

## VI - ELETROSTÁTICA

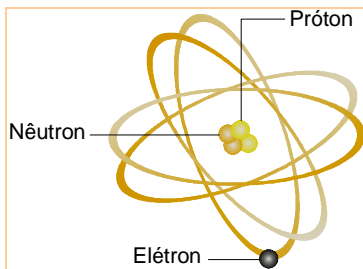
### 4 - ELETRIZAÇÃO

Os fenômenos elétricos são conhecidos desde a Antiguidade. Cerca de 400 anos a.C., os gregos sabiam que quando se esfregava âmbar, este atraía pequenas espigas de palha. Os etruscos já sabiam orientar os relâmpagos.

Em 1726, um estudante de Newton, Stephen Gray, demonstrou que a eletricidade produzida ao esfregar um objeto podia viajar por um fio de cânhamo. No entanto, os fenômenos elétricos só foram descritos formalmente em meados do século XVIII, nomeadamente por **Charles Coulomb** na França e por Galvani e Volta na Itália.

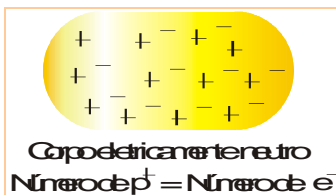
#### 4.1- CORPO ELETRIZADO

Verifica-se que, normalmente, o átomo se apresenta com número de elétrons igual ao de prótons e, conseqüentemente, ele está neutro.

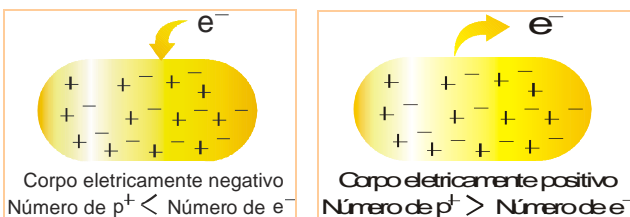


É possível, porém, retirar ou acrescentar elétrons na eletrosfera do átomo, tornando-o um íon.

Se um átomo perde elétrons de sua eletrosfera, o número de prótons predominará e o átomo tornar-se-á um íon positivo (cátion). Por outro lado, se ele receber um ou mais elétrons na eletrosfera, tornar-se-á um íon negativo (ânion).



Dizemos que um corpo está eletrizado quando ele apresenta excesso ou falta de elétrons.



\* Eletrizado positivamente: perde elétrons.

\* Eletrizado negativamente: ganha elétrons.

Na natureza, existem grandezas que podem ser divididas indefinidamente em partes menores, como, por exemplo, um intervalo de tempo. São chamadas grandezas contínuas, pois suas medidas podem corresponder a qualquer número real. Há também grandezas que possuem um limite para a sua divisão em partes menores. São chamadas **grandezas quantizadas**. É o caso da carga elétrica de um corpo. A quantidade de carga elétrica total ( $q$ ) é sempre um número inteiro ( $n$ ) de vezes o valor elementar ( $e$ )

$$q = n \cdot e$$

$n$  = nº de elétrons em excesso ou falta  
 $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C (carga elementar)

### 4.2- PRINCÍPIOS DA ELETROSTÁTICA

a) *Princípio da Atração e Repulsão*: cargas de mesmo sinal se repelem e de sinais opostos se atraem.

b) *Princípio da Conservação das Cargas Elétricas*: num sistema eletricamente isolado, a soma algébrica das cargas positivas e negativas é constante.

### 4.3- CONDUTORES E ISOLANTES

Para que um material seja condutor de eletricidade, é necessário que ele possua portadores de carga elétrica livres. Esses portadores podem ser elétrons, íons ou ainda ambos. Os principais condutores elétricos são:

- **os metais**: os portadores de carga elétrica são os elétrons.
- **as soluções eletrolíticas**: os portadores de carga elétrica são os íons.
- **os gases ionizados**: os portadores de carga são íons e os elétrons.

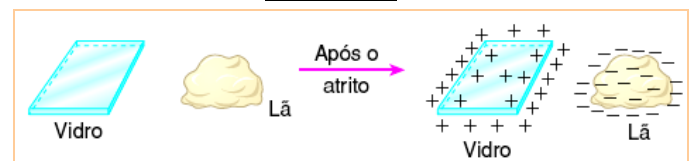
Por outro lado, os materiais que possuem portadores de carga elétrica em pequena quantidade em relação ao total de partículas são chamados **isolantes**. São exemplos de isolantes: borracha, porcelana, madeira seca, porcelana, plástico, etc.

