



Eletrônica Básica

Professor: Neilor Colombo Dal Pont

Sistemas Embarcados

TÓPICOS DA AULA



- Revisão sobre medidas e grandezas e apresentação do Sistema Internacional de Unidades.
- Múltiplos e submúltiplos.
- Eletrostática
- Processos de eletrização
- Força elétrica, Campo elétrico, Energia potencial elétrica, Potencial elétrico

MEDIDAS E GRANDEZAS



O que é uma grandeza?

Grandeza é tudo aquilo que pode ser medido!

Exemplos:

- Tempo
- Temperatura
- Massa
- Velocidade
- Aceleração
- Força
- Outras?

MEDIDAS E GRANDEZAS



Na área de eletricidade:

Exemplos:

- Tensão;
- Corrente;
- Carga;
- Resistência;
- Campo Elétrico;
- Outros exemplos?

MEDIDAS E GRANDEZAS



Tipos de grandeza

Uma grandeza pode ser escalar, quando ela tem apenas uma “informação”, ou vetorial, quando ela tem uma “informação e uma direção”.

Grandezas escalares:

- Tempo
- Temperatura
- Massa

Grandezas vetoriais:

- Velocidade
- Aceleração
- Força

MEDIDAS E GRANDEZAS



Grandezas escalares:

- Tempo
- 10:10
- Massa
- 80 kg



MEDIDAS E GRANDEZAS



Grandezas escalares na eletricidade:

- Tensão Elétrica
- 600 V

- Corrente Elétrica
- 302 A

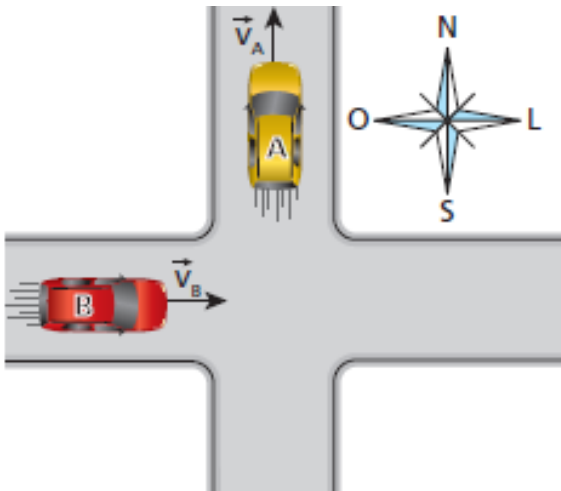


MEDIDAS E GRANDEZAS

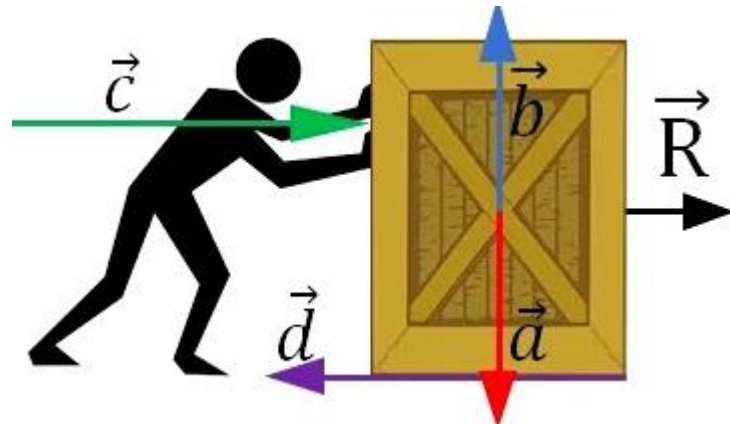


Grandezas vetoriais:

- Velocidade
- Pode ser escalar ou vetorial



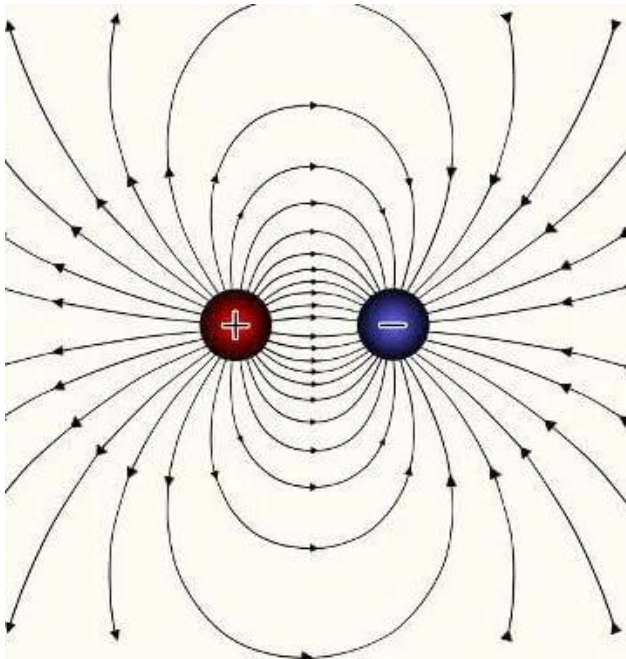
- Força



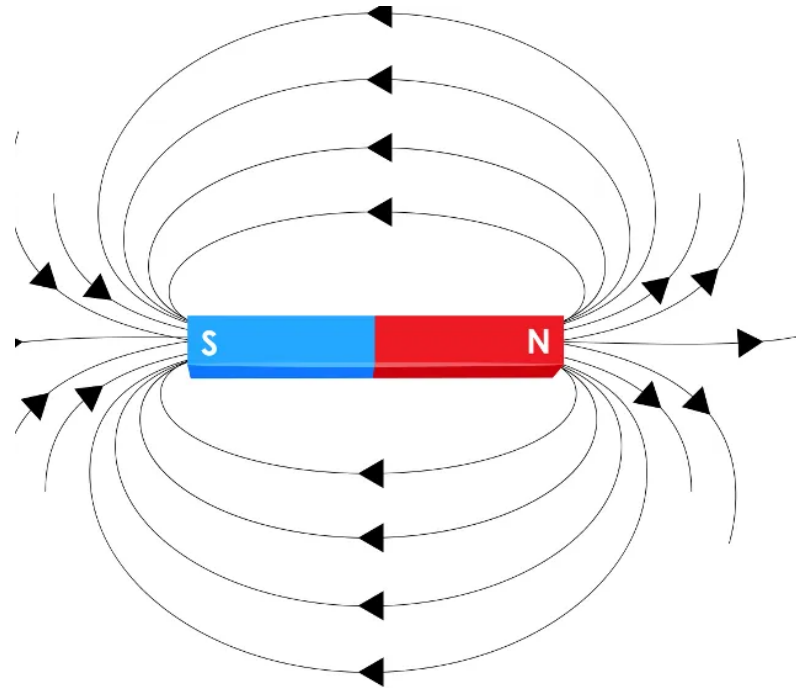


Grandezas vetoriais na elétrica:

- Campo elétrico
- Volts/metro



- Campo magnético
- Tesla



MEDIDAS E GRANDEZAS



Unidades de Medida:

- As unidades de medida são representações das grandezas físicas utilizadas em diversas áreas do conhecimento com o intuito de quantificá-las.
- Velocidade: é a razão entre o espaço percorrido e o tempo gasto.

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Km/h

m/s

cm/s

m/min

MEDIDAS E GRANDEZAS



Grandeza ou medida?

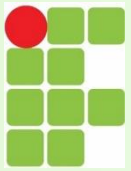
Tensão	
Volts	
Ampere	
Resistência	
Potência	
Carga	
Segundos	
Metros	
Força	
Distância	
Corrente	
Tempo	

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES



- O sistema internacional de unidades, ou SI, como é conhecido, surgiu em 1960 para padronizar as unidades de medida das grandezas físicas.
- O sistema internacional de unidades é composto de das grandezas fundamentais, e das grandezas derivadas, que surgem da combinação das grandezas fundamentais.

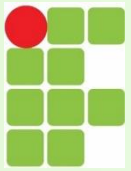
SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES



Grandezas Fundamentais

Grandeza	Unidade	Símbolo
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Corrente elétrica	ampere	A
Temperatura termodinâmica	kelvin	K
Quantidade de substância	mol	mol ^[17]
Intensidade luminosa	candela	cd

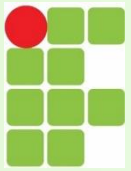
SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES



Grandezas Derivadas – Quais são elétricas?

Grandeza	Unidade	Símbolo	Dimensional analítica	Dimensional sintética
Ângulo plano	radiano	rad	1	m/m
Ângulo sólido	esferorradiano ¹	sr	1	m²/m²
Atividade catalítica	katal	kat	mol/s	---
Atividade radioativa	becquerel	Bq	1/s	---
Capacitância	farad	F	A²·s²/(kg·m²)	A·s/V
Carga elétrica	coulomb	C	A·s	---
Condutância	siemens	S	A²·s³/(kg·m²)	A/V
Dose absorvida	gray	Gy	m²/s²	J/kg
Dose equivalente	sievert	Sv	m²/s²	J/kg
Energia	joule	J	kg·m²/s²	N·m
Fluxo luminoso	lúmen	lm	cd	cd·sr
Fluxo magnético	weber	Wb	kg·m²/(s²·A)	V·s
Força	newton	N	kg·m/s²	---
Frequência	hertz	Hz	1/s	---
Indutância	henry	H	kg·m²/(s²·A²)	Wb/A
Intensidade de campo magnético	tesla	T	kg/(s²·A)	Wb/m²
Luminosidade	lux	lx	cd/m²	lm/m²
Potência	watt	W	kg·m²/s³	J/s
Pressão	pascal	Pa	kg/(m·s²)	N/m²
Resistência elétrica	ohm	Ω	kg·m²/(s³·A²)	V/A
Temperatura em Celsius	grau Celsius	°C	---	---
Tensão elétrica	volt	V	kg·m²/(s³·A)	W/A

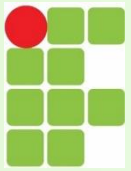
SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES



Grandezas Derivadas – Quais são elétricas?

Grandeza	Unidade	Símbolo
Área	metro quadrado	m ²
Volume	metro cúbico	m ³
Número de onda	por metro	1/m
Densidade de massa	quilograma por metro cúbico	kg/m ³
Concentração	mol por metro cúbico	mol/m ³
Volume específico	metro cúbico por quilograma	m ³ /kg
Velocidade	metro por segundo	m/s
Aceleração	metro por segundo ao quadrado	m/s ²
Densidade de corrente	ampere por metro ao quadrado	A/m ²
Campo magnético	ampere por metro	A/m

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES



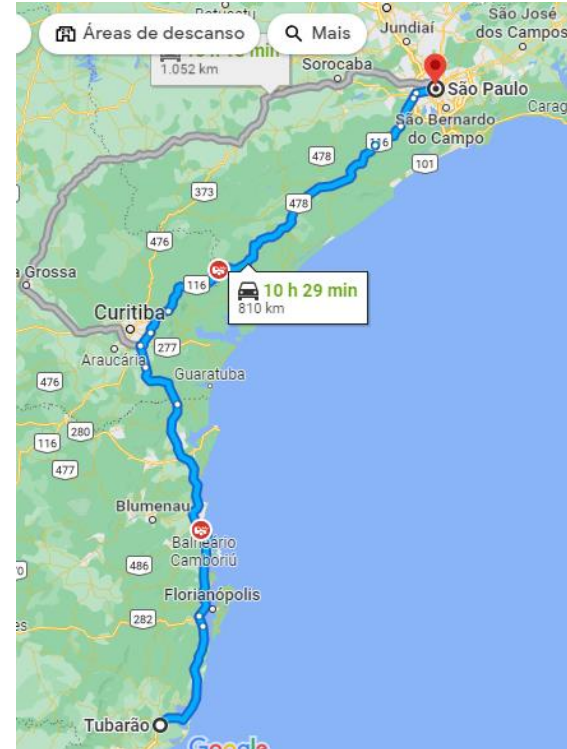
Principais grandezas elétricas

Physical quantity	Symbol	Unit	Symbol	Measure device
Current	I	Ampere	A	Amperemeter
Voltage	U	Volt	V	Voltmeter
Power	P	Watt	W	Powermeter
Resistance	R	Ohm	Ω	Ohmmeter
Capacitance	C	Farad	F	Capacitance meter
Inductance	L	Henry	H	Inductance meter
Frequency	f	Hertz	Hz	Oscilloscope
Period	T	Second	s	Oscilloscope
Charge	Q	Coulomb	C	Charge meter
Conductance	G	Siemens	S	Conductivity meter

MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS



- Apesar do sistema internacional de unidades ter padronizado as unidades de medida, algumas delas são difíceis de expressar, por serem muito grandes ou muito pequenas.
- Por exemplo, a distância entre Tubarão e São Paulo no SI são 810.000 metros.
- Já uma ameba, pode atingir o tamanho de 0,0002 metros.



MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS



- Buscaram-se então formas de representar as grandezas de forma mais conveniente.
- Surgiram então os múltiplos e submúltiplos das grandezas.
- Eles derivam das chamadas potências de 10.
- Mas, o que são potências de 10???



MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS



- Potências de 10 representam números onde o número base é o 10.
- As potências de base 10 são formadas pelo algarismo 1 seguido de zeros da quantidade do número do expoente quando este é positivo.
- Da mesma forma, quando o expoente é negativo ele representa o número de casas depois da vírgula.

$10^0 = 1$	→	Nenhum zero
$10^1 = 10$	→	Um zero
$10^2 = 100$	→	Dois zeros
$10^3 = 1000$	→	Três zeros
$10^4 = 10000$	→	Quatro zeros
$10^5 = 100000$	→	Cinco zeros
$10^6 = 1000000$	→	Seis zeros

$0,1 = 10^{-1}$
$0,01 = 10^{-2}$
$0,001 = 10^{-3}$
$0,0001 = 10^{-4}$
$0,00001 = 10^{-5}$
$0,000001 = 10^{-6}$
$0,0000001 = 10^{-7}$

MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS



- Além disso, a algumas dessas potências foram atribuídas um símbolo.

tera	T	1000^4	10^{12}	Trilhão	Bilião
giga	G	1000^3	10^9	Bilhão	Milhar de milhão
mega	M	1000^2	10^6	Milhão	Milhão
quilo	k	1000^1	10^3	Mil	Milhar
hecto	h	$1000^{2/3}$	10^2	Cem	Centena
deca	da	$1000^{1/3}$	10^1	Dez	Dezena
<i>nenhum</i>		1000^0	10^0	Unidade	Unidade
deci	d	$1000^{-1/3}$	10^{-1}	Décimo	Décimo
centi	c	$1000^{-2/3}$	10^{-2}	Centésimo	Centésimo
mili	m	1000^{-1}	10^{-3}	Milésimo	Milésimo
micro	μ	1000^{-2}	10^{-6}	Milionésimo	Milionésimo
nano	n	1000^{-3}	10^{-9}	Bilionésimo	Milésimo de milionésimo
pico	p	1000^{-4}	10^{-12}	Trilionésimo	Bilionésimo

MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS



- Mas como isso se aplica as unidades de medida?
- Usando o múltiplo “quilo”, eu posso representar a distância entre Tubarão e Florianópolis como 810 **quilo**metros, ou 810 km, onde o quilo ou k representa 1000 ou 10^3 .
- Já no caso da ameba, podemos representar seu tamanho usando o submúltiplo “mili” como 0,2 **milí**metros, ou 0,2mm, onde o mili ou m representa 0,001 ou 10^{-3} .

tera	T	1000 ⁴	10 ¹²	Trilhão	Bilhão
giga	G	1000 ³	10 ⁹	Bilhão	Milhar de milhão
mega	M	1000 ²	10 ⁶	Milhão	Milhão
quilo	k	1000 ¹	10 ³	Mil	Milhar
hecto	h	1000 ^{2/3}	10 ²	Cem	Centena
deca	da	1000 ^{1/3}	10 ¹	Dez	Dezena
nenhum		1000 ⁰	10 ⁰	Unidade	Unidade
deci	d	1000 ^{-1/3}	10 ⁻¹	Décimo	Décimo
centi	c	1000 ^{-2/3}	10 ⁻²	Centésimo	Centésimo
mili	m	1000 ⁻¹	10 ⁻³	Milésimo	Milésimo
micro	μ	1000 ⁻²	10 ⁻⁶	Milionésimo	Milionésimo
nano	n	1000 ⁻³	10 ⁻⁹	Bilionésimo	Milésimo de milionésimo
pico	p	1000 ⁻⁴	10 ⁻¹²	Trilionésimo	Bilionésimo

MÚLTIPLOS E SUBMÚLTIPLOS



Complete a tabela com o valor das grandezas:

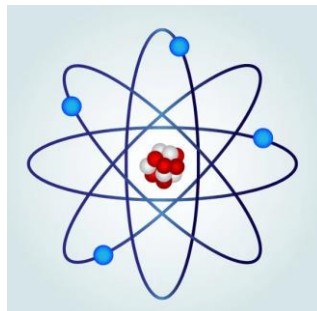
Capacitor de 100 nF	
Tensão de 13,8 kV	
Corrente de 3 mA	
Potência de 100 MW	
Indutor de 50 μ H	
Frequência de 3,5 GHz	

tera	T	1000^4	10^{12}	Trilhão	Bilião
giga	G	1000^3	10^9	Bilhão	Milhar de milhão
mega	M	1000^2	10^6	Milhão	Milhão
quilo	k	1000^1	10^3	Mil	Milhar
hecto	h	$1000^{2/3}$	10^2	Cem	Centena
deca	da	$1000^{1/3}$	10^1	Dez	Dezena
nenhum		1000^0	10^0	Unidade	Unidade
deci	d	$1000^{-1/3}$	10^{-1}	Décimo	Décimo
centi	c	$1000^{-2/3}$	10^{-2}	Centésimo	Centésimo
mili	m	1000^{-1}	10^{-3}	Milésimo	Milésimo
micro	μ	1000^{-2}	10^{-6}	Milionésimo	Milionésimo
nano	n	1000^{-3}	10^{-9}	Bilionésimo	Milésimo de milionésimo
pico	p	1000^{-4}	10^{-12}	Trilionésimo	Bilionésimo

ELETROSTÁTICA



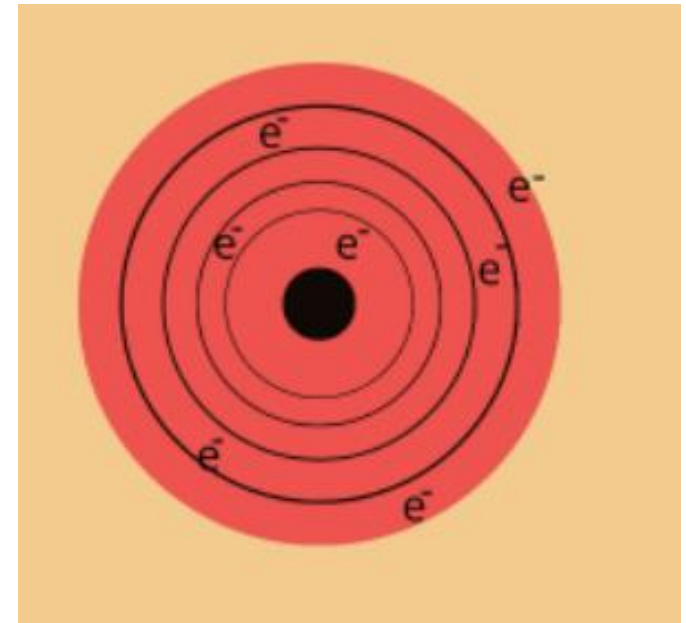
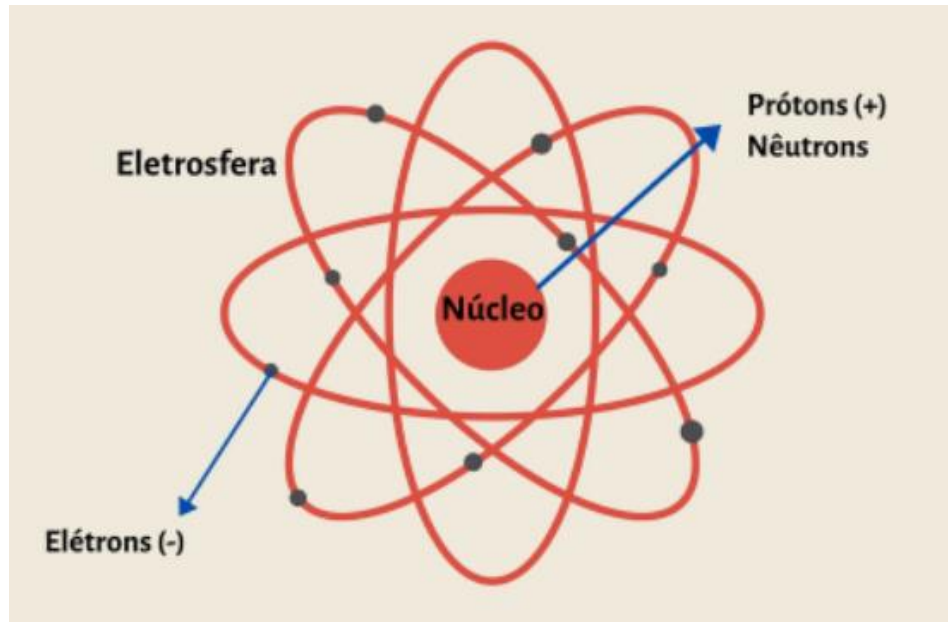
- **O átomo** é a unidade básica da matéria, isto é, a menor parcela em que um elemento pode ser dividido sem perder suas propriedades químicas.
- Ao longo da história, existiram diversos modelos para o átomo, sendo o que o usado atualmente é o de Rutherford Bohr, de 1913.
- Nele o átomo é formado por um núcleo, com cargas neutras (nêutrons) e cargas positivas (prótons), e por cargas negativas que orbitam esse núcleo (elétrons).
- Os elétrons possuem camadas com diferentes níveis de energia, sendo que quanto mais perto do núcleo maior é a energia.



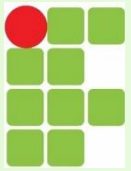
ELETRÓSTÁTICA



➤ O átomo: modelo de Rutherford Bohr.



ELETROSTÁTICA

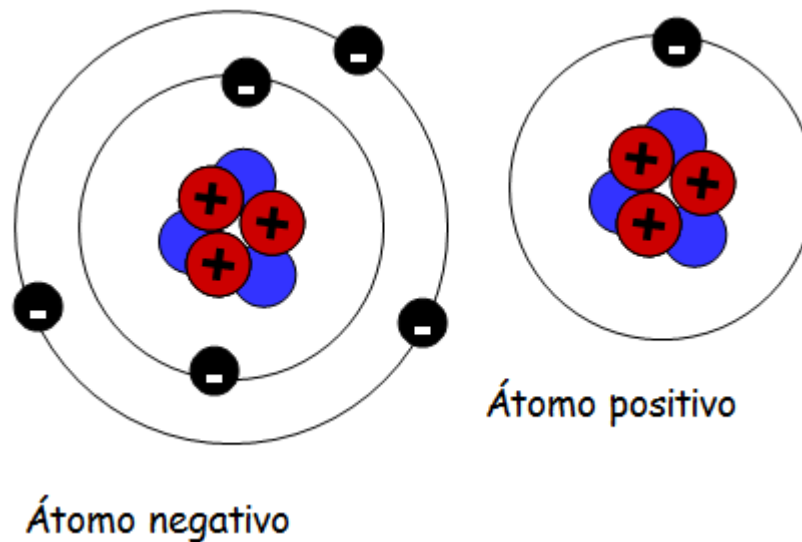


- **Os átomos** possuem o que chamamos de cargas, sendo a do elétron negativa e a do próton positiva.
- **A carga** é definida como uma propriedade das partículas elementares que compõem o átomo.
- A unidade de medida de carga no SI é o **Coulomb (C)**.
- O Coulomb é uma unidade muito grande, costumam-se usar os submúltiplos (mC, μC , nC).
- A chamada de carga elementar é a menor carga presente na natureza, que é a carga do elétron (que é igual a carga do próton).
- Seu valor é $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$

ELETROSTÁTICA



- Um corpo é chamado de neutro quando o número de prótons é igual o número de elétrons, ou seja $N_e = N_p$.
- Um corpo é chamando de negativamente carregado, ou negativo, quando $N_e > N_p$.
- Um corpo é chamando de positivamente carregado, ou positivo, quando $N_e < N_p$.
- Além disso, a carga elétrica é quantizada, ou seja, ela é sempre um múltiplo da carga elétrica elementar.



