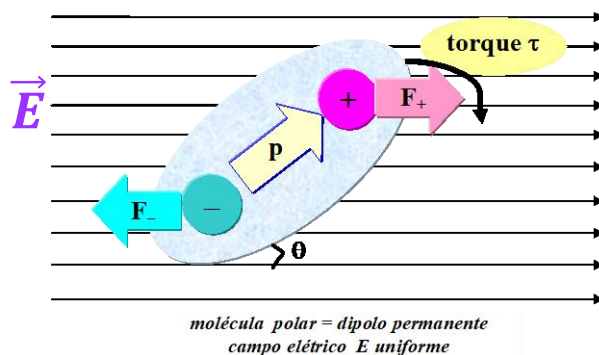
## Molécula Polar

⇒ o torque  $\tau$  faz a molécula girar um ângulo  $\theta$  para ficar alinhada com o campo



## Molécula Polar

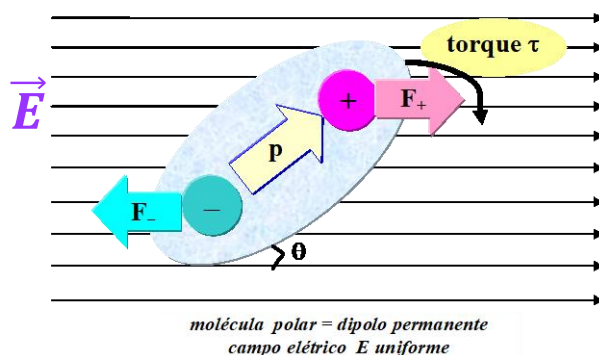
⇒ a resultante das forças é nula.



## Molécula Polar

**dipolo permanente** colocado em  $\vec{E}$  uniforme

⇒ dipolo tende a se alinhar com  $\vec{E}$



## Molécula Polar

O valor do vetor momento de dipolo  $\mathbf{p}$  é dado por

$$\mathbf{p} = q \mathbf{L}$$

momento de dipolo elétrico

- $\mathbf{p}$  → vetor momento de dipolo
- $q$  → valor da carga da molécula
- $\mathbf{L}$  → vetor que descreve a separação das cargas do dipolo na direção do dipolo.
- SI →  $[p] = [C \cdot m]$
- unidade **debye** (D) →  $1 \text{ D} = 3,33564 \times 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$

## Molécula Polar

Em um campo elétrico uniforme, o torque  $\tau$  é dado pelo produto vetorial do momento de dipolo elétrico e o campo elétrico:

$$\tau = p E \sin \theta$$

*torque  $\tau$  em campo elétrico  $E$*

$\theta \rightarrow$  ângulo formado entre o dipolo e o campo elétrico  $E$

SI  $\rightarrow [\tau] = [\text{N} \cdot \text{m}]$

## Molécula Polar

Quando o dipolo gira  $d\theta$  um ângulo  $\theta$ , realiza trabalho  $W$ , dado por:

$$W = -p E \cos \theta$$

*trabalho  $W$  realizado pelo campo elétrico  $E$*

O trabalho é realizado às custas da diminuição da energia potencial  $U$ , o que pode ser representado da seguinte forma:

$$W = -U$$

*trabalho  $W$  realizado = a diminuição da energia potencial  $U$*

## Molécula Polar

$$W = - p E \cos \theta$$

trabalho  $W$  realizado pelo campo elétrico  $E$

$$W = - U$$

trabalho  $W$  realizado = a diminuição da energia potencial  $U$

$$U = p E \cos \theta$$

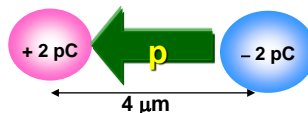
energia potencial de um dipolo elétrico em um campo  $E$

Em um *campo elétrico não-uniforme*, a molécula polar sofre a ação de forças cuja resultante é diferente de zero.

## Exemplo: dipolo

Duas cargas puntiformes  $q_1 = 2 \text{ pC}$  e  $q_2 = -2 \text{ pC}$ , estão separadas por  $4 \text{ }\mu\text{m}$ .

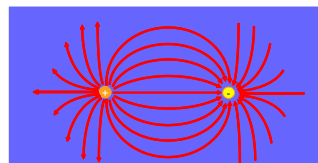
Faça um esquema mostrando o dipolo elétrico e calcule o momento de dipolo do par de cargas.



$$p = q L$$

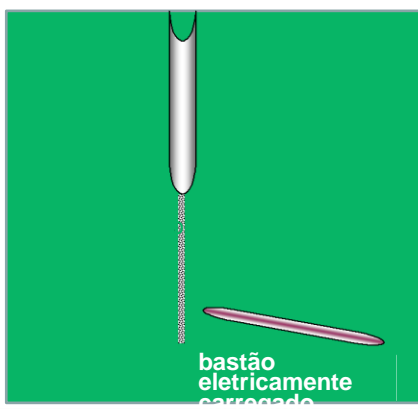
$$p = (2 \times 10^{-12} \text{ C}) \times (4 \times 10^{-6} \text{ m})$$

$$p = 8 \times 10^{-18} \text{ C} \cdot \text{m}$$



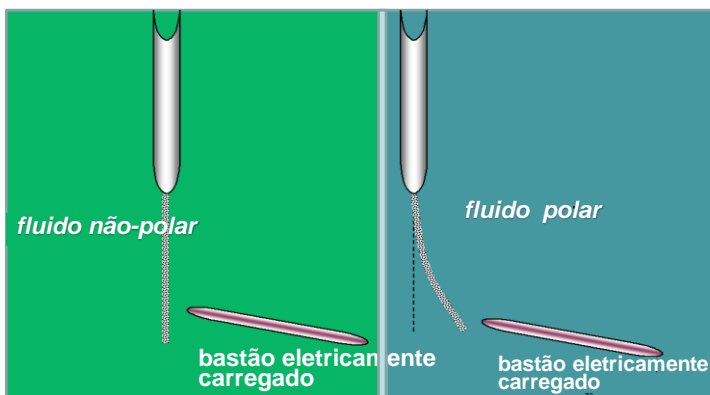
## moléculas polares ou não

- Um simples teste para se verificar se as moléculas presentes em um líquido são polares é verificar se o fluxo do líquido será desviado por um bastão eletricamente carregado, que produz um campo elétrico.



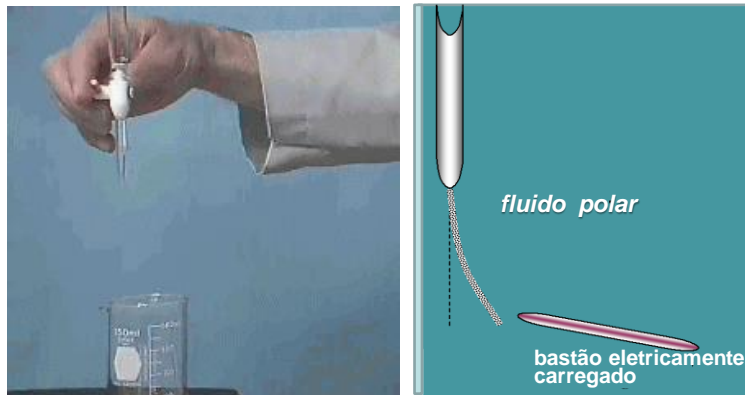
## moléculas polares ou não

- Para se saber se um líquido é ou não composto por moléculas polares deve-se observar o comportamento do fluxo do líquido frente a um bastão eletricamente carregado. Um fluido não-polar (como trans-dicloroetano ou benzeno) não é desviado, mas um fluido polar, como a água, é desviado.



## moléculas polares ou não

- Para se saber se um líquido é ou não composto por moléculas polares deve-se observar o comportamento do fluxo do líquido frente a um bastão eletricamente carregado. Um fluido não-polar (como trans-dicloroetano ou benzeno) não é desviado, mas um fluido polar, como a água, é desviado.

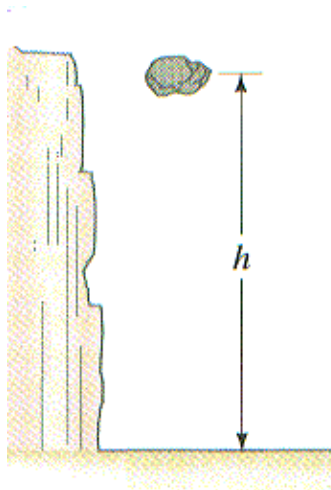


## moléculas

- carga elétrica  $\Rightarrow$  dipolo  $\Rightarrow$  sistema com muitas cargas
- A forma como as cargas estão distribuídas muda a forma do campo elétrico criado por essas cargas ou distribuição de cargas.
- Na maioria dos sistemas ou a distribuição de cargas pode ser tratada como se as cargas fossem isoladas (íons em um meio diluído), ou como no caso de uma membrana, onde se considera uma distribuição linear, como a formada entre as placas de um capacitor, que cria um campo elétrico constante e homogêneo.

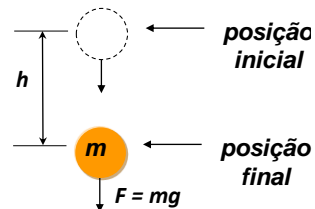
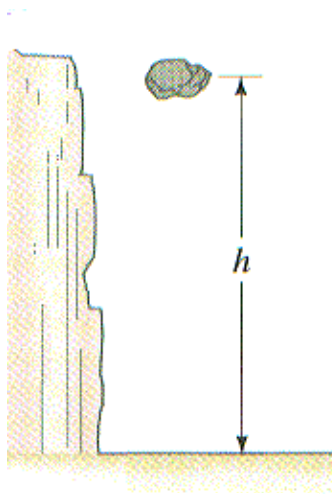


## Energia Potencial U



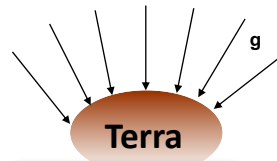
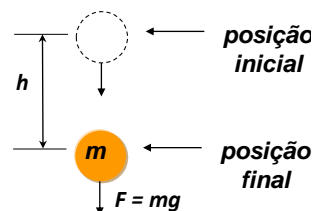
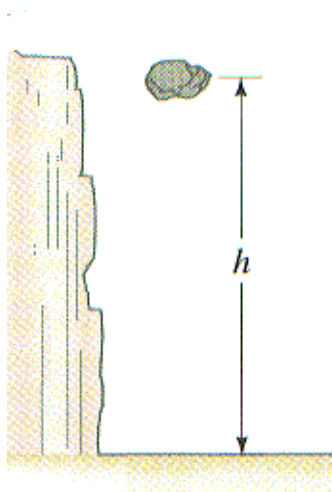


## Energia Potencial U



## gravitacional

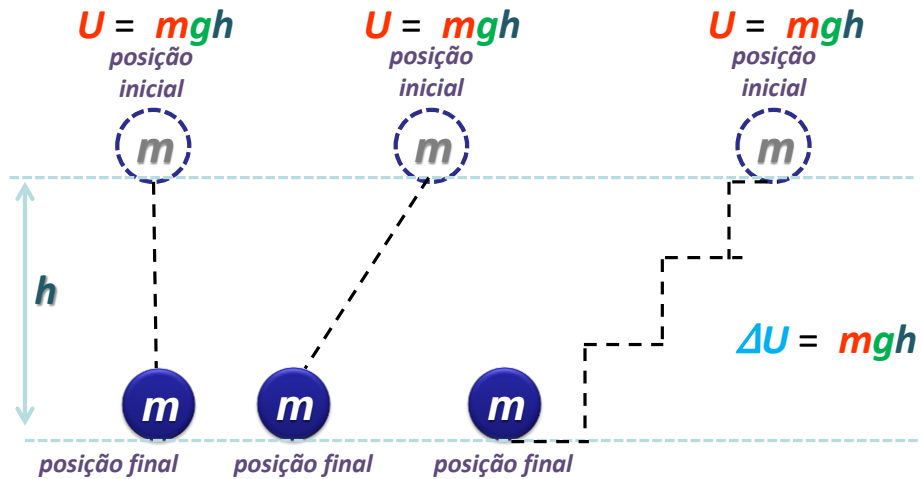
## Energia Potencial U



$$\Delta U = mgh$$

energia potencial  
gravitacional

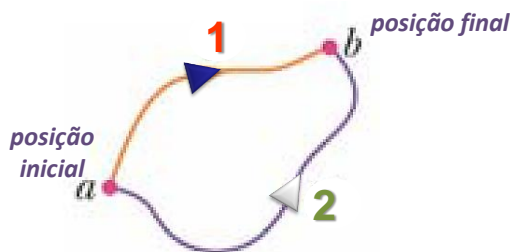
## Força Conservativa e Energia Potencial Gravitacional U



A força gravitacional e a força elástica são exemplos de forças conservativas.