### 4.4- PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO

#### A) Eletrização por atrito

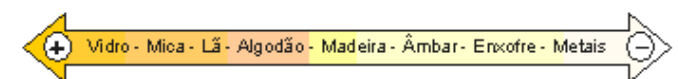
Ao atritar vigorosamente dois corpos de materiais diferentes, A e B, estamos fornecendo energia para que haja transferência de energia de um corpo para outro. Supondo que a interação aconteça unicamente entre esses dois corpos, os elétrons cedidos por um são os recebidos pelo outro.

Algebricamente temos:  $q_A = -q_B$ .



• Pelos menos um dos corpos deve ser isolante; caso contrário os elétrons retornam ao corpo original antes que se desfaça o contato.

• Materiais diferentes têm diferentes tendências de ceder ou receber elétrons. Essa tendência pode ser ordenada em uma escala, chamada **série triboelétrica**.



#### B) Eletrização por contato

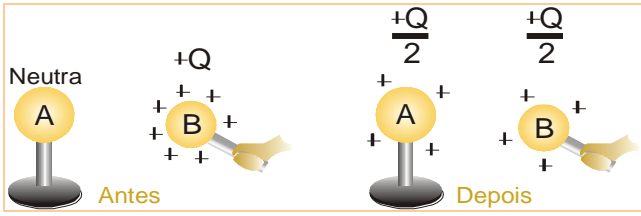
A eficiência nessa forma de eletrização vai depender de os corpos serem condutores ou isolantes. Se um deles for isolante, a eletrização será local, isto é, vai restringir-se ao ponto de contato.

Se os dois corpos forem condutores, durante o contato, que pode durar uma fração de segundo, o excesso ou a falta de elétrons distribuir-se-á pelos dois corpos, de acordo com a capacidade que cada um tem de armazenar cargas elétricas.



$$Q_{\text{TOTAL}} \text{ (antes do contato)} = Q_{\text{TOTAL}} \text{ (depois do contato)}$$

Se os corpos forem de materiais condutores, tiverem dimensões iguais e mesma forma as cargas serão iguais.

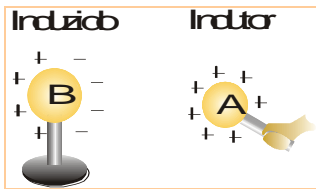


- A capacidade de armazenamento de cargas elétricas de um corpo aumenta de acordo com as suas dimensões.
- Se um corpo eletrizado e condutor for colocado em contato com outro corpo neutro, mas de dimensões muito maiores, o corpo menor ficará praticamente neutro. É o que ocorre quando ligamos um corpo eletrizado à terra: ele se descarrega.



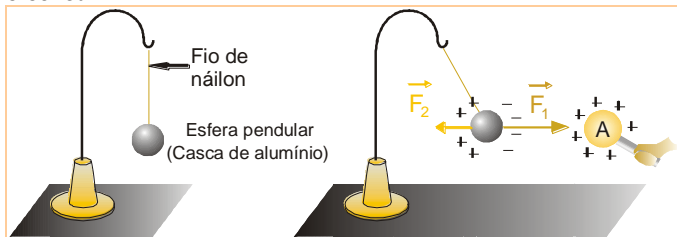
**C) Indução Elétrica**

A indução elétrica consiste na separação das cargas de um condutor neutro (induzido) quando na presença de um corpo eletrizado (indutor).



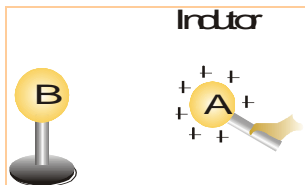
O indutor A, positivo, atrai as cargas negativas do induzido B. Assim, na face do induzido mais próxima ao indutor, temos acúmulo de cargas negativas, que não chegam ao indutor porque o ar entre eles é isolante. Por outro lado, a face do induzido mais afastada do indutor fica positiva. O corpo B (induzido) está eletrizado, apesar o número de prótons continuarem igual ao número de elétrons. Dizemos que B está induzido, pois houve apenas separação das cargas.