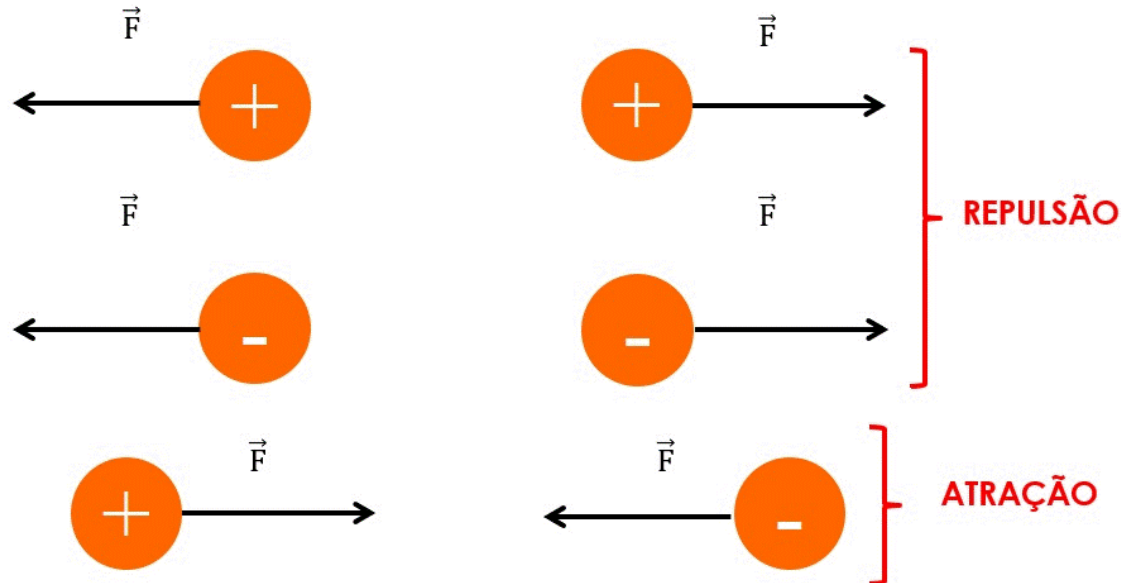
ELETROSTÁTICA



Princípios da eletrostática:

Princípio da atração e repulsão:

- Cargas de mesmo sinal se repelem
- Cargas de sinais diferentes se atraem



ELETROSTÁTICA



Princípios da eletrostática:

Princípio da conservação de carga:

- Conservação da carga elétrica é o princípio em física que estipula que a carga elétrica não pode ser criada ou destruída.
- Ou seja, em um processo de eletrização, a carga final é igual a carga inicial.

ELETROSTÁTICA



Princípios da eletrostática:

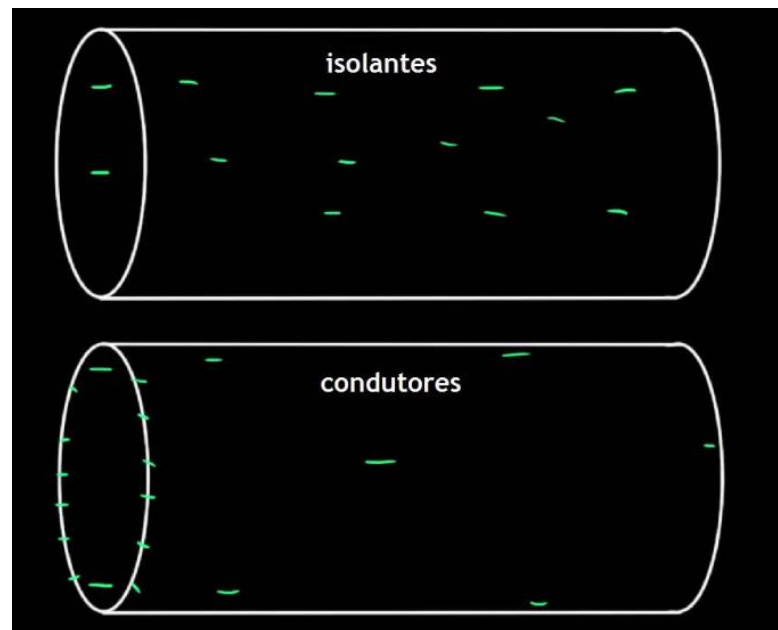
Materiais condutores e isolantes:

- Os **condutores** são materiais que possibilitam a movimentação de cargas elétricas em seu interior com grande facilidade. Esses materiais possuem uma grande quantidade de elétrons livres, que podem ser conduzidos quando neles aplicamos uma diferença de potencial. Metais como cobre, platina e ouro são bons condutores.
- Os materiais **isolantes** são aqueles que oferecem grande oposição à passagem de cargas elétricas. Nesses materiais, os elétrons encontram-se, de modo geral, fortemente ligados aos núcleos atômicos e, por isso, não são facilmente conduzidos. Materiais como borracha, silicone, vidro e cerâmica são bons exemplos de isolantes.

ELETROSTÁTICA



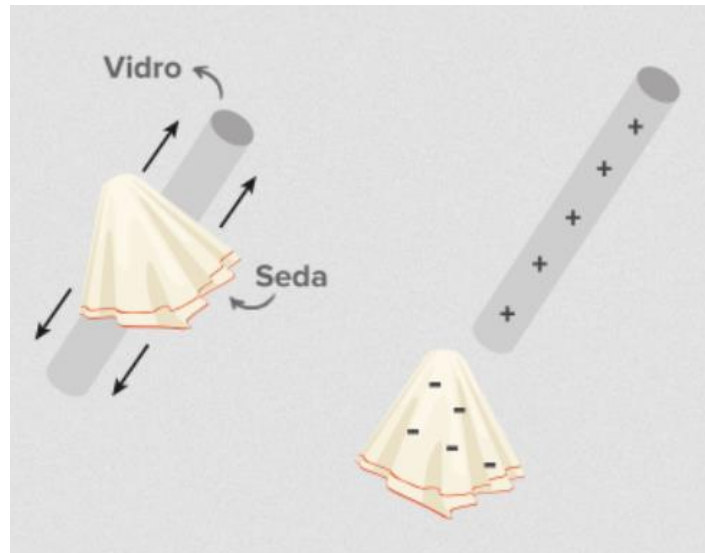
- Nos condutores os elétrons se deslocam livremente pelo material.
- Nos isolantes, mesmo quando eletrizados, os elétrons não conseguem se mover pelo material.



ELETRIZAÇÃO POR ATRITO



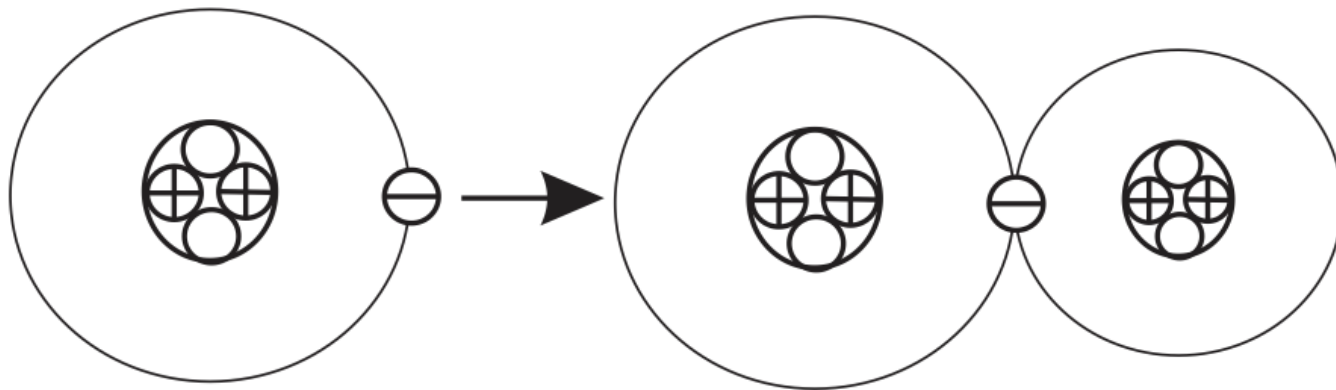
- Nesta aula veremos os processos de eletrização, começando pela eletrização por atrito.
- Quando dois materiais diferentes são atritados um contra o outro, um deles tende a perder elétrons, ficando positivo, e o outro tende a ganhar elétrons, ficando negativo.



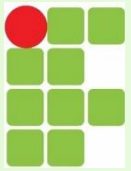
ELETRIZAÇÃO POR ATRITO



- Isso acontece, porque em alguns materiais, os elétrons estão mais próximos do núcleo que em outros.
- Quando os materiais são atritados, o material com elétrons mais próximos do núcleo “rouba” os elétrons do material com elétrons mais distantes do núcleo.



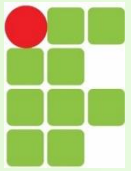
ELETRIZAÇÃO POR ATRITO



- Mas, como saber quem rouba elétrons de quem?
- Para isso existe a série triboelétrica.
- Os materiais mais acima na tabela perdem elétrons, ou seja, ficam positivos quando atritados com os materiais mais abaixo na tabela.
- Esta tabela foi obtida por “tentativa e erro”.

Pele humana	
Couro	
Pele de coelho	
Vidro liso	
Cabelo humano	
Fibra sintética	
Lã	
Pele de gato	
Seda	
Alumínio	
Papel ou papelão fino	
Algodão	
Madeira	
Âmbar	
Borracha dura	
Poliéster	
Isopor	
Filme PVC	
Poliuretano	
Polipropileno	
Silicone	
Teflon	

ELETRIZAÇÃO POR ATRITO



Exercício:

- Quando os seguintes materiais são atritados, quais ficam positivos e quais ficam negativos?

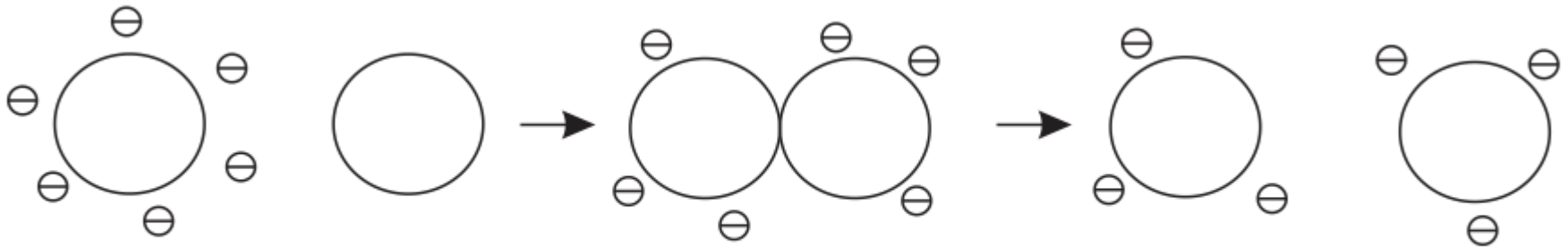
Material 1	Material 2	Positivo	Negativo
Vidro	Couro		
Vidro	Lã		
Seda	Vidro		
Seda	Âmbar		
Poliéster	Madeira		
Poliéster	Alumínio		
Papel	Vidro		
Papel	Silicone		

Pele humana	
Couro	
Pele de coelho	
Vidro liso	
Cabelo humano	
Fibra sintética	
Lã	
Pele de gato	
Seda	
Alumínio	
Papel ou papelão fino	
Algodão	
Madeira	
Âmbar	
Borracha dura	
Poliéster	
Isopor	
Filme PVC	
Poliuretano	
Polipropileno	
Silicone	
Teflon	

ELETRIZAÇÃO POR CONTATO



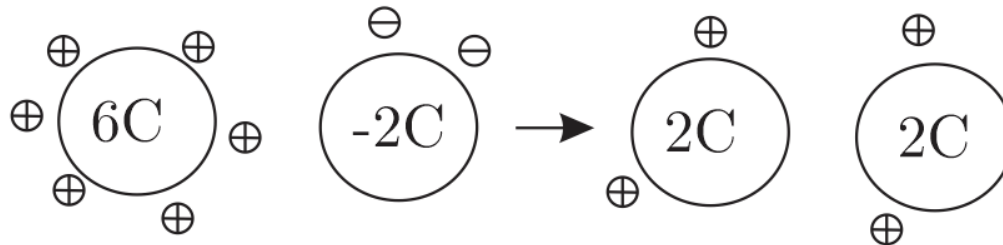
- A eletrização por contato é válida apenas para materiais condutores;
- Quando dois objetos condutores de mesmo tamanho entram em contato, a carga final será sempre a carga inicial dividido por dois.
- Isso ocorre porque as cargas ficam o mais afastado possível nos condutores.