A energia potencial é a energia associada à configuração de um sistema submetido à ação de uma força conservativa.

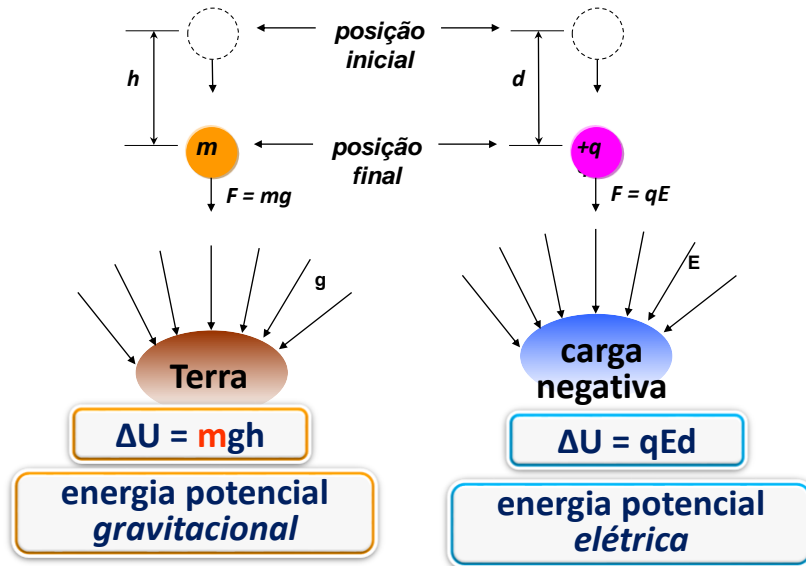
## Trabalho (W) de Força Conservativa



O trabalho  $W$  realizado por uma força conservativa **não depende da trajetória** entre os pontos  $a$  e  $b$  (estados inicial e final).

$$W_{a \rightarrow b, 1} = W_{a \rightarrow b, 2}$$

## Energia Potencial Elétrica



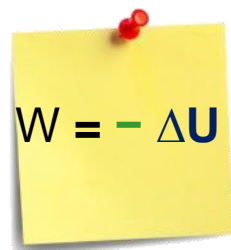
## Trabalho W

$$W = -\Delta U$$

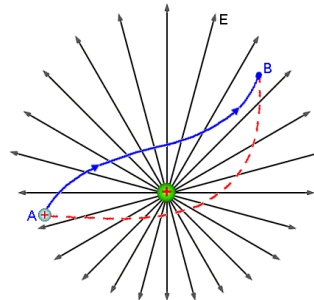
$$\rightarrow W = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

$$\rightarrow W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{d}$$

$$\rightarrow W = \int_i^f \vec{F} \cdot d\vec{l}$$



força elétrica  
 ↓  
 força conservativa  
 ↓  
 associa-se uma energia potencial U



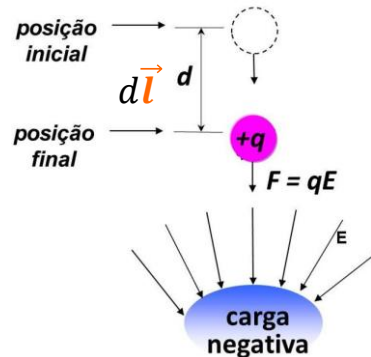
## Diferença de Potencial

força conservativa  $\vec{F}$

$d\vec{l} \rightarrow$  deslocamento

$$W = \int_i^f \vec{F} \cdot d\vec{l}$$

$$W = -dU$$



$$dU = -\vec{F} \cdot d\vec{l}$$

## Diferença de Potencial

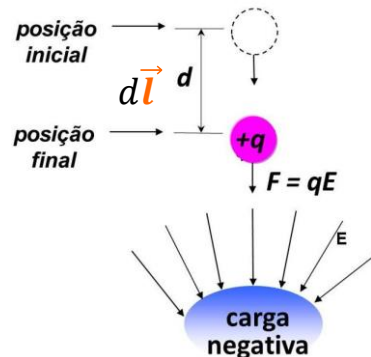
força conservativa  $\vec{F}$

$d\vec{l} \rightarrow$  deslocamento

$$dU = -\vec{F} \cdot d\vec{l}$$

força elétrica  $\vec{F} = q_0 \vec{E}$

$$dU = -q_0 \vec{E} \cdot d\vec{l}$$



define-se: **diferença de potencial ddp:**  $dV = \frac{dU}{q_0}$

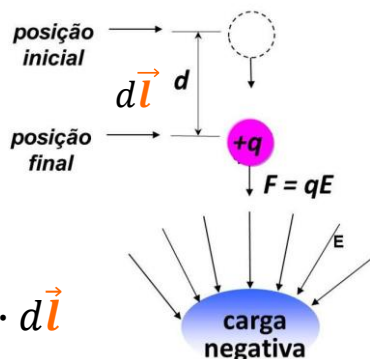
## Diferença de Potencial

$$dU = -\vec{F} \cdot d\vec{l}$$

$$dU = -q_0 \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$ddp: \quad dV = \frac{dU}{q_0} = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$ddp: \quad dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$$



## Diferença de Potencial

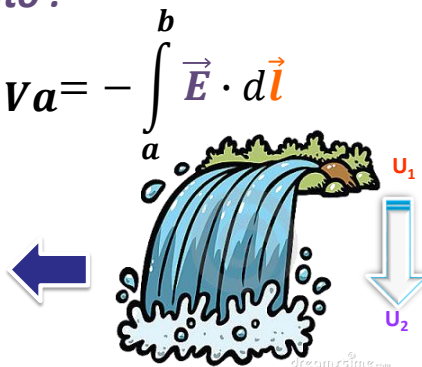
diferença de potencial ddp:

$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$$

para um deslocamento finito :

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} = Vb - Va = - \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

cargas se deslocam para :  
 $U$  mais baixo  
 $V$  mais baixo



## Diferença de Potencial

diferença de potencial ddp:  $dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$

$$dV = \frac{dU}{q_0} = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$$

para um deslocamento finito :

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} = V_b - V_a = - \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$V_b - V_a = - W_{\text{elétrico}}$$

(sobre a carga de prova)

## Potencial Elétrico V & Energia Potencial U

$$U = q_0 V$$

escalar

energia potencial

potencial elétrico

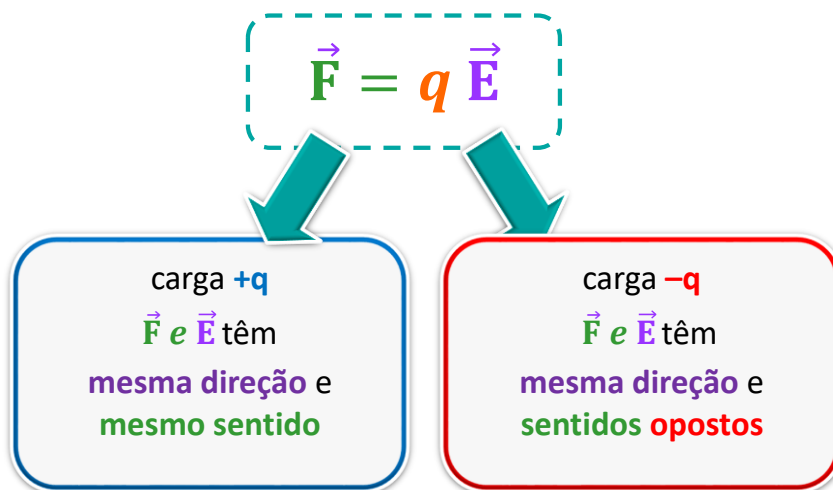
$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} \quad [\Delta V] = \left[ \frac{\text{joule}}{\text{coulomb}} \right] = \left[ \frac{\text{J}}{\text{C}} \right]$$

$$[\Delta V] = \text{volt (V)}$$

## cargas se deslocam em região de $\vec{E}$

A partícula se desloca no sentido do potencial elétrico **MAIS ALTO** para a região de potencial elétrico **mais baixo**, independente da **carga** da partícula ser **positiva** ou **negativa**.

## Movimento de Cargas e Potencial Elétrico V



## Movimento de Cargas e Potencial Elétrico V

$$W = F \Delta x$$

$$W = \Delta K$$

$$E_{\text{mecânica}} = K + U$$

Se a energia mecânica se conserva  $\Rightarrow \Delta E_{\text{mecânica}} = 0$

$$\Delta E_{\text{mecânica}} = \Delta K + \Delta U = 0$$

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

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

depende da velocidade  
da partícula

depende da posição  
da partícula

## Movimento de Cargas em região do espaço onde há $\vec{E}$

partícula parte da posição  $x_1$  e vai até a posição  $x_2$ ,

$$x_2 > x_1$$

o espaço percorrido  $\Rightarrow \Delta x = x_2 - x_1$

$$\Delta U = -W = -q E \Delta x$$



$q > 0$  desloca-se na direção das linhas de campo  $\vec{E}$

$$\Delta U = -W = -q E \Delta x$$

$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad x_2 > x_1$$

para uma carga  $q > 0$

$$\Delta U < 0 \Rightarrow W > 0$$

se carga positiva se desloca no sentido das linhas de campo  $\Rightarrow$

$$\Delta U < 0 \Rightarrow U_2 - U_1 < 0 \Rightarrow U_1 > U_2$$

$q > 0$  desloca-se na direção das linhas de campo  $\vec{E}$

se carga positiva se desloca no sentido das linhas de campo  $\Rightarrow$

$$\Delta U < 0 \Rightarrow U_2 - U_1 < 0 \Rightarrow U_1 > U_2$$

a carga se desloca de uma região de energia potencial  $U_1$  MAIS ALTA a uma região de energia potencial  $U_2$  mais baixa.

$q > 0$  desloca-se na direção das linhas de campo  $\vec{E}$

se carga positiva se desloca no sentido das linhas de campo  $\Rightarrow$

$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad x_2 > x_1$$

$$\Delta U < 0 \Rightarrow U_2 - U_1 < 0 \Rightarrow U_1 > U_2$$

$$\Delta V = V_2 - V_1 = - \frac{\Delta W}{q_0}$$

$$W = q E \Delta x$$

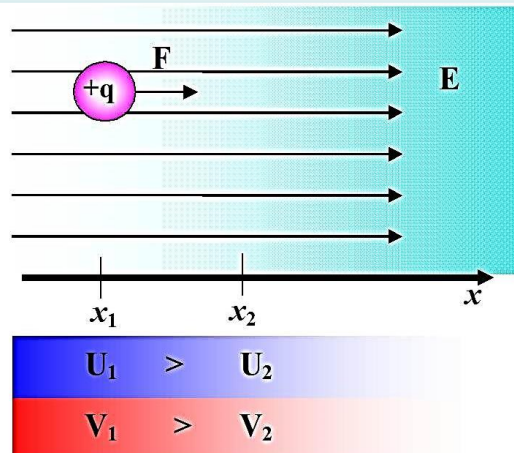
como  $q > 0$  e  $W > 0 \Rightarrow V_2 - V_1 < 0 \Rightarrow V_2 < V_1$



a carga positiva se desloca  
do potencial elétrico  $V_1$  **MAIS ALTO**,  
para potencial elétrico  $V_2$  **mais baixo**.

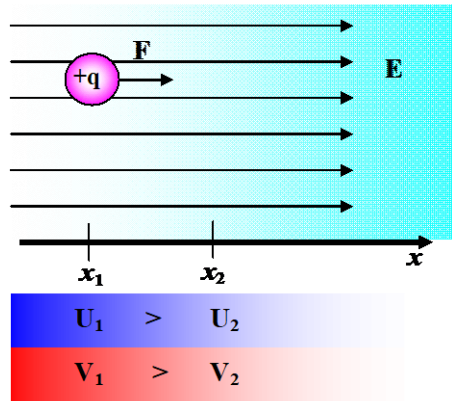
## Linhas de Campo Elétrico

As linhas de campo elétrico apontam na direção dos potenciais elétricos decrescentes



$q > 0$  desloca-se na direção das linhas de campo  $\vec{E}$

quando a carga positiva se deslocam no sentido da linha de campo



$$q > 0$$
$$\Delta U < 0 \Rightarrow W > 0$$
$$U_1 > U_2$$
$$V_1 > V_2$$



$$\Delta U < 0 \Rightarrow U_1 > U_2$$

$q > 0$  desloca-se na direção das linhas de campo  $\vec{E}$

A partícula se desloca no sentido do potencial elétrico **MAIS ALTO** para a região de potencial elétrico **mais baixo**, independente da **carga** da partícula ser **positiva** ou **negativa**.