**“Quando se aproxima um corpo eletrizado de um corpo neutro sempre haverá uma força de atração elétrica.”**

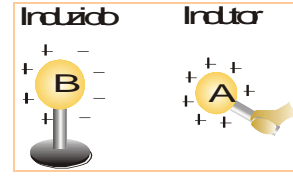


**D) Eletrização por Indução**

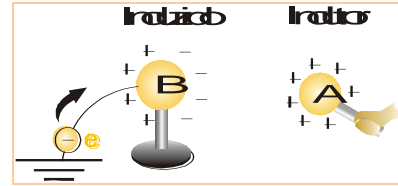
Na eletrização por indução, necessitamos, primeiramente, de um corpo eletrizado. Esse corpo pode ser condutor ou isolante, já que não fará contato com o corpo a ser eletrizado. Ele é chamado **indutor** (A). O segundo corpo (B) denominado **induzido** deve ser condutor. Para eletrizar por indução com ligação a terra devem-se seguir os seguintes passos:



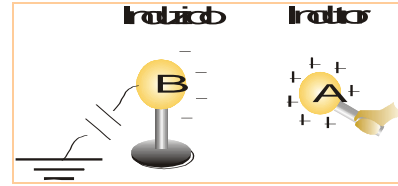
a- Aproxima-se A de B, ocorre a indução eletrostática.



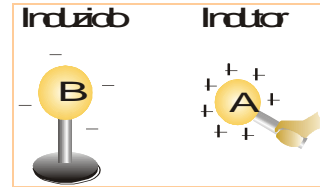
b- Liga-se B a terra, elétrons da terra sobem para B.



c- A ligação a terra é desfeita.



d- O indutor A é afastado. B fica eletrizado com carga negativa (sinal oposto ao indutor).



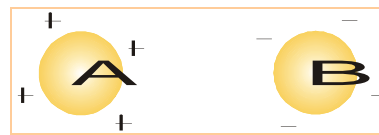
Outra maneira de eletrizar por indução é utilizar dois condutores neutros e um corpo já eletrizado (indutor), conforme seqüência abaixo:



a- Coloca-se os condutores em contato e aproxima-se o indutor (o corpo AB fica induzido).

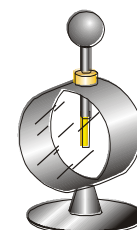


b- Separa-se os dois corpos A e B e após afasta-se o indutor.

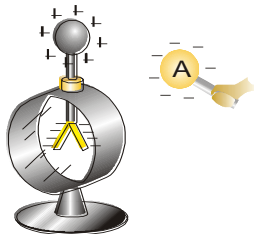


**4.5- ELETROSCÓPIO**

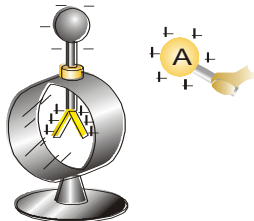
São instrumentos que manifestam a presença de corpos eletrizados. Funcionam baseados no fenômeno da indução eletrostática.



Eletroscópio neutro



Aproxima-se um corpo negativo



Aproxima-se um corpo positivo

## EXERCÍCIOS DE AULA

1. Um corpo, inicialmente neutro, é eletrizado com carga  $Q=48 \mu\text{C}$ . Sendo a carga elementar  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , pergunta-se:

- O corpo ficou com falta ou com excesso de elétrons?
- Qual é o número de elétrons que foi dele retirado ou a ele fornecido?

2. (UNICAMP) Duas cargas elétricas  $Q_1$  e  $Q_2$  atraem-se quando colocadas próximas uma da outra.

- O que se pode afirmar sobre os sinais de  $Q_1$  e de  $Q_2$ ?
- A  $Q_1$  é repelida por uma terceira carga  $Q_3$  positiva. Qual é o sinal de  $Q_2$ ?

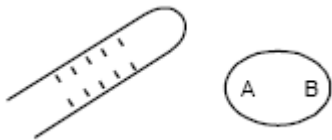
3. (FATEC) Considere três esferas metálicas X, Y e Z, de diâmetros iguais. Y e Z estão fixas e distantes uma da outra o suficiente para que os efeitos de indução eletrostática possam ser desprezados. A situação inicial das esferas é a seguinte:

X neutra, Y carregada com carga  $+Q$ , e Z carregada com carga  $-Q$ . As esferas não trocam cargas elétricas com o ambiente.

Fazendo-se a esfera X tocar primeiro na esfera Y e depois na esfera Z, a carga final de X será igual a:

- zero (nula)
- $2Q/3$
- $-Q/2$
- $Q/8$
- $-Q/4$

4. (UFU) Uma barra eletrizada negativamente é colocada próxima de um corpo metálico AB (não eletrizado).



Podemos afirmar que

- não haverá movimento de elétrons livres no corpo AB.
- os elétrons livres do corpo AB deslocam-se para a extremidade A.
- o sinal da carga que aparece em B é positivo.
- ocorreu no corpo metálico a indução eletrostática.

e) após a separação de cargas, a carga total do corpo é não-nula.