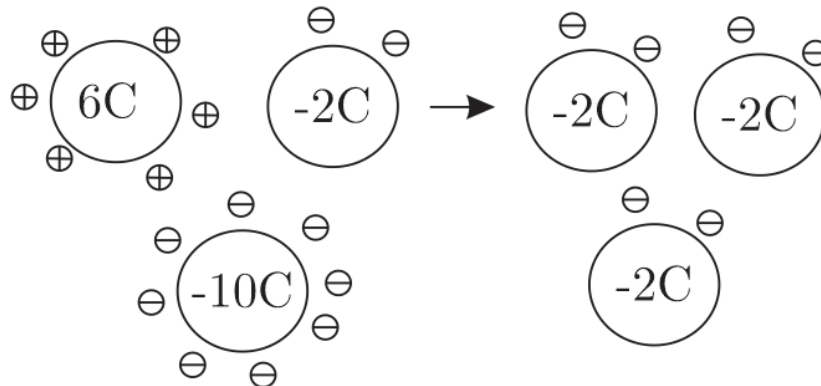
ELETRIZAÇÃO POR CONTATO



- O resultado final para objetos do mesmo tamanho será sempre a soma da carga dividido pelo número de objetos.
- $Q_f = Q_i \rightarrow Q_f = (Q_1 + Q_2)/2 \rightarrow Q_f = (6 - 2)/2 = 4/2 = 2 \text{ C}$



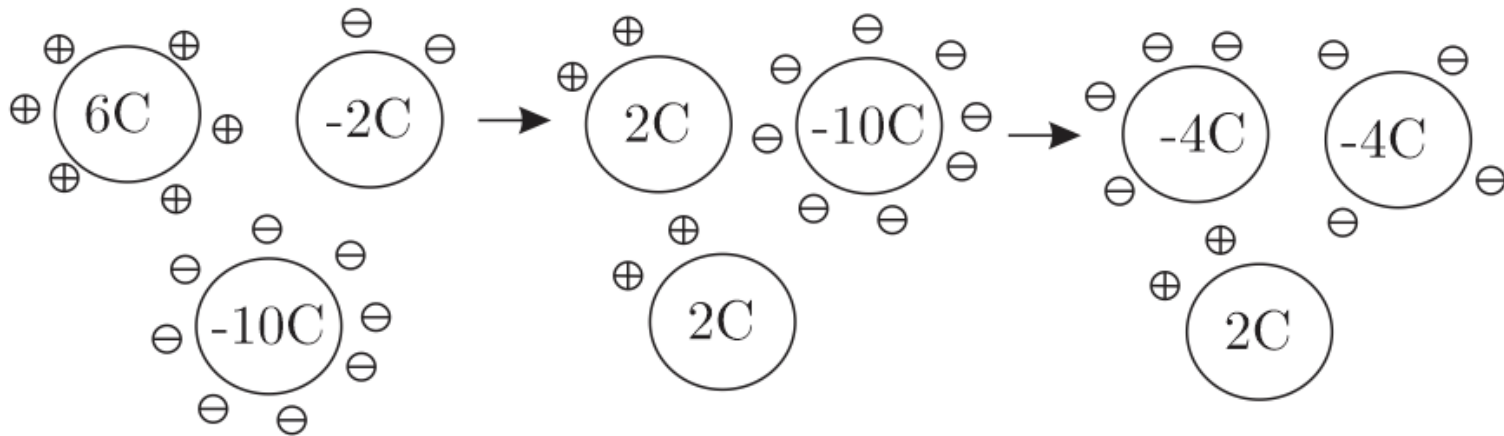
- $Q_f = (6 - 2 - 10)/3 = 6/3 = -2 \text{ C}$



ELETRIZAÇÃO POR CONTATO



- Quando os objetos sofrem contato em momentos diferentes, deve se realizar a distribuição de cargas caso por caso.
- $Q_{f1} = (6-2)/2 = 2 \text{ C} \rightarrow Q_{f2} = (2-10)/2 = 4/2 = -4 \text{ C}$

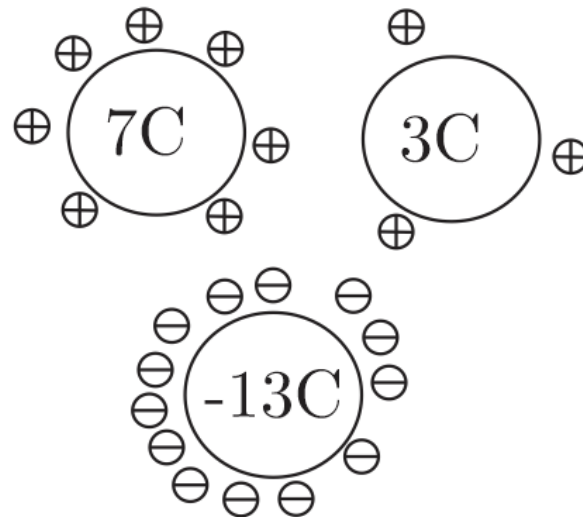


ELETRIZAÇÃO POR CONTATO



Exercício:

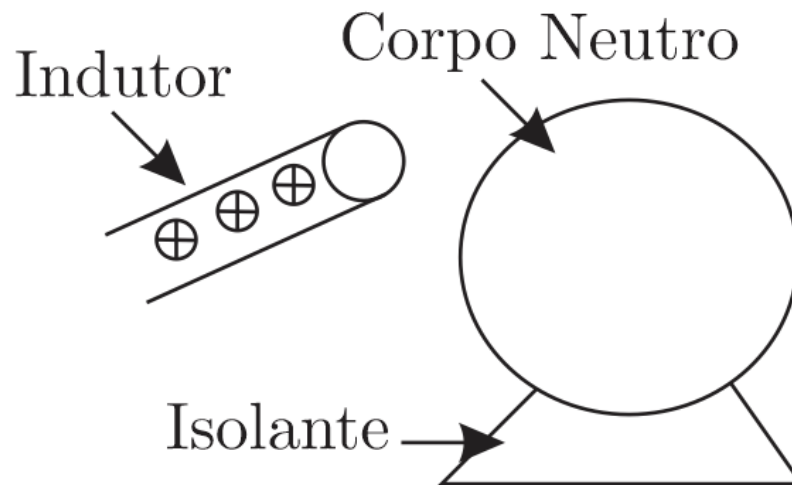
- 1) Determine a carga final de cada objeto para o caso em que os três tenham contato ao mesmo tempo.
- 2) Determine a carga final de cada objeto para o caso em que o objeto com carga 7 C tenha contato com o objeto de carga 3 C , e depois de afastados tenha contato com o objeto de carga -13 C , e depois afastados novamente.



ELETRIZAÇÃO POR INDUÇÃO



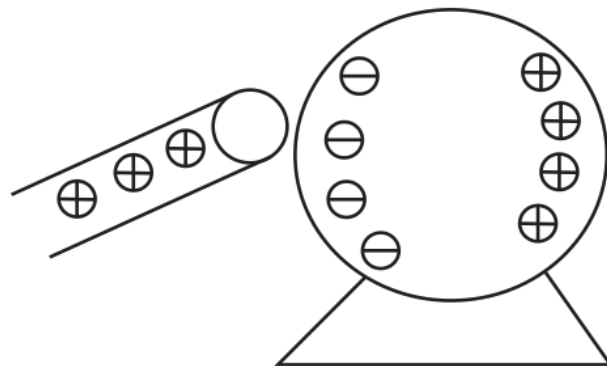
- Na eletrização por indução, um corpo carregado, chamado de indutor, é aproximado de um corpo neutro.
- Não há nenhum tipo de contato entre o corpo e o chamado de indutor.
- Esse tipo de eletrização é feito em alguns passos.



ELETRIZAÇÃO POR INDUÇÃO



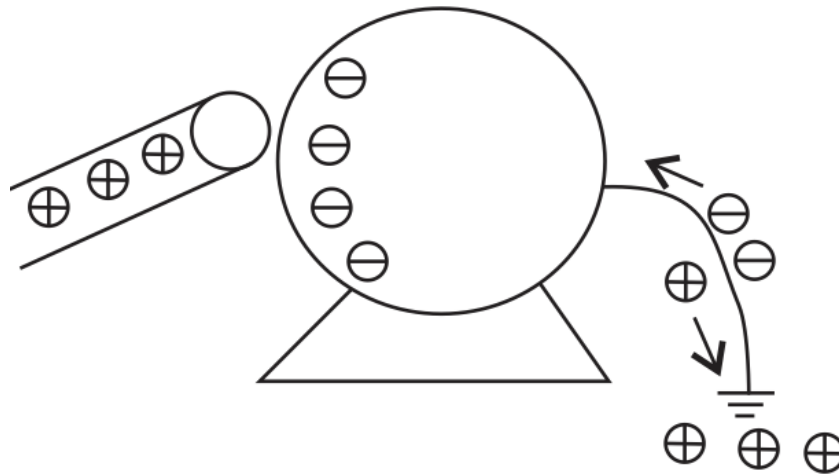
- 1º passo: O “indutor” é aproximado do corpo neutro.
- Nesse momento, a carga de polaridade oposta ao indutor é atraída para o lado mais próximo dele.
- Já a carga de mesmo sinal do indutor, é repelida para o lado oposto.
- Observe que o corpo continua neutro, as cargas apenas foram deslocadas.



ELETRIZAÇÃO POR INDUÇÃO



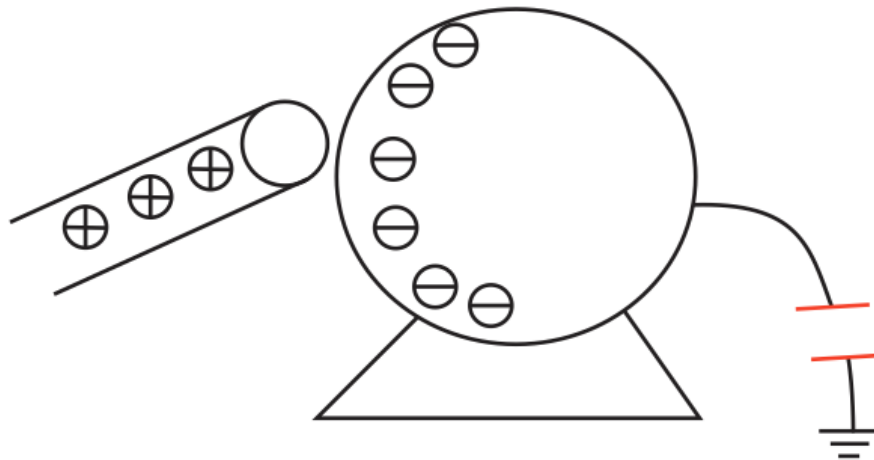
- 2º passo: O corpo neutro é aterrado usando um condutor.
- A terra pode ser considerada como uma fonte ilimitada de cargas.
- Quando o corpo é aterrado, as cargas de mesma polaridade do indutor são deslocadas para a terra.
- Enquanto isso, mais cargas de polaridade oposta ao indutor passa da terra para o corpo.