## Potencial de um Sistema de Cargas Puntuais

$$W = F \Delta x$$

$$F = q E$$

$$E = \frac{kq}{r^2}$$

$$W = \frac{kq}{r} q_0$$

A energia potencial eletrostática do sistema de duas cargas é:

$$V = \frac{kq}{r}$$

$$U = q_0 V$$

## Potencial em um ponto devido à diversas cargas puntiformes

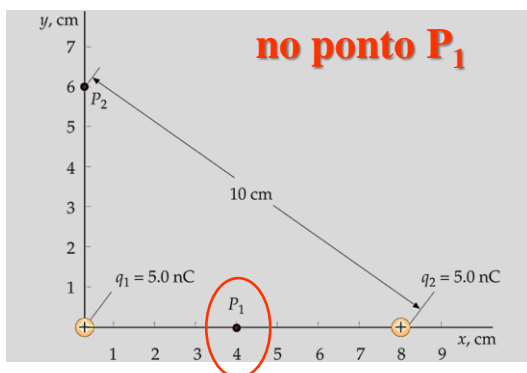
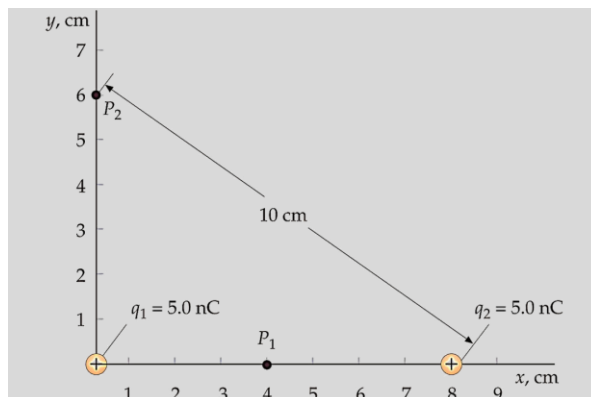
Para diversas **cargas puntiformes** o campo elétrico em um ponto:

$$V = \sum_i \frac{kq_i}{r_i}$$

$r_i$  → distância entre a  $i$ -ésima carga e o ponto P

## Exemplo

Duas cargas puntiformes positivas e iguais, de valor +5nC, estão sobre o eixo dos x, conforme a figura. Determinar o potencial nos pontos  $P_1$  e  $P_2$ .



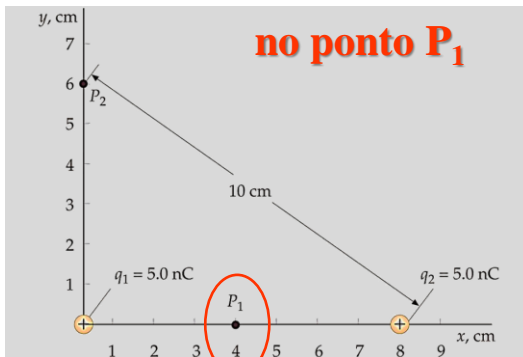
$$V = \sum_i \frac{kq_i}{r_i}$$

$r_1 \rightarrow$  distância entre a carga  $q_1$  e o ponto P

$r_2 \rightarrow$  distância entre a carga  $q_2$  e o ponto P

$$\left. \begin{array}{l} r_1 = 4 \text{ cm} \quad q_1 = 5 \text{ nC} \\ r_2 = 4 \text{ cm} \quad q_2 = 5 \text{ nC} \end{array} \right\} V_1 = V_2 = V$$

$$V = \frac{kq_1}{r_1} + \frac{kq_2}{r_2} = 2 \times \frac{kq}{r}$$

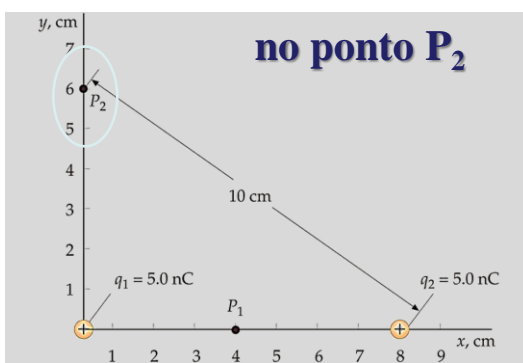


$$V = \sum_i \frac{kq_i}{r_i}$$

$$V = \frac{kq_1}{r_1} + \frac{kq_2}{r_2} = 2 \times \frac{kq}{r}$$

$$V = 2 \times \frac{kq}{r} = 2 \times \frac{(9 \times 10^9 \text{ N}\frac{\text{m}^2}{\text{C}^2})(5,0 \times 10^{-9} \text{ C})}{4 \times 10^{-2} \text{ m}}$$

$$V = 2,250 \text{ kV}$$



$$V = \sum_i \frac{kq_i}{r_i}$$

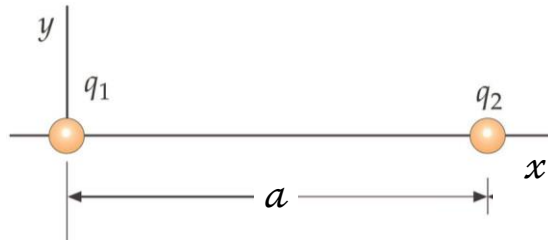
$$\left. \begin{array}{l} r_1 = 6 \text{ cm} \quad q_1 = 5 \text{ nC} \\ r_2 = 10 \text{ cm} \quad q_2 = 5 \text{ nC} \end{array} \right\} V = \frac{kq_1}{r_1} + \frac{kq_2}{r_2}$$

$$V = \frac{(9 \times 10^9 \text{ N}\frac{\text{m}^2}{\text{C}^2})(5,0 \times 10^{-9} \text{ C})}{6 \times 10^{-2} \text{ m}} + \frac{(9 \times 10^9 \text{ N}\frac{\text{m}^2}{\text{C}^2})(5,0 \times 10^{-9} \text{ C})}{10 \times 10^{-2} \text{ m}}$$

$$V = 1,20 \text{ kV}$$

## Exemplo

Uma carga puntiforme  $q_1$  está na origem e uma segunda carga puntiforme  $q_2$  no eixo dos  $x$ , está em  $x = a$ , conforme a figura. Determinar o potencial em qualquer ponto no eixo dos  $x$ .

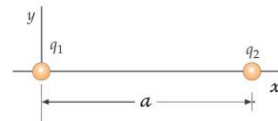


## Exemplo

Uma carga puntiforme  $q_1$  está na origem e uma segunda carga puntiforme  $q_2$  no eixo dos  $x$ , está em  $x = a$ , conforme a figura. Determinar o potencial em qualquer ponto no eixo dos  $x$ .

$$V = V_{q_1} + V_{q_2}$$

$$V = \frac{kq_1}{r_1} + \frac{kq_2}{r_2}$$



$$r_1 = |x|$$

$$r_2 = |x - a|$$

$r_1$  → distância de qualquer ponto no eixo dos  $x$

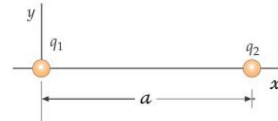
$r_2$  → distância de entre qualquer ponto no eixo dos  $x$  e  $q_2$

## Exemplo

Uma carga puntiforme  $q_1$  está na origem e uma segunda carga puntiforme  $q_2$  no eixo dos  $x$ , está em  $x = a$ , conforme a figura. Determinar o potencial em qualquer ponto no eixo dos  $x$ .

$$V = \frac{kq_1}{r_1} + \frac{kq_2}{r_2}$$

$$V = \frac{kq_1}{|x|} + \frac{kq_2}{|x - a|}$$



$$r_1 = |x|$$

$$r_2 = |x - a|$$

$r_1$  → distância de qualquer ponto no eixo dos  $x$

$r_2$  → distância de entre qualquer ponto no eixo dos  $x$  e  $q_2$

## Exemplo

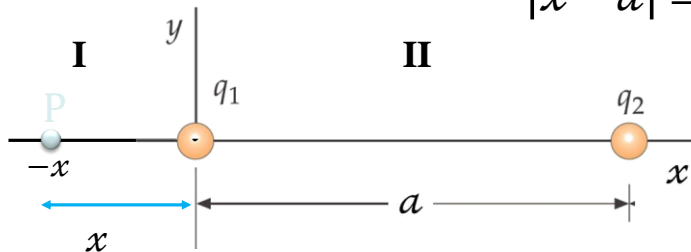
Uma carga puntiforme  $q_1$  está na origem e uma segunda carga puntiforme  $q_2$  no eixo dos  $x$ , está em  $x = a$ , conforme a figura. Determinar o potencial em qualquer ponto no eixo dos  $x$ .

$$V = \frac{kq_1}{|x|} + \frac{kq_2}{|x - a|}$$

região I: P à esquerda das duas cargas

$$x < 0 \rightarrow |x| = -x$$

$$|x - a| = a - x$$





## Exemplo

$$V = \frac{kq_1}{|x|} + \frac{kq_2}{|x-a|}$$

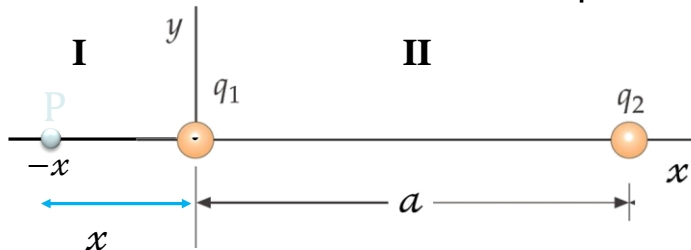
$$V = \frac{kq_1}{-x} + \frac{kq_2}{a-x}$$

$$x < 0$$

região I: P à esquerda das duas cargas

$$x < 0 \rightarrow |x| = -x$$

$$|x-a| = a-x$$



## Exemplo

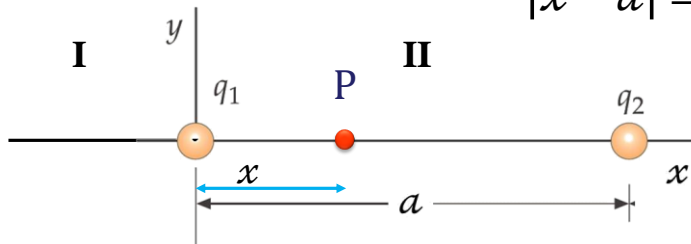
Uma carga puntiforme  $q_1$  está na origem e uma segunda carga puntiforme  $q_2$  no eixo dos  $x$ , está em  $x = a$ , conforme a figura. Determinar o potencial em qualquer ponto no eixo dos  $x$ .

$$V = \frac{kq_1}{|x|} + \frac{kq_2}{|x-a|}$$

região II: P entre as duas cargas

$$x > 0 \rightarrow |x| = x$$

$$|x-a| = a-x$$



## Exemplo

$$V = \frac{kq_1}{|x|} + \frac{kq_2}{|x-a|}$$

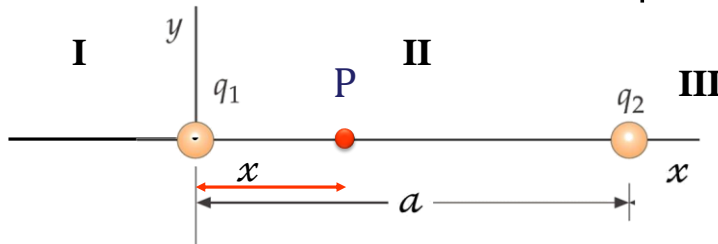
$$V = \frac{kq_1}{x} + \frac{kq_2}{a-x}$$

$$0 < x < a$$

região II: P entre as duas cargas

$$x > 0 \rightarrow |x| = x$$

$$|x-a| = a-x$$



## Exemplo

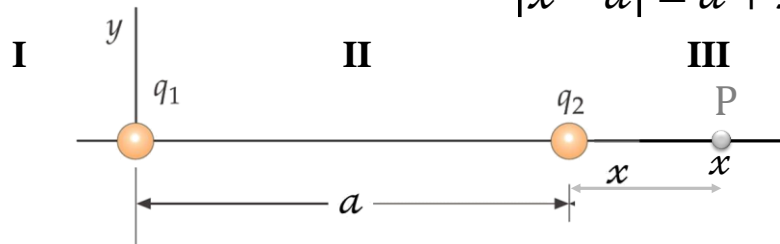
Uma carga puntiforme  $q_1$  está na origem e uma segunda carga puntiforme  $q_2$  no eixo dos  $x$ , está em  $x = a$ , conforme a figura. Determinar o potencial em qualquer ponto no eixo dos  $x$ .