5. (UFSCAR) Três bolas metálicas podem ser carregadas eletricamente. Observa-se que cada uma das três bolas atrai uma e repele outra. Três hipóteses são apresentadas:

- Apenas uma das bolas está carregada.
- Duas das bolas estão carregadas.
- As três bolas estão carregadas.

O fenômeno pode ser explicado

- somente pelas hipóteses II ou III.
- somente pela hipótese I.
- somente pela hipótese III.
- somente pela hipótese II.
- somente pelas hipóteses I ou II.

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. (FEI-SP) Atrita-se um bastão de vidro com um pano de lã inicialmente neutros. Pode-se afirmar que:

- só a lã fica eletrizada.
- só o bastão fica eletrizado.
- o bastão e a lã se eletrizam com cargas de mesmo sinal.
- o bastão e a lã se eletrizam com cargas de mesmo valor absoluto e sinais opostos.
- n.d.a.

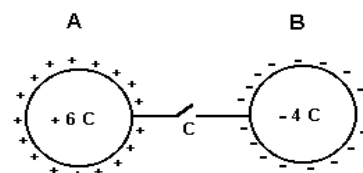
2. (ACAFE) Alguns fenômenos naturais relacionados com a eletricidade estática estão presentes em nosso cotidiano, por exemplo, o choque que uma pessoa recebe ao tocar a maçaneta da porta de um automóvel, em um dia seco no inverno. Além disso, a eletrostática tem uma aplicação importante em várias atividades humanas, como o filtro eletrostático para redução da poluição industrial e o processo xerográfico para fotocópias. Com relação à eletrização de um corpo, é **correto** afirmar que:

- Um corpo eletricamente neutro que perde elétrons fica eletrizado positivamente.
- Um corpo eletricamente neutro não tem cargas elétricas.
- Um dos processos de eletrização consiste em retirar prótons do corpo.
- Um corpo eletricamente neutro não pode ser atraído por um corpo eletrizado.
- Friccionando-se dois corpos constituídos do mesmo material, um se eletriza positivamente e o outro negativamente.

3. (UFMS) O princípio da conservação da carga elétrica estabelece que:

- as cargas elétricas de mesmo sinal se repelem.
- cargas elétricas de sinais opostos se atraem.
- a soma das cargas elétricas é constante em um sistema eletricamente isolado.
- a soma das cargas elétricas positivas e negativas é diferente de zero em um sistema eletricamente neutro.
- os elétrons livres se atraem.

4. (PUC) Duas esferas condutoras de iguais dimensões, A e B, estão eletricamente carregadas com indica a figura, sendo unidas por um fio condutor no qual há uma chave C inicialmente aberta.



Quando a chave é fechada, passam elétrons...

- de A para B e a nova carga de A é  $+2\text{C}$

- b) de A para B e a nova carga de B é  $-1C$   
 c) de B para A e a nova carga de A é  $+1C$   
 d) de B para A e a nova carga de B é  $-1C$   
 e) de B para A e a nova carga de A é  $+2C$

**5. (FURG)** Quatro esferas metálicas idênticas estão isoladas uma das outras. As esferas A, B e C estão inicialmente neutras (sem carga), enquanto a esfera D está eletrizada com carga Q. A esfera D é colocada inicialmente em contato com a esfera A, depois é afastada e colocada em contato com a esfera B, a esfera D é colocada em contato com a esfera C e afastada a seguir.

Pode-se afirmar que ao final do processo as cargas das esferas C e D são, respectivamente,

- a)  $Q/8$  e  $Q/8$   
 b)  $Q/8$  e  $Q/4$   
 c)  $Q/4$  e  $Q/8$   
 d)  $Q/2$  e  $Q/2$   
 e)  $Q$  e  $-Q$

**6. (UCPEL)** Três esferas metálicas A, B e C, idênticas, no vácuo, sendo A com carga  $+Q$ , B e C neutras. A esfera A é sucessivamente colocada em contato com B e, posteriormente, com C. O valor final das cargas em A, B e C é, respectivamente,

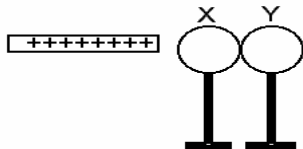
- a)  $\frac{Q}{3}, \frac{Q}{3}, \frac{Q}{3}$   
 b)  $\frac{Q}{2}, \frac{Q}{2}, \frac{Q}{2}$   
 c)  $\frac{Q}{4}, \frac{Q}{4}, \frac{Q}{4}$   
 d)  $\frac{Q}{2}, \frac{Q}{2}, \frac{Q}{4}$   
 e)  $\frac{Q}{4}, \frac{Q}{2}, \frac{Q}{4}$

**7. (FURG)** Um corpo eletrizado positivamente é colocado próximo de um corpo metálico neutro. Podemos afirmar, na figura abaixo, que



- a) não haverá movimentação de cargas negativas no corpo neutro.  
 b) a carga que aparece em X é positiva.  
 c) a carga que aparece em Y é negativa  
 d) haverá força de interação elétrica entre dois corpos.  
 e) todas as afirmativas acima estão erradas.