ELETRIZAÇÃO POR INDUÇÃO



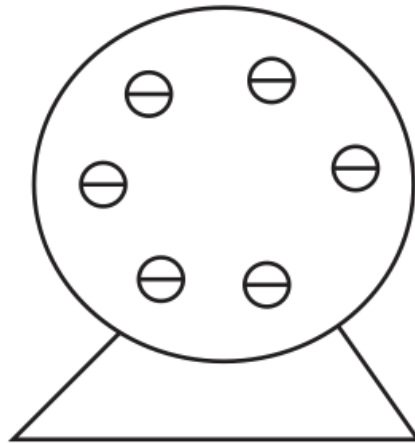
- 3º passo: É removido o aterramento.
- Nesse momento, o corpo inicialmente neutro fica carregado com carga oposta ao do indutor
- Observe que não se pode retirar o indutor antes de remover o aterramento, pois as cargas seriam absorvidas pela terra.



ELETRIZAÇÃO POR INDUÇÃO



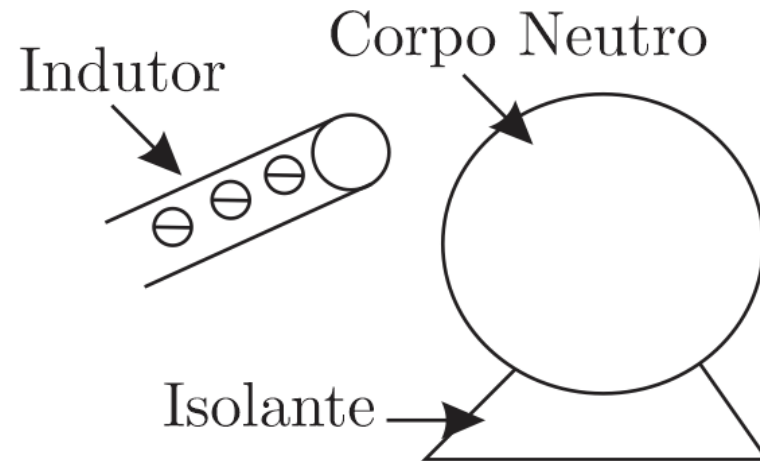
- 4º passo: O indutor é removido.
- O corpo fica então carregado com polaridade oposta a do indutor.
- A carga resultante é sempre menor que a do indutor, e só pode ser determinada através de medição.



ELETRIZAÇÃO POR INDUÇÃO



- Exercício: Realize o passo a passo da eletrização por indução considerando um indutor negativo.

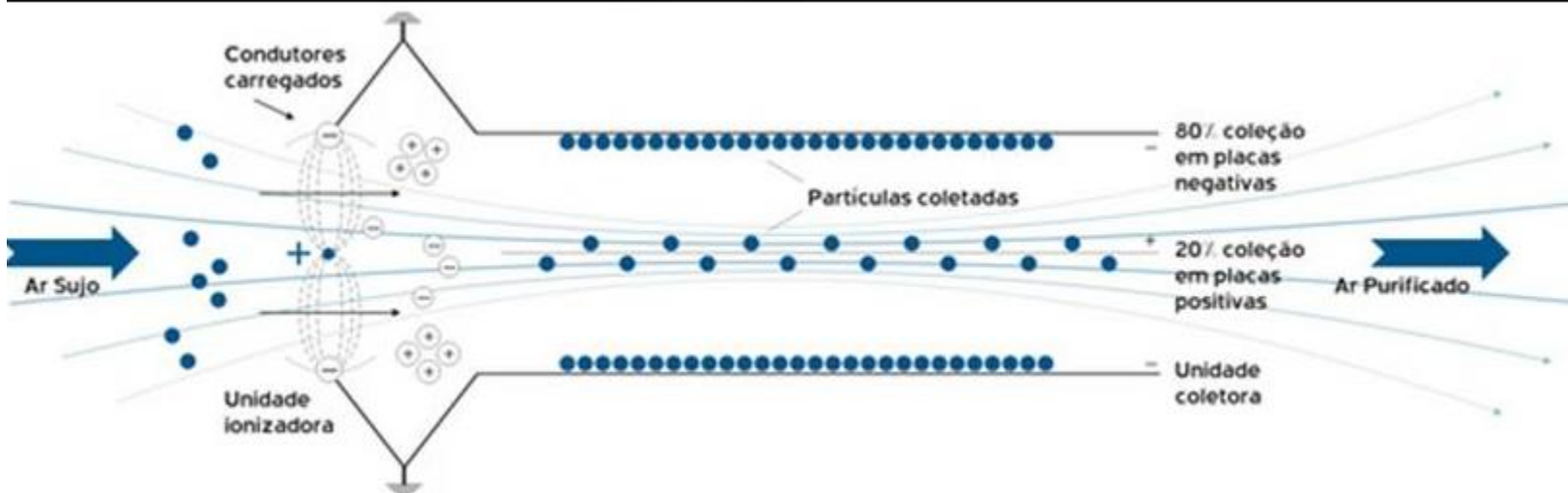


EXEMPLOS PRÁTICOS DE ELETROSTÁTICA



➤ Filtro eletrostático:

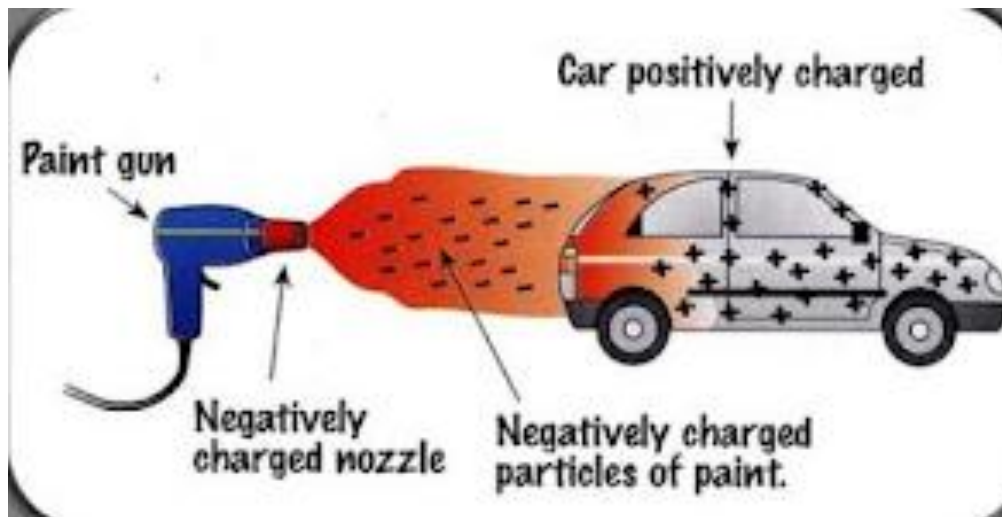
Filtro



EXEMPLOS PRÁTICOS DE ELETROSTÁTICA



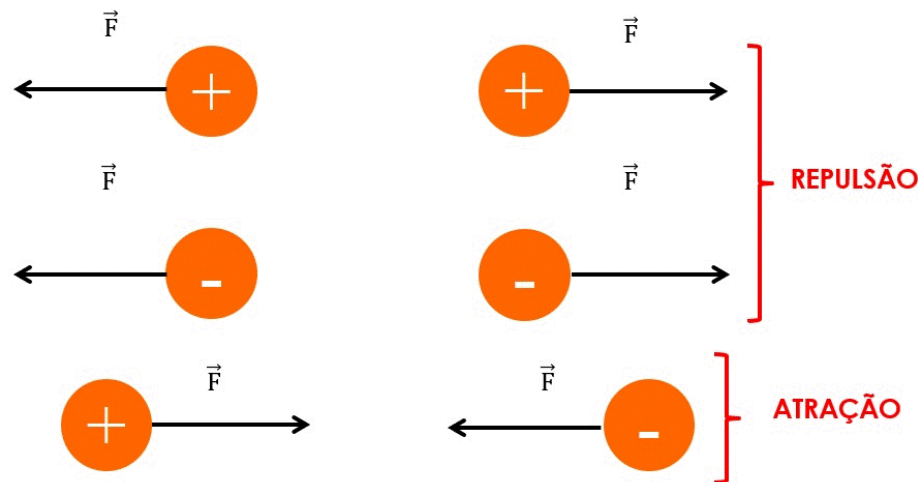
➤ Pintura eletrostática:



FORÇA ELÉTRICA



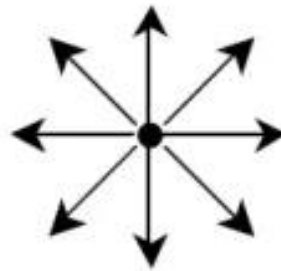
- **Força elétrica** é força que uma carga elétrica exerce sobre outra. Ela é repulsiva para cargas de mesmo sinal e atrativa para cargas de sinais opostos.



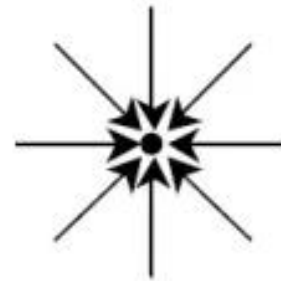
FORÇA ELÉTRICA



- No nosso curso, iremos considerar as cargas como **puntiformes**, ou seja, suas dimensões são desprezíveis, e elas podem ser consideradas como um ponto.



Carga Puntiforme $Q > 0$
As linhas de força
nascem nas cargas
positivas.

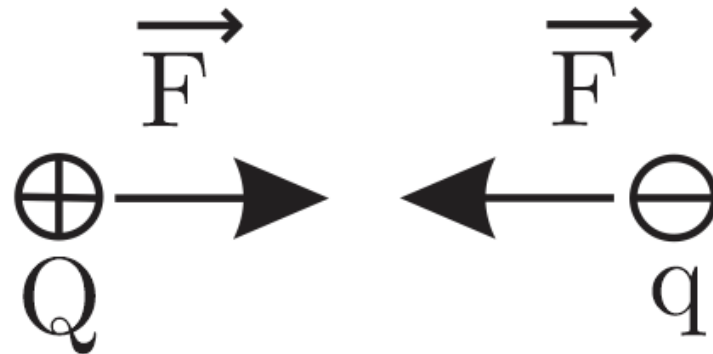
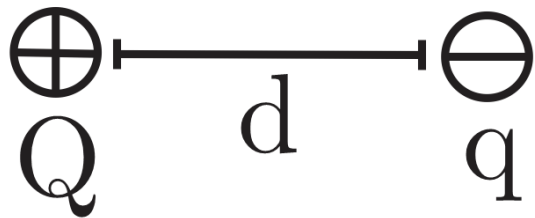


Carga Puntiforme $Q < 0$
As linhas de força
morrem nas cargas
negativas.

FORÇA ELÉTRICA



- A força elétrica também é conhecida como **lei de Coulomb**.
- Ela determina o módulo da força entre duas ou mais cargas elétricas.