$$V = \frac{kq_1}{|x|} + \frac{kq_2}{|x-a|}$$

região III: P à direita das duas cargas

$$x > a \rightarrow |x| = x$$

$$|x-a| = a+x$$



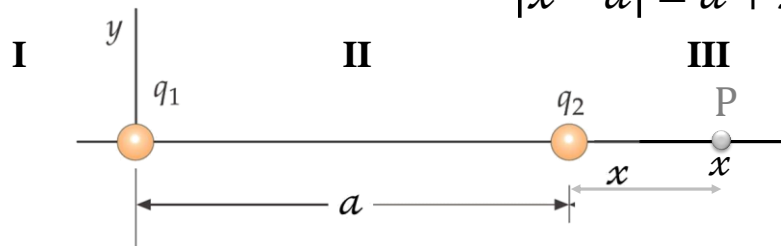
## Exemplo

$$V = \frac{kq_1}{|x|} + \frac{kq_2}{|x-a|}$$

$$V = \frac{kq_1}{x} + \frac{kq_2}{a+x} \quad x > a$$

região III: P à direita das duas cargas

$$x > a \rightarrow \begin{cases} |x| = x \\ |x-a| = a+x \end{cases}$$



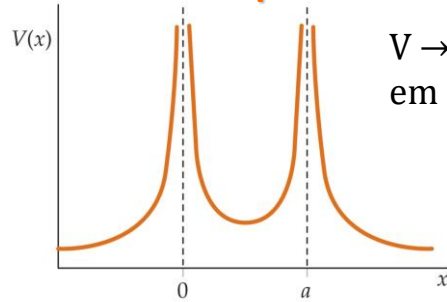
## Exemplo

Uma carga puntiforme  $q_1$  está na origem e uma segunda carga puntiforme  $q_2$  no eixo dos  $x$ , está em  $x = a$ , conforme a figura. Determinar o potencial em qualquer ponto no eixo dos  $x$ .

$$V_I = \frac{kq_1}{-x} + \frac{kq_2}{a-x} \quad V_{II} = \frac{kq_1}{x} + \frac{kq_2}{a-x} \quad V_{III} = \frac{kq_1}{x} + \frac{kq_2}{a+x}$$

se  $q_1 = q_2$

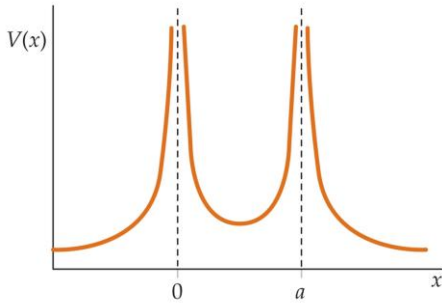
**Exemplo**



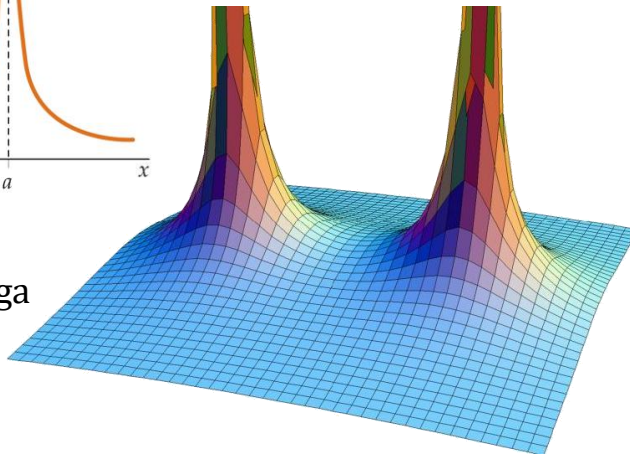
$V \rightarrow \infty$   
em cima da carga

$$V_I = \frac{kq_1}{-x} + \frac{kq_2}{a-x} \quad V_{II} = \frac{kq_1}{x} + \frac{kq_2}{a-x} \quad V_{III} = \frac{kq_1}{x} + \frac{kq_2}{a+x}$$

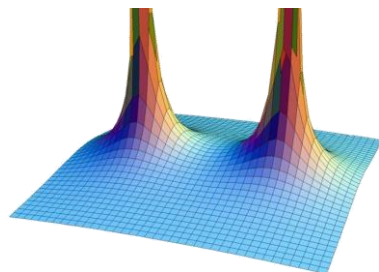
**Exemplo**



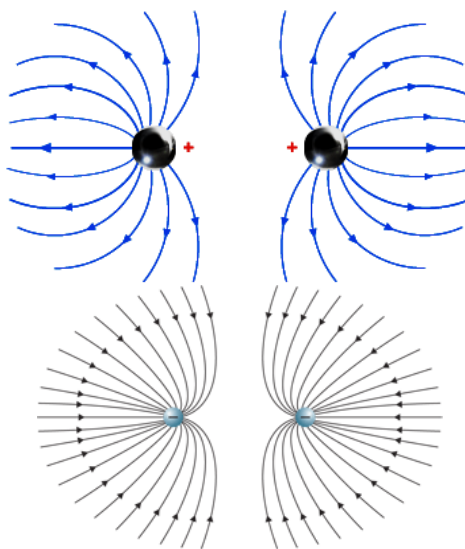
$V \rightarrow \infty$   
em cima da carga



## 2 cargas de mesmo sinal

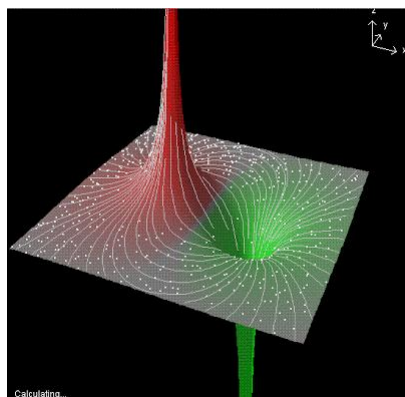


Potencial  $V$

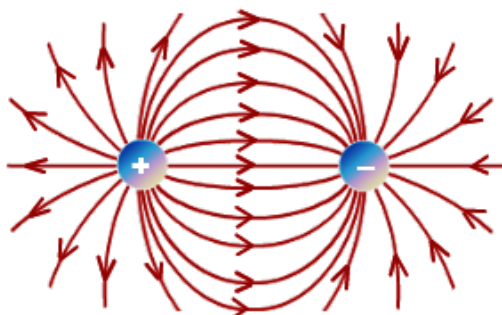


Campo Elétrico  $\vec{E}$

## 2 cargas de mesmo sinal

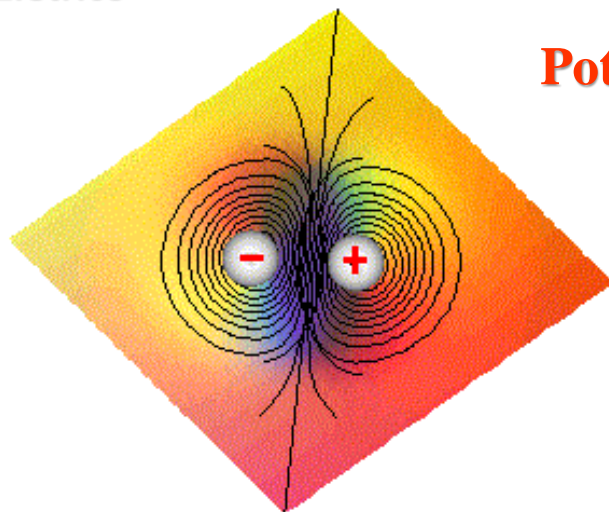


Potencial  $V$



Campo Elétrico  $\vec{E}$

## Dipolo Eléctrico



## Potencial $V$

<http://ensinoadistancia.pro.br/ead/Eletromagnetismo/PotencialE-Exemplos/PotencialE-Exemplos.html>



096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

*Ignês  
Caracelli*

259



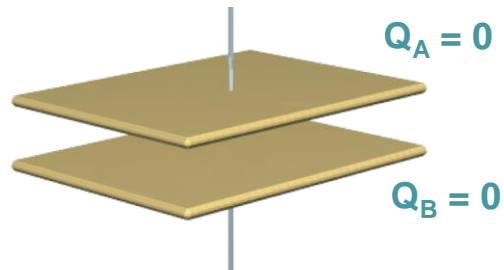
096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

*Ignês  
Caracelli*

260

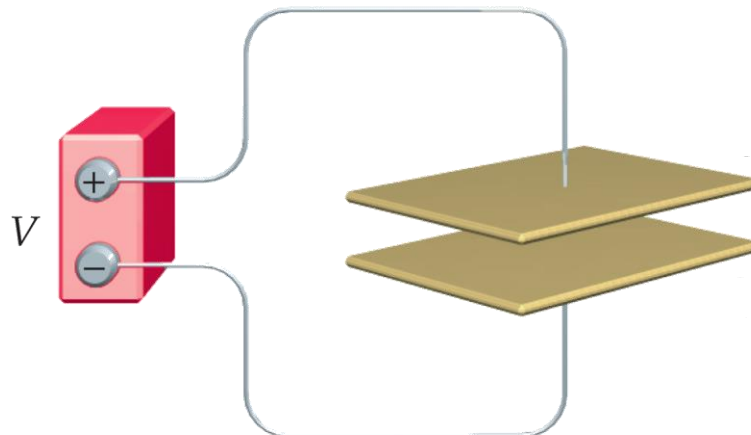
## Capacitor

duas placas metálicas condutoras, sem contato,  
inicialmente descarregadas



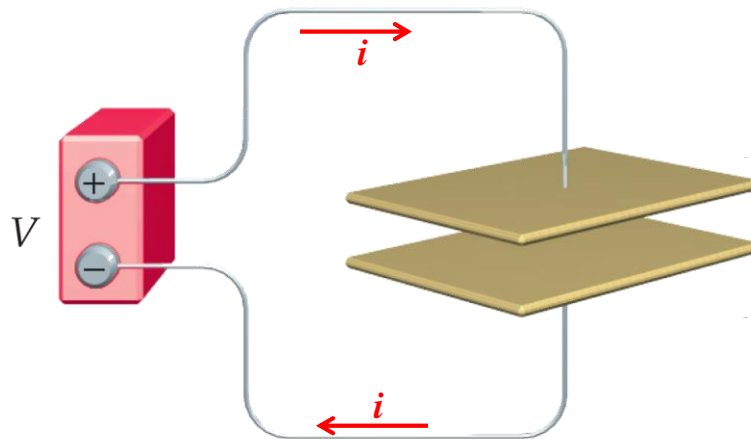
um dielétrico entre as placas

## Capacitor



as placas metálicas condutoras são conectadas a uma fonte

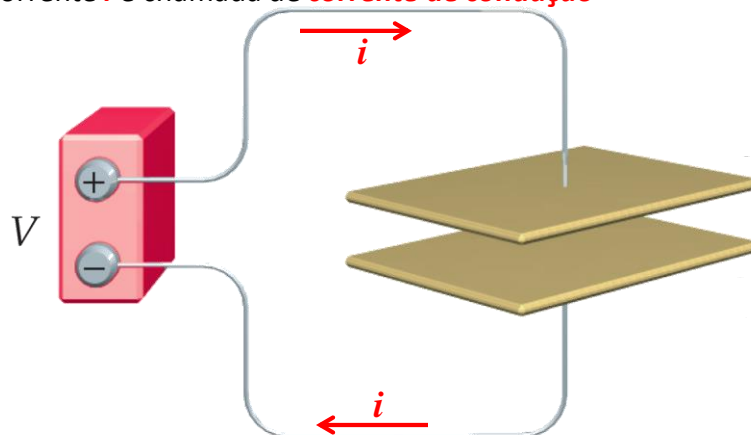
## Capacitor



as placas metálicas condutoras são conectadas a uma fonte; começa a circular a corrente  $i$

## Capacitor

a corrente  $i$  é chamada de **corrente de condução**

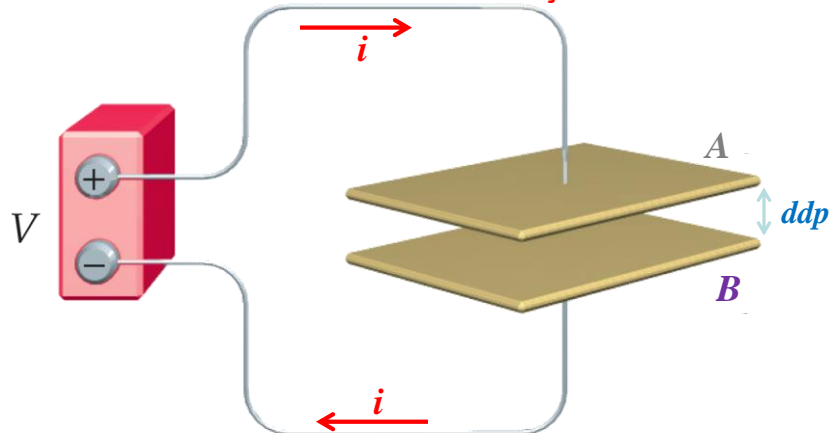


as placas metálicas condutoras são conectadas a uma fonte; começa a circular a corrente  $i$



## Capacitor

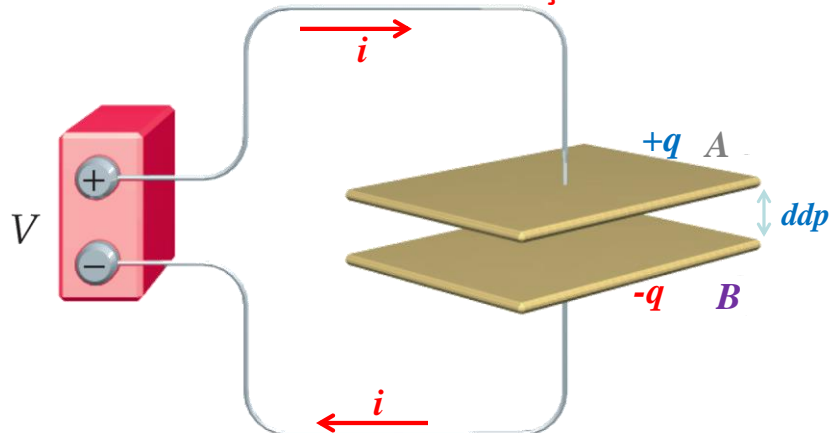
a corrente  $i$  é chamada de *corrente de condução*



estabelece-se entre as placas uma diferença de potencial (ddp), em que a placa **A** está a um potencial mais alto que a placa **B**

## Capacitor

a corrente  $i$  é chamada de *corrente de condução*

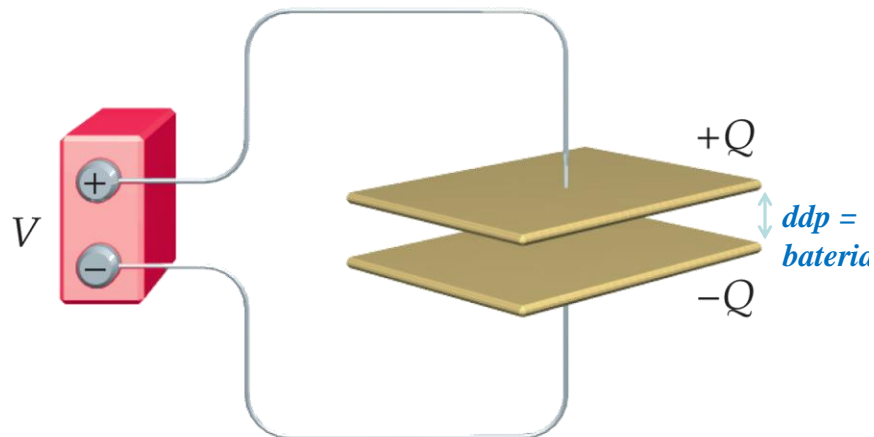


a placa **A** está a um potencial mais alto que a placa **B**

a placa **A** começa a ficar com carga  $+q$

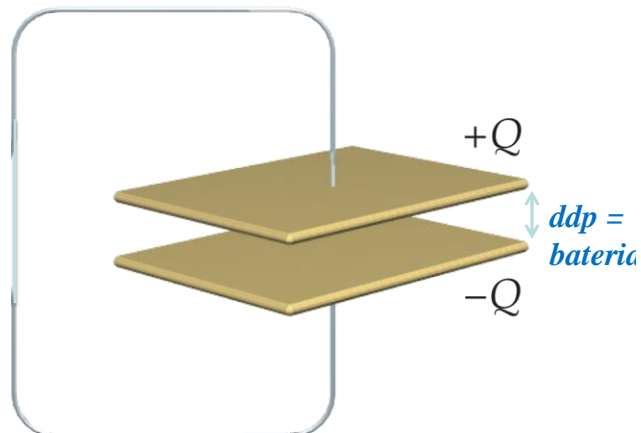
a placa **B** começa a ficar com carga  $-q$

## Capacitor

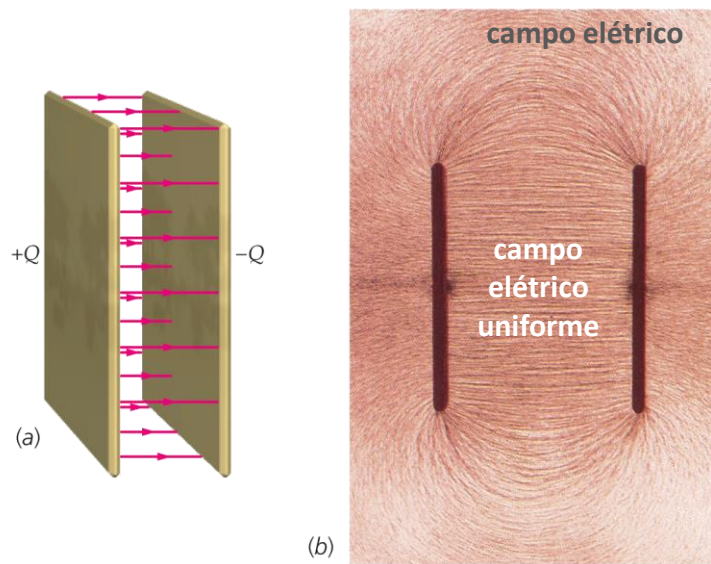


## Capacitor

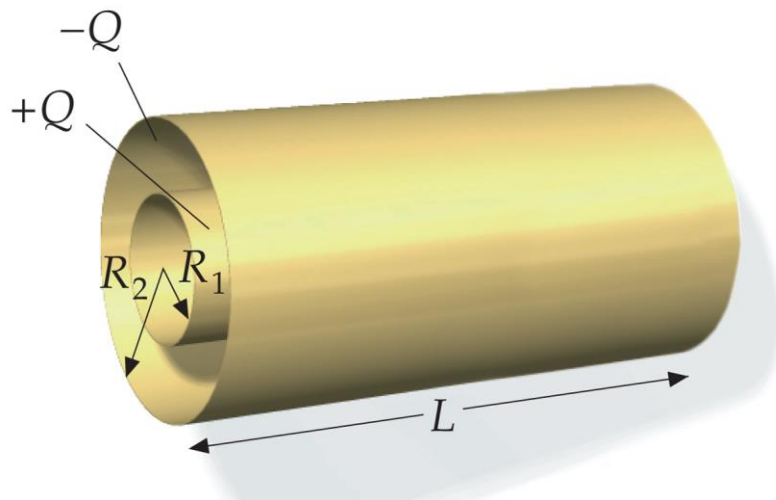
- a bateria é desconectada;
- as placas ficam carregadas com carga  $Q$ ;
- a energia fica armazenada



## Capacitor



## Capacitor

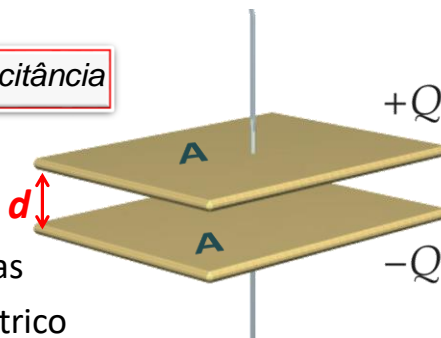


## Capacitores

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

valor da capacitância

- A**: área das placas  
**d**: separação entre as placas  
 **$\epsilon$** : permissividade do dielétrico  
**V**: ddp entre placas



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

valor da capacitância

## Capacitores

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

valor da capacitância

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

No Sistema Internacional, a unidade da capacidade eléctrica **C** é expressa em farad (**F**),

sendo

$$1 \text{ F} = 1 \frac{\text{Coulomb}}{\text{Volt}} = 1 \frac{\text{C}}{\text{V}}$$

## Capacitores

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad \longleftrightarrow \quad \text{valor da capacitância} \quad \longleftrightarrow \quad C = \frac{Q}{V}$$

A membrana plasmática é constituída de uma bicamada lipídica, inserida nessa estão as proteínas de membrana que tem a importante função de transportar materiais através da membrana.

A bicamada age como um isolante separando dois meios condutores, o meio externo ao axônio e o meio interno ou axoplasma.

## Capacitores

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad \longleftrightarrow \quad \text{valor da capacitância} \quad \longleftrightarrow \quad C = \frac{Q}{V}$$

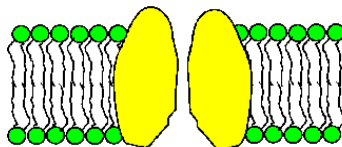
Essa geometria da membrana constitui um capacitor elétrico onde as duas placas condutoras são o meio iônico interno e externo e a membrana é o dielétrico.



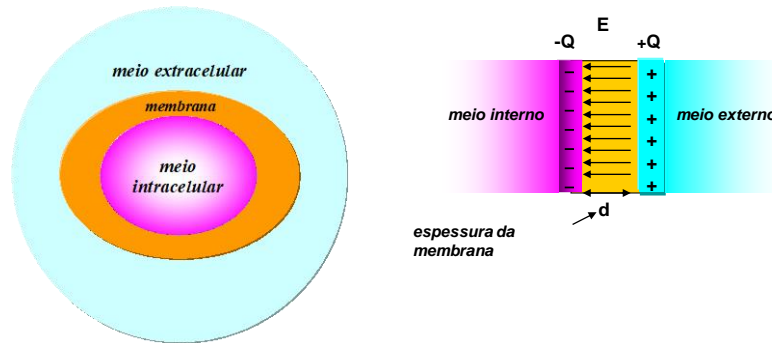
## Capacitores

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$


- (A) é a área da membrana
- (d) é a espessura da membrana
- (e) é a constante dielétrica



## Célula e Transporte Celular



## Célula e Transporte Celular

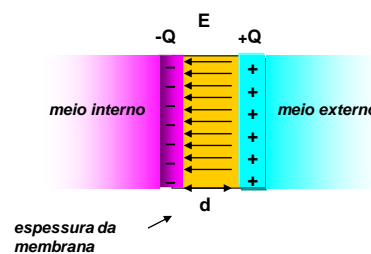
$d$  = espessura de uma membrana  $\cong 80 \text{ \AA}$

área da membrana  $\cong 6 \times 10^{-10} \text{ m}^2$

$l$  = dimensões da célula  $\cong 10^{-5} \text{ m}$

$d \ll l$

$\epsilon_{\text{membrana}} \cong 10 \epsilon_0$



## Célula e Transporte Celular

**Tabela 4** Concentração iônica [C] dentro e fora da célula  
(célula muscular de rã)

<i>ion</i>	[C] <sub>externa</sub> (mM)	[C] <sub>interna</sub> (mM)
K <sup>+</sup>	2,25	124
Na <sup>+</sup>	109,0	10,4
Ca <sup>2+</sup>	2,1	4,9
Mg <sup>2+</sup>	1,25	14
Cl <sup>-</sup>	77,5	1,5
HCO <sub>3</sub>	26,6	12,4
íons orgânicos	13,0	74

## Célula e Transporte Celular

### ***transporte ativo***

- *o movimento de íons em gradientes iônicos deve ser independente da carga do íon*
- *depende apenas da diferença de concentrações entre os dois meios.*

### ***dois pontos importantes***

- em alguns momentos o único que importa é ***manter a diferença de concentração de íons*** dentro e fora da célula;
- em outros é fazer com que íons caminhem de um meio a outro, mas ***contra um gradiente de concentração***. Nos dois casos é preciso realizar trabalho sobre o sistema, para que um ou outro processo possa ocorrer.