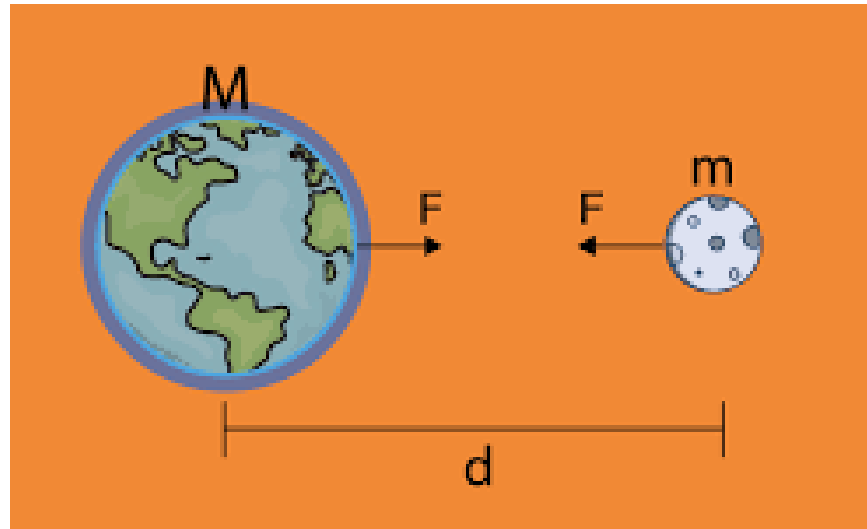


FORÇA ELÉTRICA



- A força elétrica é semelhante a força gravitacional, onde dois corpos de massa m se atraem mutuamente.

$$F = \frac{G * m1 * m2}{d^2}$$



FORÇA ELÉTRICA



- Equação do módulo da força elétrica é a seguinte:

Força Elétrica:

$$F = \frac{K * q * Q}{d^2}$$

Constante Eletrostática:

$$K = \frac{1}{4 * \pi * \epsilon}$$

- Grandezas no SI:
- Carga (q,Q): Coulomb (C);
- Força (F): Newton (N)
- Distância (d): Metros (m)

FORÇA ELÉTRICA



- ϵ é a permissividade elétrica do meio.
- ϵ_0 é a permissividade elétrica no vácuo.
- ϵ_r é a permissividade relativa do meio.

$$\epsilon_0 = 8,85 * 10^{-12}$$

$$\epsilon = \epsilon_0 * \epsilon_r$$

- Uma permissividade maior implica em uma força maior ou menor?

Material	Constante dielétrica ϵ_r
Vácuo	1
Ar	1,0006
Concreto armado	1,51
Teflon	2,1
Papel	3,85
Dióxido de silício	3,9
FR-4	4
Mica	5,6 - 8
Mármore	8,3
Silício	11,7
Titanato de cálcio	150

FORÇA ELÉTRICA



- Usando a permissividade do vácuo, podemos definir a constante K como:

$$K = \frac{1}{4 * \pi * \epsilon_0}$$

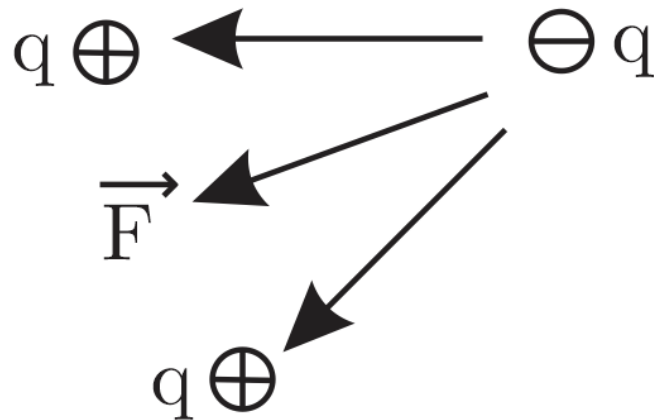
$$K = 9 * 10^9$$

- Grandeza no SI:
- Constante Eletrostática (K) = $N * m^2 / C^2$

FORÇA ELÉTRICA



- Lembrando que a Força é uma grandeza vetorial.
- Quando mais de uma carga está envolvida no processo, deve-se realizar uma soma vetorial para determinar a força resultante.

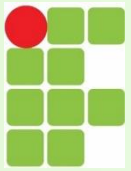


FORÇA ELÉTRICA



- Exemplo:
- Duas cargas puntiformes igualmente carregadas com carga elétrica de $3\mu\text{C}$ estão afastadas uma da outra por uma distância igual a 3 cm e no vácuo. Sabendo que $K_0 = 9 \cdot 10^9 \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$, a força elétrica entre essas duas cargas será:
 - a) de repulsão e de intensidade de 27 N
 - b) de atração e de intensidade de 90 N
 - c) de repulsão e de intensidade de 90 N
 - d) de repulsão e de intensidade de 81 N
 - e) de atração e de intensidade de 180 N

FORÇA ELÉTRICA



$$F = \frac{K * q * Q}{d^2}$$

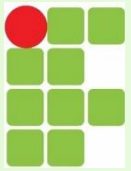
➤ $F = 9 * 10^9 * 3 * 10^{-6} * 3 * 10^{-6} / 0,03^2$

➤ $F = 81 * 10^{-3} / 9 * 10^{-4}$

➤ $F = 90 \text{ N}$

➤ Resposta: c) de repulsão e de intensidade 90 N

FORÇA ELÉTRICA



(UF - JUIZ DE FORA) Duas esferas igualmente carregadas, no vácuo, repelem-se mutuamente quando separadas a uma certa distância. Triplicando a distância entre as esferas, a força de repulsão entre elas torna-se:

- a) 3 vezes menor
- b) 6 vezes menor
- c) 9 vezes menor
- d) 12 vezes menor
- e) 9 vezes maior

$$F = \frac{K * q * Q}{d^2}$$

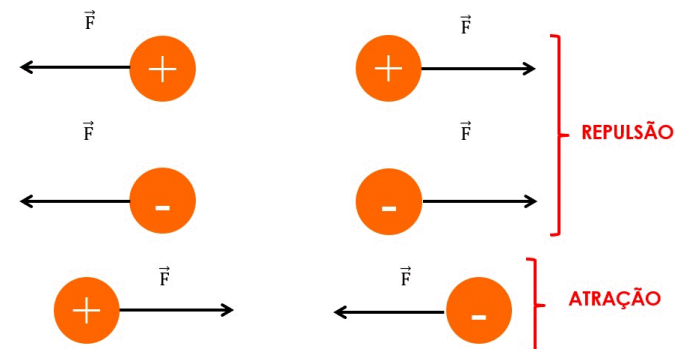
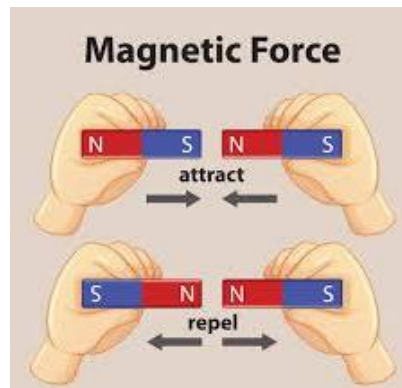
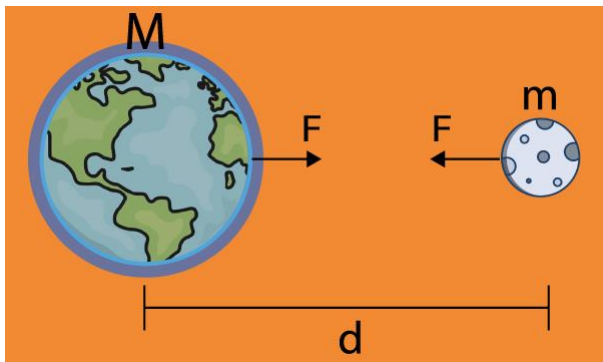
CAMPO ELÉTRICO



Forças de campo: Pode ser descrita como uma força aplicada em um corpo por outro à distância, sem a necessidade de contato entre eles.

Exemplos:

- Força Gravitacional
- Força Magnética
- Força Elétrica



CAMPO ELÉTRICO



- **O campo elétrico:** É o campo de força provocado pela ação de cargas elétricas ou por sistemas dela.
- O corpo eletrizado causa em torno de si uma capacidade de gerar força.
- Os campos são grandezas vetoriais, possuindo módulo, direção e sentido.
- Ele pode ser encontrado, por exemplo, através de uma analogia com o campo gravitacional.

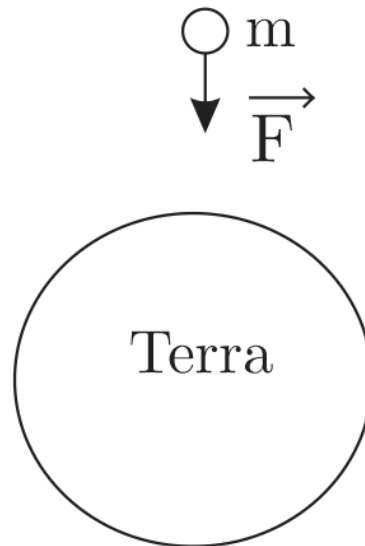
CAMPO ELÉTRICO



- A força causada pela gravidade em um corpo de massa m é dado por:

$$\vec{F} = m \vec{g}$$

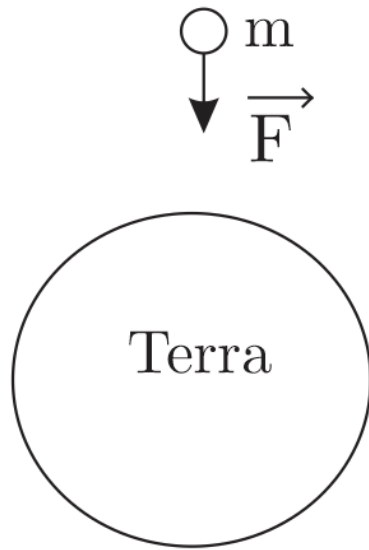
- Essa força é chamada de força peso.



CAMPO ELÉTRICO



- Dividindo a força pela massa, pode-se definir o campo gravitacional g como:



$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}$$

- g e F tem sempre a mesma direção e sentido.

CAMPO ELÉTRICO



- De forma semelhante, podemos definir o campo elétrico causado por uma carga muito grande Q em uma carga q , chamada de carga de prova, como:

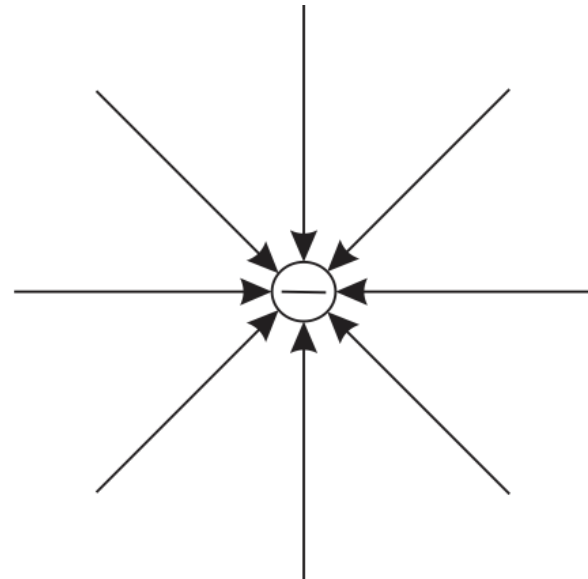
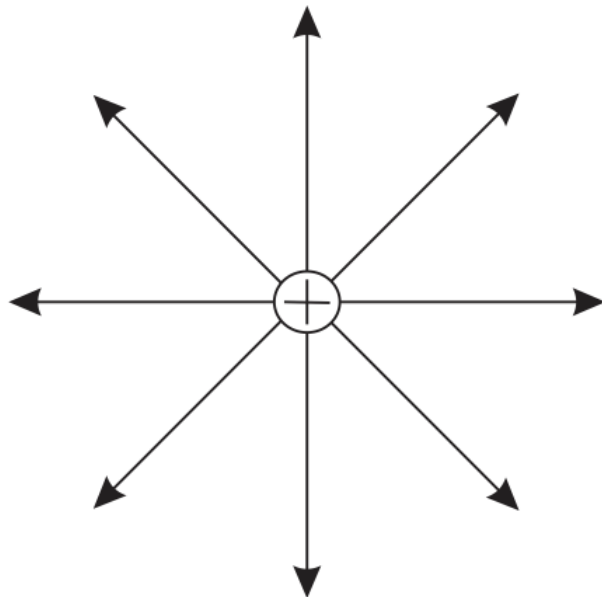
$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m} \qquad \vec{E} = \frac{\vec{F}_{el}}{q}$$

- Diferente do caso do campo gravitacional, E e F_{el} tem mesma direção, mas pode ser o mesmo sentido em caso de cargas opostas, ou sentidos opostos no caso de cargas de mesmo sinal.