## Célula e Transporte Celular

dois meios com concentração  $C_1$  e  $C_2$

um íon vai de  $C_1 \rightarrow C_2$

- Se  $C_1 > C_2$ , ocorre **difusão**
- íon vai **+ concentrado**  $\rightarrow$  **- concentrado**
- o processo tem  $\Delta G < 0$  (espontâneo)
- o processo termina quando o equilíbrio é atingido.

## Célula e Transporte Celular


dois meios com concentração  $C_1$  e  $C_2$

um íon vai de  $C_1 \rightarrow C_2$

- Se  $C_1 < C_2$ , ocorre **transporte ativo**
- processo tem  $\Delta G > 0$  (não-espontâneo)
- processo requer energia para que possa acontecer.
- energia necessária (usando as condições de não-equilíbrio)

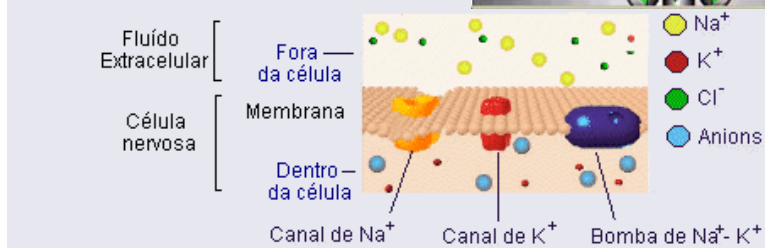
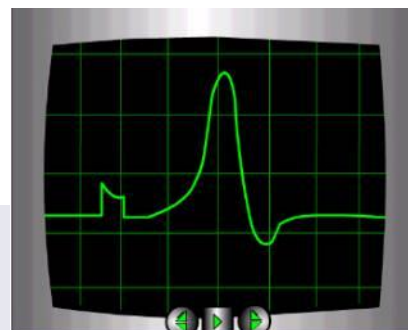
$$\Delta G = R T \ln \frac{C_2}{C_1}$$

$$\Delta G = R T \ln \frac{C_{final}}{C_{inicial}}$$

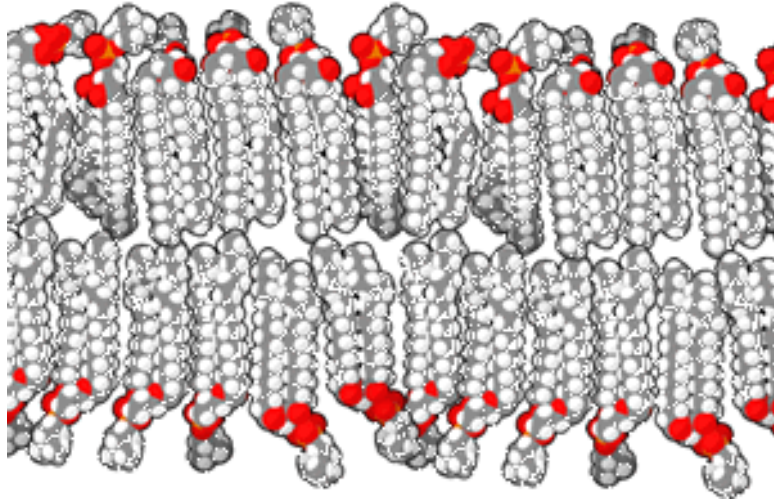


# Potencial de Ação

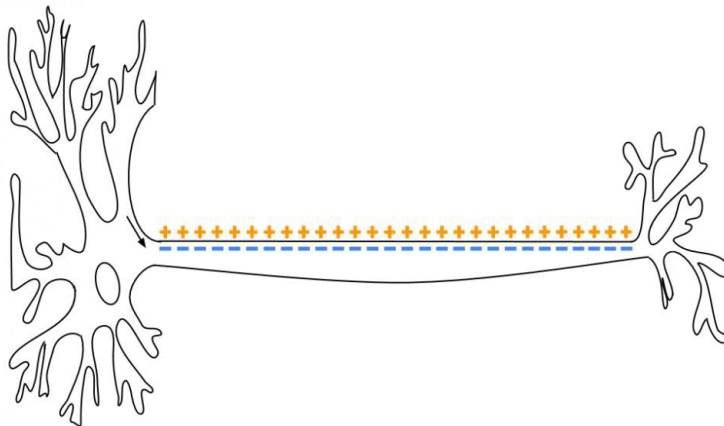
## Trabalho Biológico



# Membranas

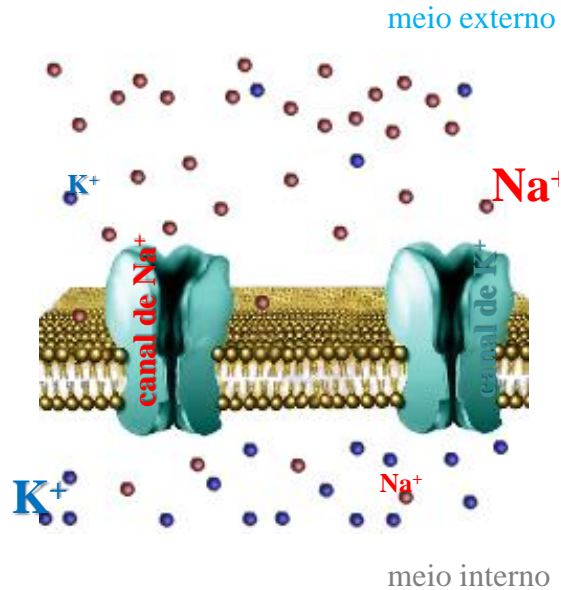


# Impulso Nervoso



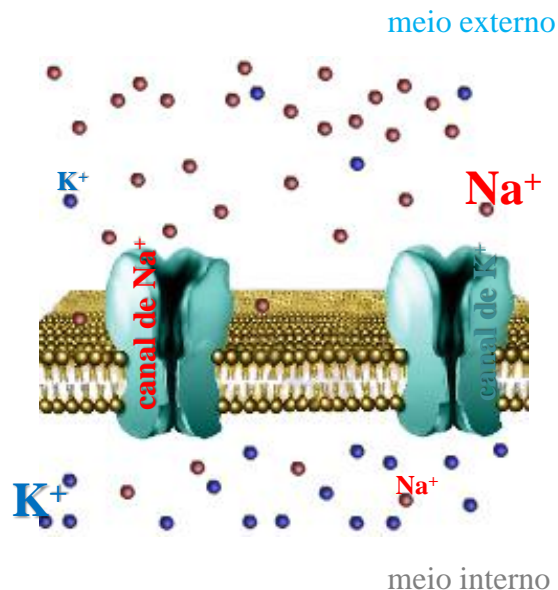
# Potencial de Membrana

**Potencial de membrana** é a diferença em volts entre a parte interna e a externa da membrana.



## Potencial de Membrana: ddp

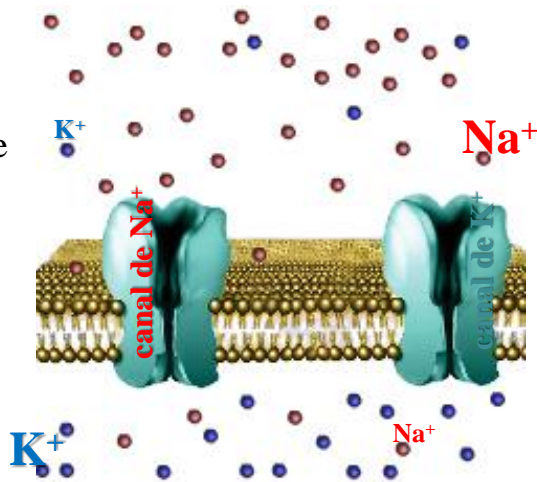
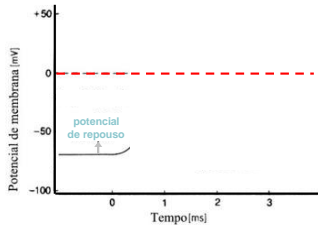
A **diferença de potencial (ddp)** aparece pela presença de íons. Existe uma diferença de concentração de íons dentro e fora da membrana.



## Potencial de Membrana: potencial de repouso

meio externo

No estado de repouso, o potencial de repouso da membrana, o *potencial de repouso* é da ordem de 70 mV.



meio interno



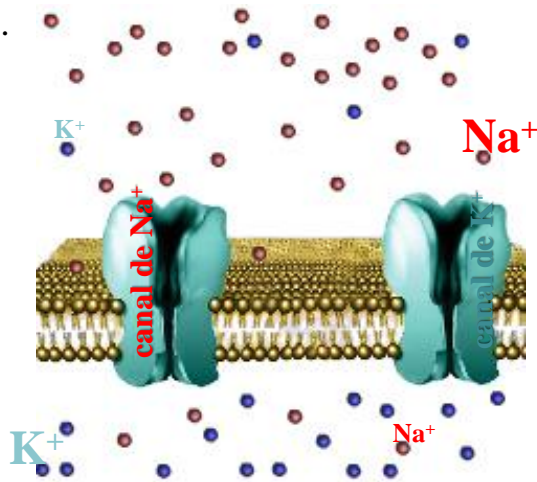
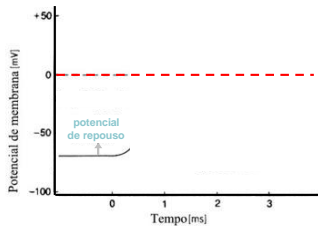
096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignês Caracelli

## Potencial de Membrana: polarização

meio externo

No estado de repouso, o neurônio está **polarizado**. Os canais de íons são estruturas proteicas que permitem a passagem de íons.



meio interno



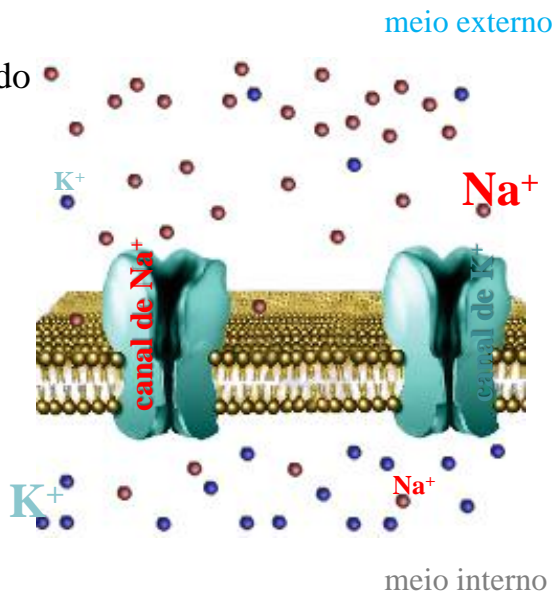
096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignês Caracelli

## Potencial de Membrana

Quando um neurônio é estimulado, como resultado da neurotransmissão, o potencial da membrana torna-se um pouco mais positivo.

Ou seja, a membrana torna-se parcialmente despolarizada.

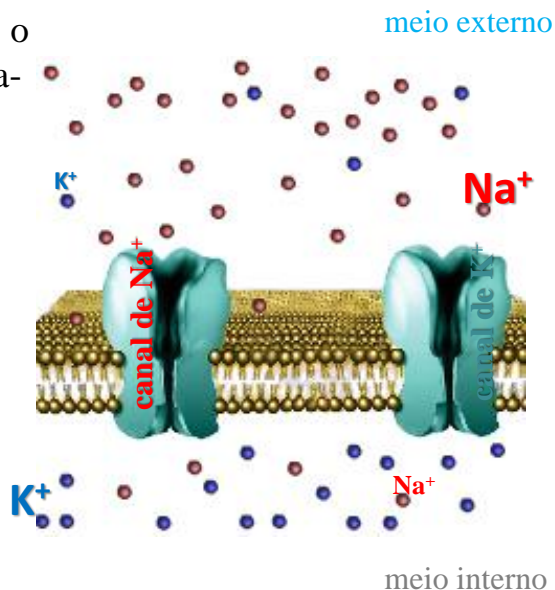
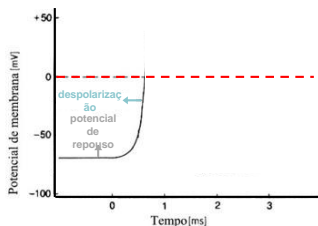


096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignês Caracelli

## Potencial de Membrana

Se a despolarização atinge o limiar do neurônio, inicia-se o potencial de ação, completando a despolarização da membrana.



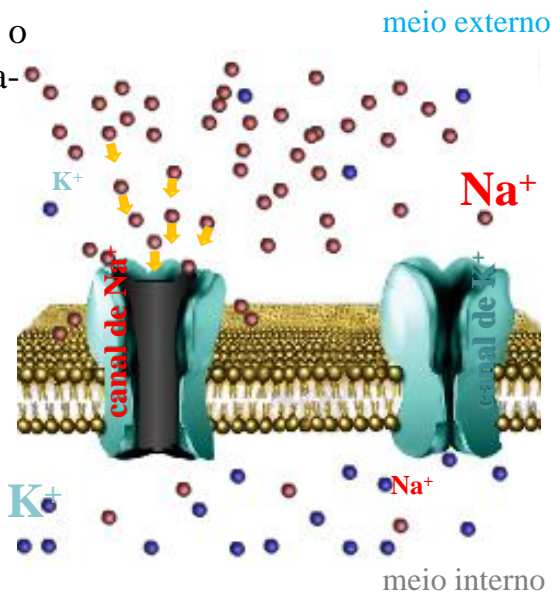
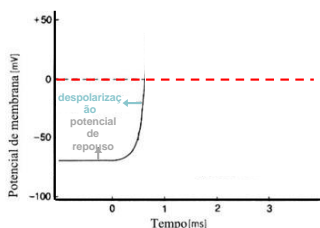
096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignês Caracelli



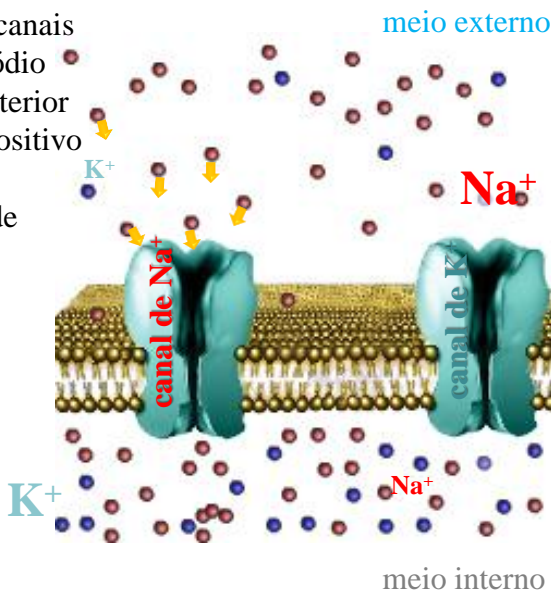
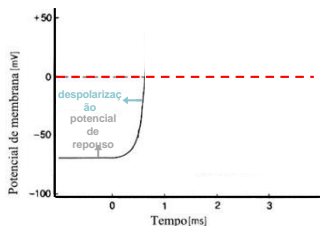
## Potencial de Membrana

Se a despolarização atinge o limiar do neurônio, inicia-se o potencial de ação, completando a despolarização da membrana.



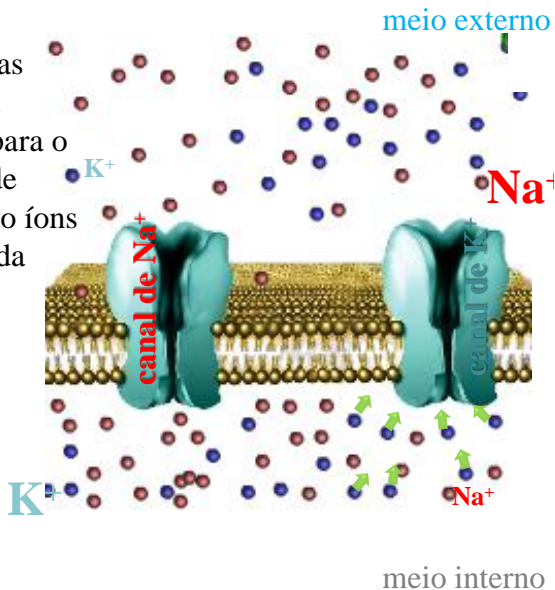
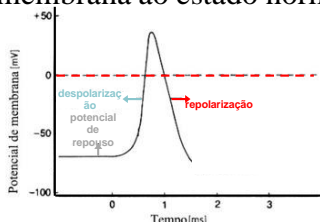
## Potencial de Membrana

Durante a despolarização, os canais de sódio se abrem e os íons sódio entram. Como resultado, o interior da membrana torna-se mais positivo que o exterior. Este pico é o potencial de ação. Os canais de sódio se fecham.



## Potencial de Membrana

Os canais de potássio abrem. Repelidos pelas cargas positivas internas, os íons  $K^+$  se movem através dos canais de potássio para o exterior. Nesta fase chamada de **repolarização**, o movimento dos íons  $K^+$  para fora, leva o potencial da membrana ao estado normal.

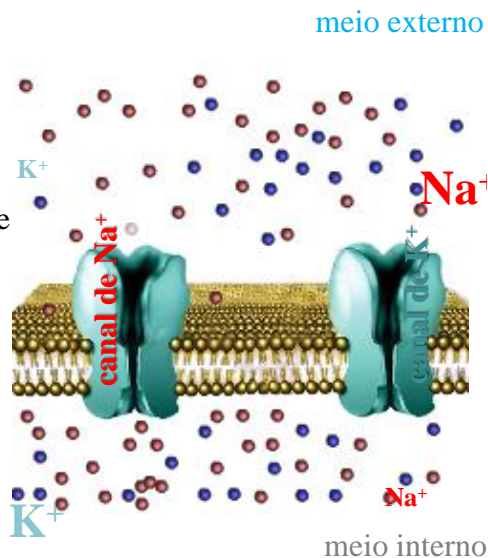
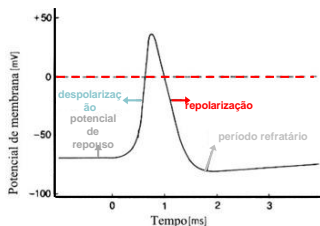


096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignês Caracelli

## Potencial de Membrana

Depois que o potencial da membrana outra vez em torno de -0 mV, há uma diminuição do potencial de membrana. Durante este período refratário, o neurônio não pode disparar outro potencial de ação.



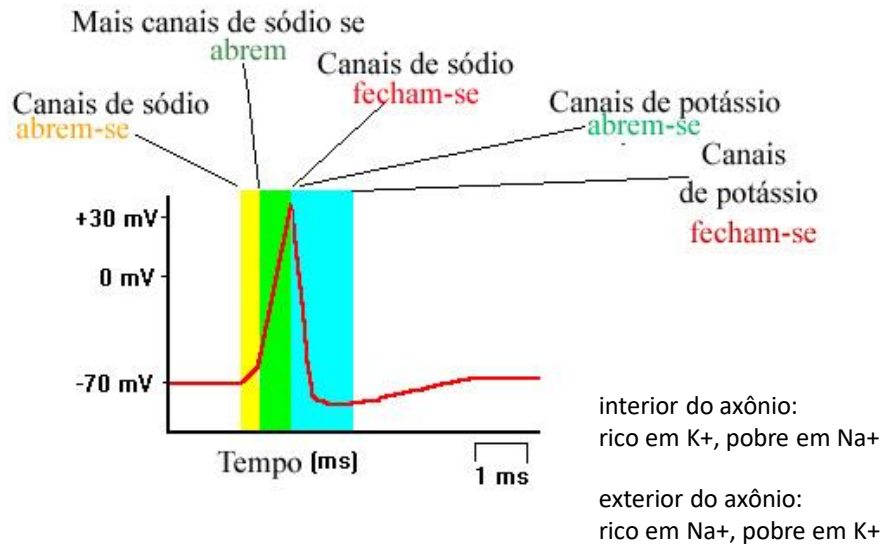
096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignês Caracelli

[http://www.mind.ilstu.edu/curriculum/neurons\\_intro/flash\\_action\\_potential.php?modGUI=232&compGUI=1827&itemGUI=3156](http://www.mind.ilstu.edu/curriculum/neurons_intro/flash_action_potential.php?modGUI=232&compGUI=1827&itemGUI=3156)



## Potencial de Ação

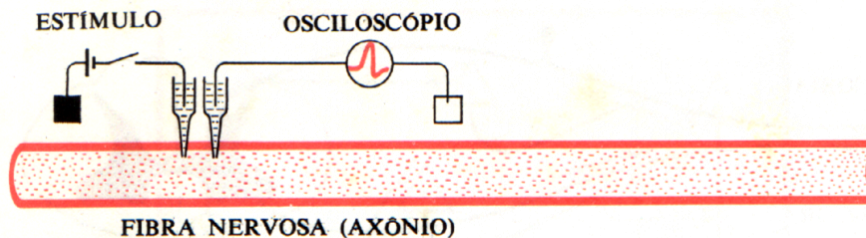


## Potencial de Ação

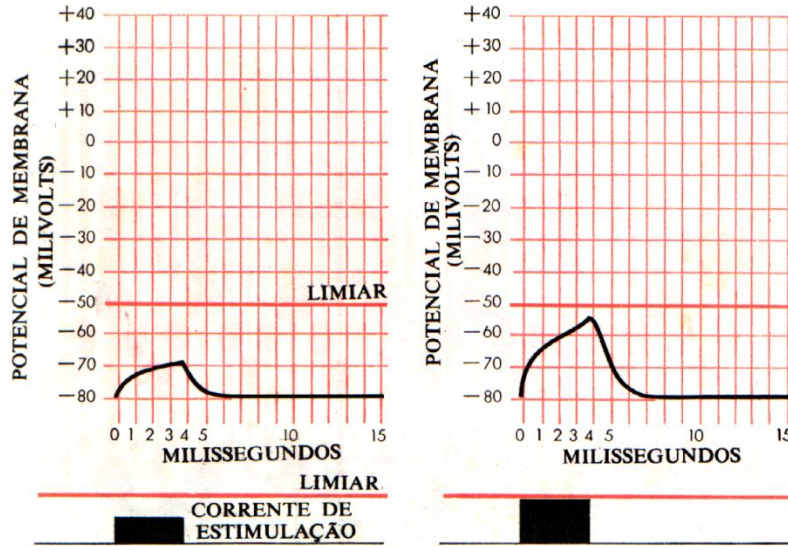
propriedades elétricas da fibra nervosa

estudadas pela medida das mudanças de tensão na **membrana** do axônio.

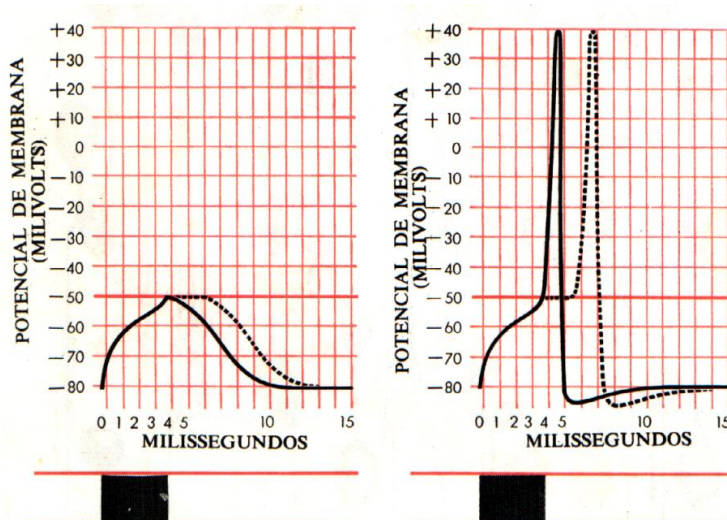
estado de repouso: interior do axônio está negativo ( ~ 80mV)