CAMPO ELÉTRICO



- **Campo elétrico de cargas puntiformes:**
- As linhas de campo elétrico de uma carga positiva sempre sai da carga.
- As linhas de campo elétrico de uma carga negativa sempre entra da carga.
- Obs: Força elétrica e Campo elétrico não são a mesma coisa! A força elétrica precisa de duas cargas, enquanto o campo pode ser gerado por uma única carga.



CAMPO ELÉTRICO



- Calculando o módulo do campo elétrico:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{el}}{q} \qquad F_{el} = \frac{K \cdot Q \cdot q}{d^2}$$

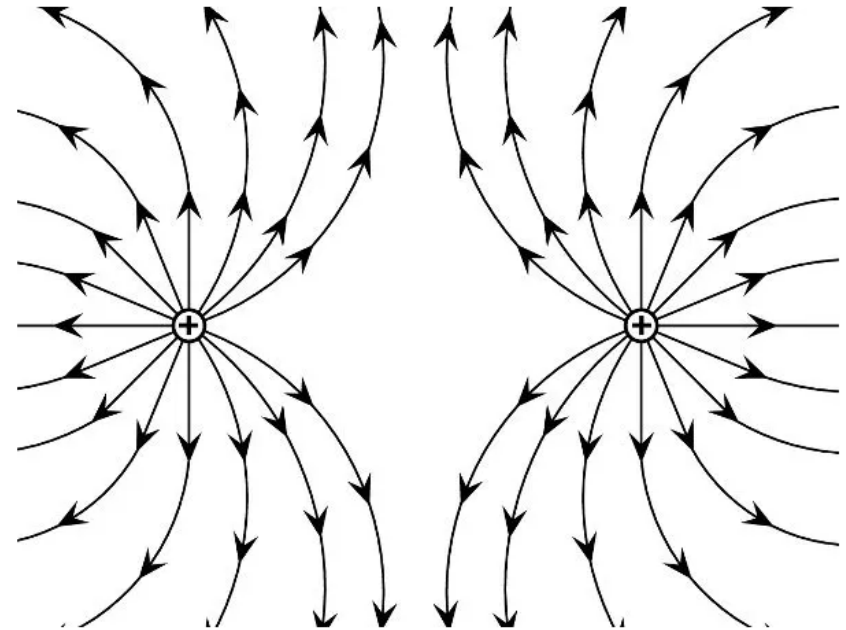
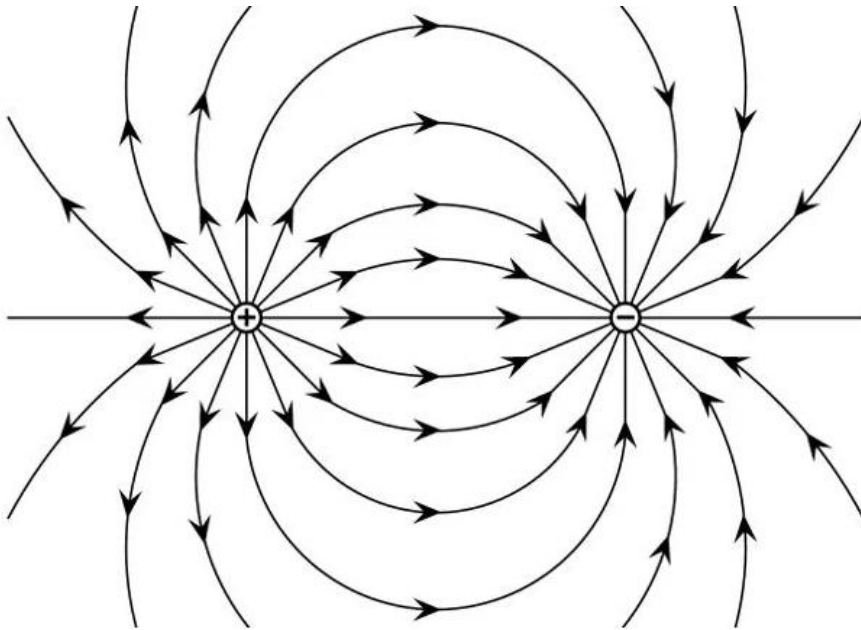
$$E = \frac{\frac{K \cdot Q \cdot q}{d^2}}{q} \qquad E = \frac{K \cdot Q}{d^2}$$

- Unidade no SI: [N/C] (Newton / Coulomb)

CAMPO ELÉTRICO



- Campo gerado por duas ou mais cargas elétricas:

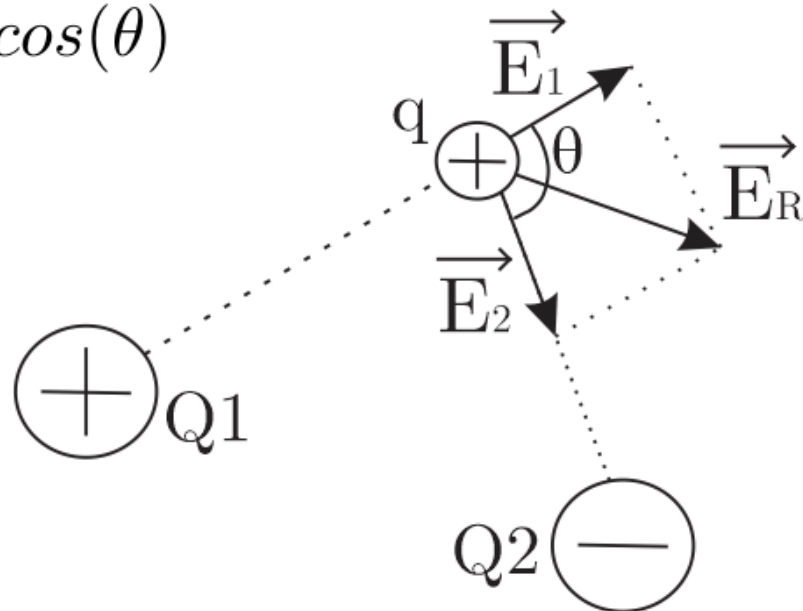


CAMPO ELÉTRICO



- Campo gerado por duas ou mais cargas elétricas:
- O campo elétrico gerado por duas cargas é a resultante da soma vetorial do campo elétrico gerado pela carga Q_1 e do campo elétrico gerado pela carga Q_2 .
- A equação do valor do módulo é:

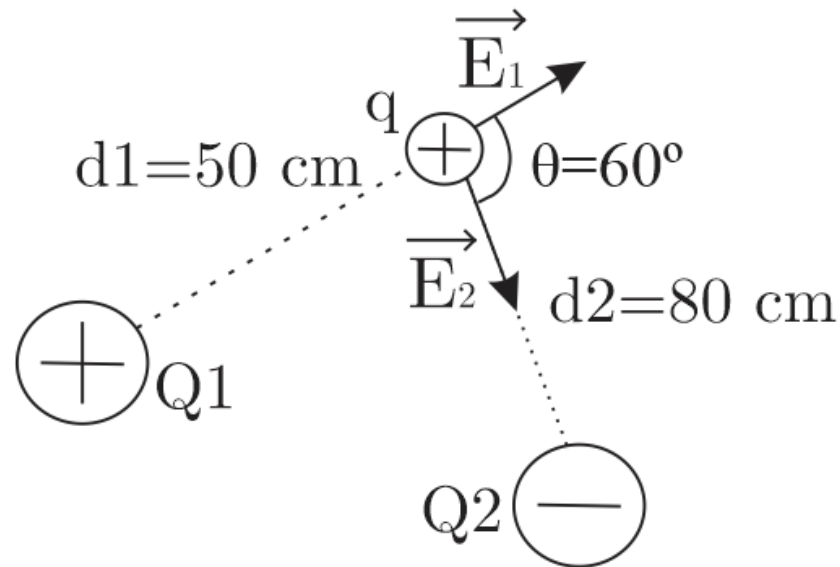
$$E_R^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos(\theta)$$



CAMPO ELÉTRICO



- **Exemplo:**
- Calcule o módulo do campo elétrico resultante de uma carga Q_1 positiva, de valor 10 nC, e uma carga que Q_2 negativa, de valor 15 nC, conforme a Figura:
- Dado: $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$



CAMPO ELÉTRICO



➤ Exemplo:

$$E_1 = \frac{K \cdot Q_1}{d_1^2}$$

$$E_1 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 10^{-9}}{0,5^2}$$

➡ $E_1 = 360 \text{ N/C}$

$$E_2 = \frac{K \cdot Q_2}{d_2^2}$$

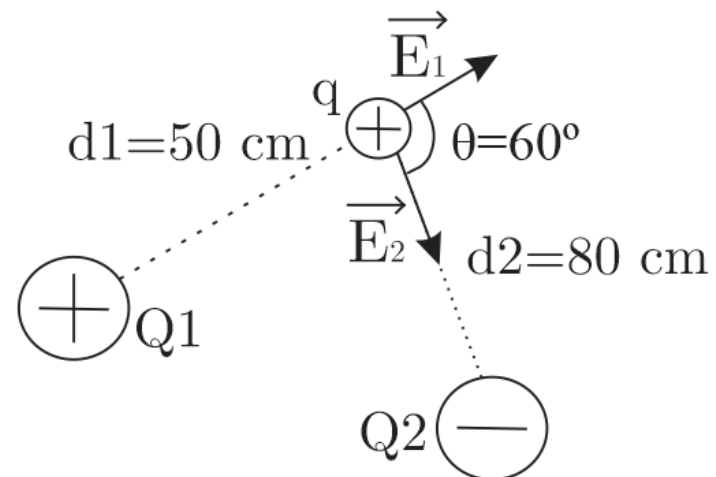
$$E_2 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 15 \cdot 10^{-9}}{0,8^2}$$

➡ $E_2 = 211 \text{ N/C}$

$$E_R^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos(\theta)$$

$$E_R = \sqrt{360^2 + 211^2 + 2 \cdot 360 \cdot 211\cos(60^\circ)}$$

➡ $E_R = 500 \text{ N/C}$

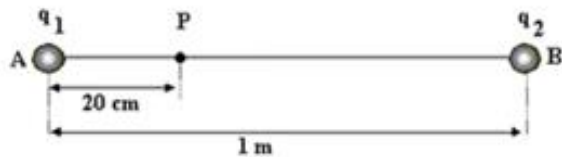


CAMPO ELÉTRICO



➤ Exercício:

5. (MACK) As cargas puntiformes $q_1 = 20 \mu\text{C}$ e $q_2 = 64 \mu\text{C}$ estão fixas no vácuo ($k_0 = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$), respectivamente nos pontos A e B. O campo elétrico resultante no ponto P tem intensidade de:



- a) $3,0 \times 10^6 \text{ N/C}$
- b) $3,6 \times 10^6 \text{ N/C}$
- c) $4,0 \times 10^6 \text{ N/C}$
- d) $4,5 \times 10^6 \text{ N/C}$
- e) $5,4 \times 10^6 \text{ N/C}$

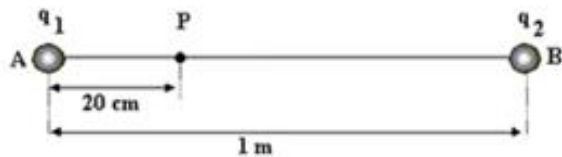
- **Obs:** As cargas são positivas.
- As cargas de prova são sempre positivas.

CAMPO ELÉTRICO



➤ Exercício:

5. (MACK) As cargas puntiformes $q_1 = 20 \mu\text{C}$ e $q_2 = 64 \mu\text{C}$ estão fixas no vácuo ($k_0 = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$), respectivamente nos pontos A e B. O campo elétrico resultante no ponto P tem intensidade de:



$$E_1 = \frac{K \cdot Q_1}{d_1^2}$$

$$E_2 = \frac{K \cdot Q_2}{d_2^2}$$

a) $3,0 \times 10^6 \text{ N/C}$

b) $3,6 \times 10^6 \text{ N/C}$

c) $4,0 \times 10^6 \text{ N/C}$

d) $4,5 \times 10^6 \text{ N/C}$

e) $5,4 \times 10^6 \text{ N/C}$

$$E_1 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{0,2^2}$$

$$E_2 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 64 \cdot 10^{-6}}{0,8^2}$$

$$E_1 = 4,5 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

$$E_2 = 0,9 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

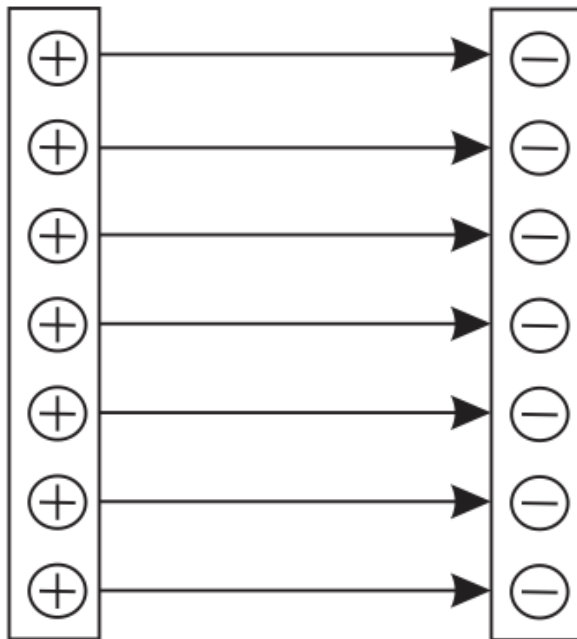
$$E_R = E_1 - E_2 = 4,5 \cdot 10^6 - 0,9 \cdot 10^6$$

$$\rightarrow E_R = 3,6 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

CAMPO ELÉTRICO



- **Campo elétrico uniforme**
- Pode ser gerado por duas placas paralelas com cargas opostas.
- Ele é uniforme porque tem o mesmo valor em qualquer ponto.



$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \sigma = \frac{Q}{a}$$

ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA

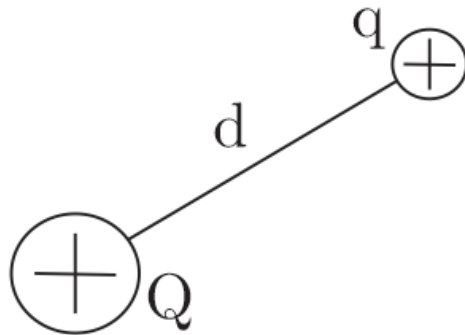


- Assim como a força elétrica e o campo elétrico, a energia potencial elétrica é análoga a energia potencial gravitacional.
- Ela é forma de energia relacionada à posição relativa entre pares de cargas elétricas.
- Na energia potencial gravitacional, quando uma carga massa é movimentada de uma altura a outra, uma energia é ganha ou gasta em forma de trabalho.
- Da mesma forma, para movimentar uma carga em um campo elétrico, é necessário uma energia, que é transferida em forma de trabalho.
- A energia é uma grandeza escalar, e sua unidade no SI é o Joule [J].

ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA



- A equação da energia potencial elétrica entre duas cargas é dada por:

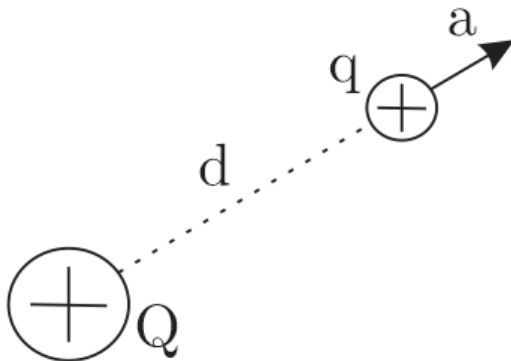


$$E_{el} = \frac{K \cdot Q \cdot q}{d}$$

ENERGIA POTENCIAL ELÉTRICA



- Por exemplo, se a carga q for “solta” próxima a carga Q , ela irá acelerar, ganhando energia cinética.
- Mas a energia não surge do nada, os sistemas energéticos são conservativos.
- Neste caso, a energia potencial elétrica foi transformada em energia cinética.



$$E_{el} = \frac{K \cdot Q \cdot q}{d}$$

POTENCIAL ELÉTRICO

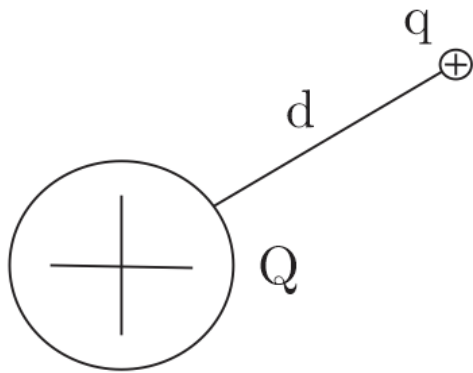


- De forma semelhante ao que foi realizado entre a força elétrica e o campo elétrico, pode-se colocar uma carga de prova próxima a uma grande carga e analisar o comportamento da energia.
- É definido então o Potencial Elétrico, que é a quantidade de energia necessária para mover uma carga elétrica unitária entre dois pontos distintos de uma região dotada de um campo elétrico.
- Sua unidade no SI é o Volt [V], ou Joule por Coulomb [J/C]

POTENCIAL ELÉTRICO



- A energia no ponto onde está a carga q dividido pela própria carga é o potencial elétrico. A unidade é Joule por Coulomb (J/C) ou Volt (V).
- O potencial elétrico é pontual. O que temos em eletrodinâmica é uma diferença de potencial, também chamada de tensão elétrica.



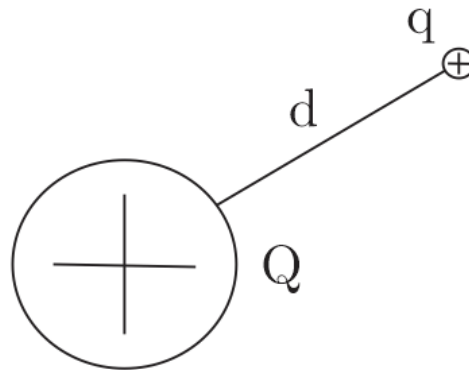
$$V = \frac{E_{el}}{q}$$

POTENCIAL ELÉTRICO



➤ A equação do potencial elétrico pode ser definida por:

$$V = \frac{E_{el}}{q} \quad E_{el} = \frac{K \cdot Q \cdot q}{d} \quad V = \frac{K \cdot Q}{d}$$



POTENCIAL ELÉTRICO



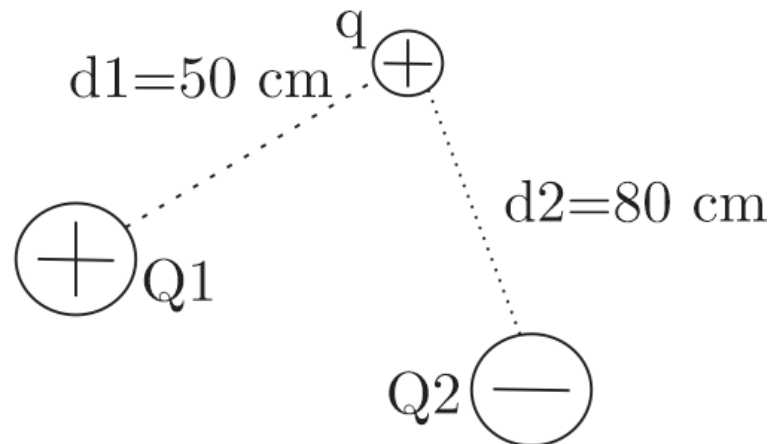
- O cálculo do potencial elétrico gerado por várias cargas é semelhante ao caso do campo elétrico.
- No entanto, o potencial elétrico é uma grandeza escalar, dessa forma, o potencial elétrico causado em um ponto por várias cargas é simplesmente a soma do potencial causado por cada carga.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \dots$$

POTENCIAL ELÉTRICO



- **Exemplo:**
- Calcule o potencial elétrico resultante de uma carga Q_1 positiva, de valor 10 nC, e uma carga que Q_2 negativa, de valor 15 nC, conforme a Figura:
- Dado: $K = 9 * 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$



POTENCIAL ELÉTRICO



$$V_1 = \frac{K \cdot Q_1}{d_1}$$

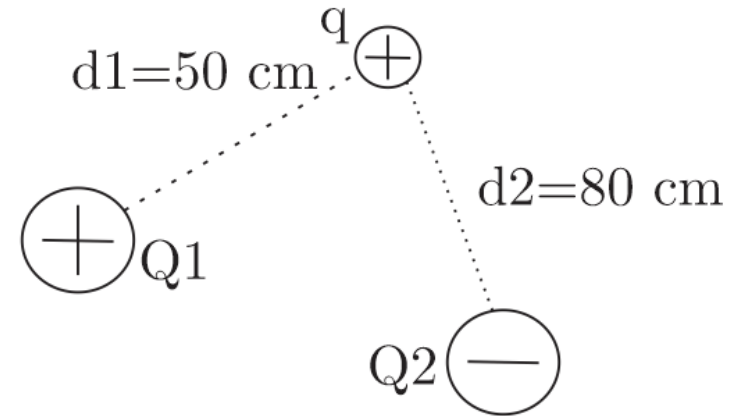
$$V_1 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10 \cdot 10^{-9}}{0,5}$$

➡ $V_1 = 180V$

$$V_2 = \frac{K \cdot Q_2}{d_2}$$

$$V_2 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot -15 \cdot 10^{-9}}{0,8}$$

➡ $V_2 = -169V$

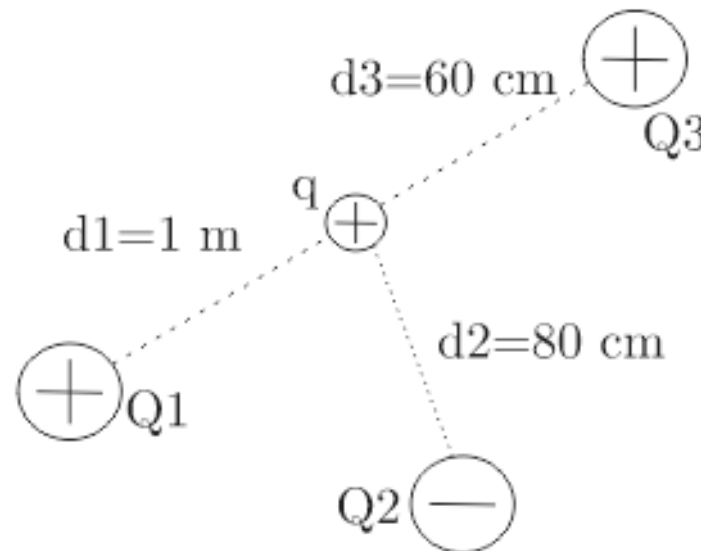


➡ $V_R = V_1 + V_2 = 180 - 169 = 11V$

POTENCIAL ELÉTRICO



- **Exercício:**
- Calcule o potencial elétrico resultante de uma carga Q_1 positiva, de valor 50 nC, e uma carga que Q_2 negativa, de valor 80 nC, e uma carga Q_3 de 20 nC, conforme a Figura:
- Dado: $K = 9 * 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$



POTENCIAL ELÉTRICO



➤ Exercício:

- Calcule o potencial elétrico resultante de uma carga Q_1 positiva, de valor 50 nC, e uma carga que Q_2 negativa, de valor 80 nC, e uma carga Q_3 de 20 nC, conforme a Figura:
- Dado: $K = 9 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$

$$V_R = \frac{K \cdot Q_1}{d_1} - \frac{K \cdot Q_2}{d_2} + \frac{K \cdot Q_3}{d_3}$$

$$V_R = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 50 \cdot 10^{-9}}{1} - \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 80 \cdot 10^{-9}}{0,8} + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 20 \cdot 10^{-9}}{0,6}$$

$$V_R = 450 - 900 + 300$$

➡ $V_R = -150V$