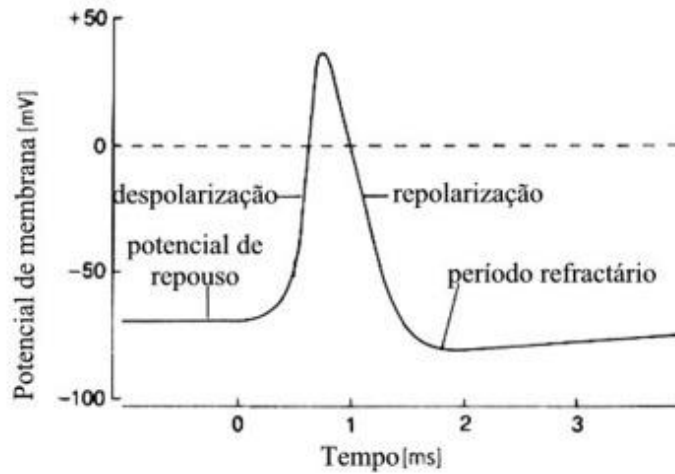
## Potencial de Ação



## Potencial de Ação



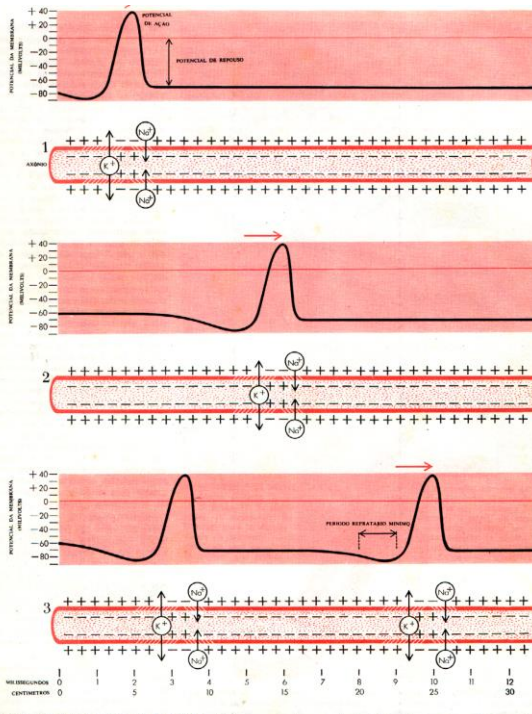
# Potencial de Ação: forma da onda completa



096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignez Caracelli

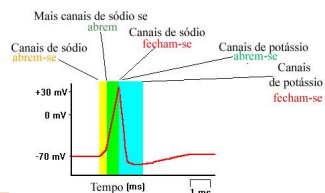
## Potencial de Ação



propagação do impulso nervoso

interior do axônio:  
rico em K+, pobre em Na+

exterior do axônio:  
rico em Na+, pobre em K+



BIOTECNOLOGIA 1

Ignez Caracelli

## Venenos e Impulso Nervoso

Exemplos:

As toxinas encontradas em veneno de escorpião:



- Alfa-toxinas: prolongam o potencial de ação, causando distúrbios nos SNC, uma espécie de confusão do SNC. É encontrada no escorpião (*Tityus serrulatus*) e outros do chamado novo mundo.
- Beta-toxinas: altera a diferença de potencial nas quais os canais de sódio são ativados (abertos), diminuindo drasticamente tais valores, o que novamente causa distúrbios ao SNC. Encontradas em escorpiões do velho mundo.



096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignaz  
Caracelli

## Venenos e Impulso Nervoso

Exemplos:

Batracotoxina: é uma toxina alcalóide que combina os efeitos das alfa e beta-toxinas dos escorpiões.

É produzida por algumas rãs da América do Sul.

É usada na ponta de flechas por tribos indígenas sul-americanas.



096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignaz  
Caracelli

## Venenos e Impulso Nervoso

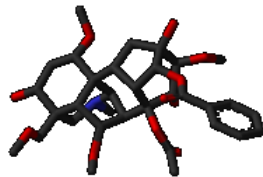
Exemplos:

Dendrotoxina (vespas), apamina (abelhas) e caribdotoxina (venenos de escorpião):  
tais toxinas tem como efeito primordial o bloqueio dos canais de potássio.



## Venenos e Impulso Nervoso

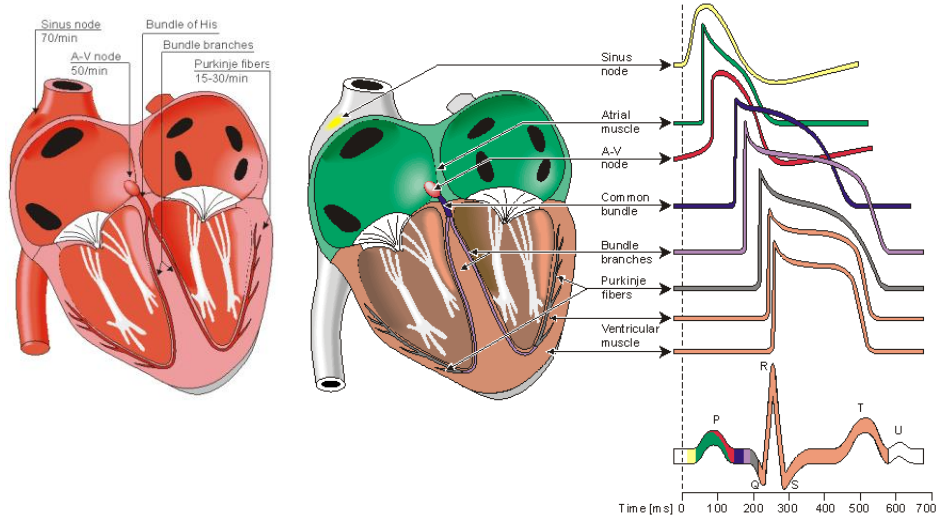
Os venenos não são produzidos exclusivamente por animais, algumas espécies de vegetais produzem substâncias semelhantes, como por exemplo a aconitina e a veratridina.



Flor de acônito (*Aconitum napellus*)



## O sistema de condução elétrica do coração



EE-515 Bioelectricity & Biomagnetism 2002 Fall - Murat Eyüboğlu

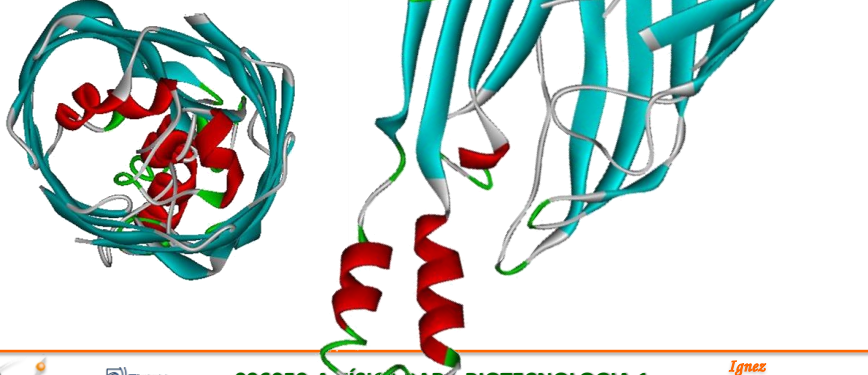


096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignaz Caracelli

## Nanoporos

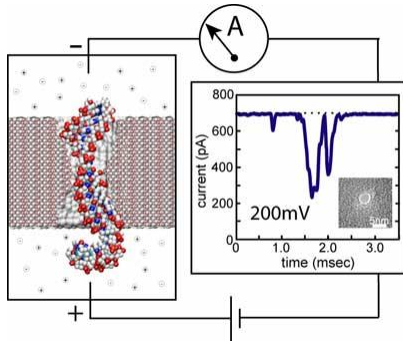
E.M.Hearn et al. (2009).  
Transmembrane passage of  
hydrophobic compounds through a  
protein channel wall. *Nature*, **458**,  
367-370.



096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

Ignaz Caracelli

# Nanoporos



## Electric detection of individual DNA molecules with a nanopore

Experimental system for detecting single DNA molecules with a nanopore. The insert shows a transmission electron micrograph of the pore sculptured by a highly focused electron beam

<http://www.ks.uiuc.edu/Research/nanopore/>

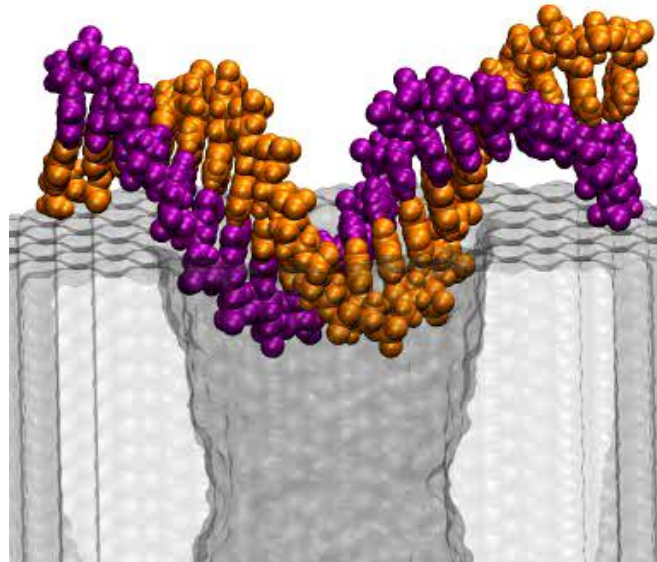


096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

*Ignaz Caracelli*

## Exemplo: Movimento

<http://www.ks.uiuc.edu/Research/nanopore/movies/>

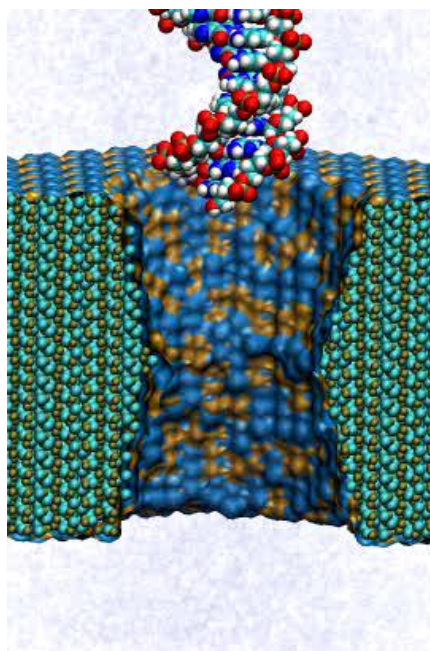


096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

*Ignaz Caracelli*

310

# Nanoporos



<http://www.ks.uiuc.edu/Research/nanopore/>



096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

*Ignes  
Caracelli*



**Outras  
Aplicações**

A 3D white stick figure is shown from the waist up, holding a white rectangular sign with a black border. The sign contains the text "Outras Aplicações" in orange.

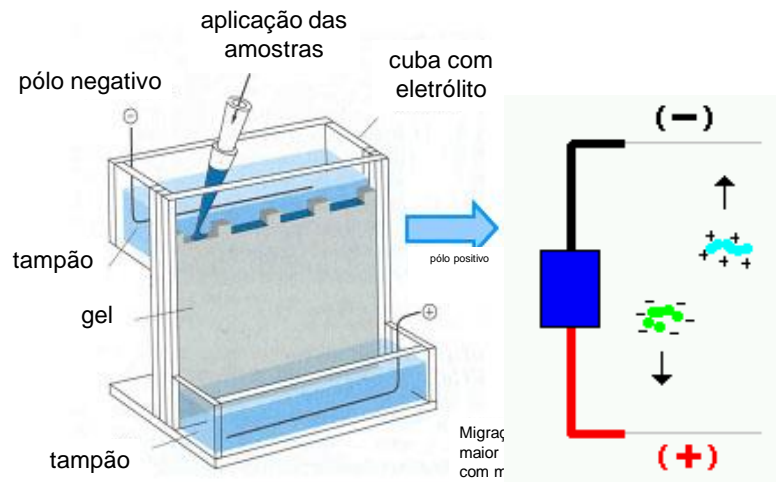
096059-A-FÍSICA PARA BIOTECNOLOGIA 1

*Ignes  
Caracelli*

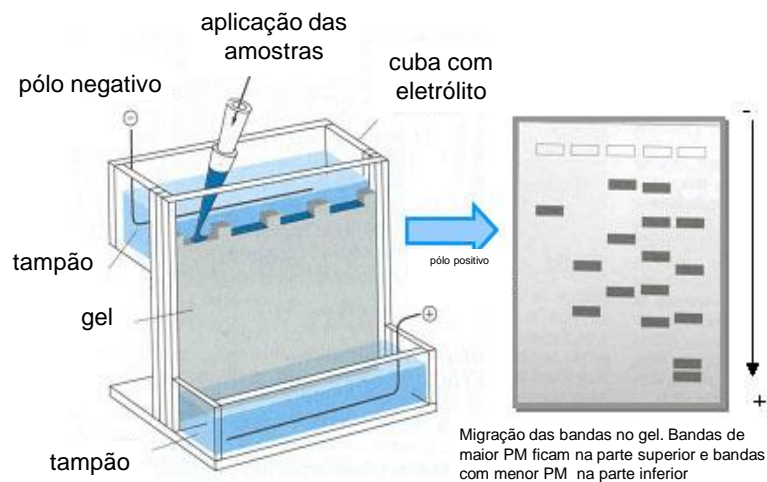
312



## Exemplo: Eletroforese



## Exemplo: Eletroforese



## Exemplo: Eletroforese 2-D