**8. (UFRGS)** Duas esferas condutoras descarregadas, x e y, colocadas sobre suportes isolantes, estão em contato. Um bastão carregado positivamente é aproximado da esfera x, como mostra a figura.



Em seguida, a esfera y é afastada da esfera x, mantendo-se o bastão em sua posição. Após este procedimento, as cargas das esferas x e y são, respectivamente,

- a) nula e positiva.  
 b) negativa e positiva.  
 c) nula e nula.  
 d) negativa e nula.  
 e) positiva e negativa.

**9. (FURG)** Três esferas metálicas podem ser carregadas eletricamente. Aproximando-se as esferas duas a duas, observa-se que, em todos os casos, ocorre uma atração elétrica entre elas.

Para essa situação são apresentadas três hipóteses:

I – Somente uma das esferas está carregada.

II – Duas esferas estão carregadas.

III – As três esferas estão carregadas.

Quais das hipóteses explicam o fenômeno descrito?

- a) Apenas a hipótese I.  
 b) Apenas a hipótese II.  
 c) Apenas a hipótese III.  
 d) Apenas as hipóteses II e III.  
 e) Nenhuma das três hipóteses.

**10. (UNIFOA)** Um bastão carregado positivamente atrai um objeto isolado suspenso. Sobre o objeto é correto afirmar:

- a) necessariamente possui elétron em excesso  
 b) é condutor  
 c) trata-se de um isolante  
 d) está carregado positivamente  
 e) pode estar neutro

**11. (PUCSP)** Eletriza-se por atrito um bastão de plástico com um pedaço de papel. Aproxima-se, em seguida, o bastão de um pêndulo eletrostático eletrizado e verifica-se que ocorre uma repulsão. Em qual das alternativas da tabela abaixo a carga de cada elemento corresponde a essa descrição?

	Papel	Bastão	Pêndulo
a)	positiva	positiva	positiva
b)	negativa	positiva	negativa
c)	negativa	negativa	positiva
d)	positiva	positiva	negativa
e)	positiva	negativa	negativa

**12. (FATEC)** Uma pequena esfera metálica está eletrizada com carga de  $8,0 \cdot 10^{-8} C$ . Colocando-a em contato com outra idêntica, mas eletricamente neutra, o número de elétrons que passa de uma esfera para a outra é

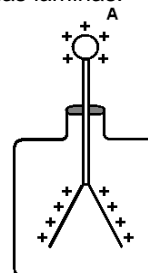
(Dado: carga elementar  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$ .)

- a)  $4,0 \cdot 10^{12}$   
 b)  $4,0 \cdot 10^{11}$   
 c)  $4,0 \cdot 10^{10}$   
 d)  $2,5 \cdot 10^{12}$   
 e)  $2,5 \cdot 10^{11}$

**13. (UNIFESP)** Uma estudante observou que, ao colocar sobre uma mesa horizontal três pêndulos eletrostáticos idênticos, equidistantes entre si, como se cada um ocupasse o vértice de um triângulo equilátero, as esferas dos pêndulos se atraíram mutuamente. Sendo as três esferas metálicas, a estudante poderia concluir corretamente que:

- a) as três esferas estavam eletrizadas com cargas de mesmo sinal.  
 b) duas esferas estavam eletrizadas com cargas de mesmo sinal e uma com carga de sinal oposto.  
 c) duas esferas estavam eletrizadas com cargas de mesmo sinal e uma neutra.  
 d) duas esferas estavam eletrizadas com cargas de sinais opostos e uma neutra.  
 e) uma esfera estava eletrizada e duas neutras.

**14. (GV)** A figura representa um eletroscópio de lâminas metálicas carregado positivamente. Tocando o dedo na esfera A observa-se que as suas lâminas:



- a) fecham, pois o eletroscópio recebe elétrons.

- b) fecham, pois o eletroscópio cede elétrons.
- c) abrem mais, pois o eletroscópio recebe elétrons.
- d) abrem mais, pois o eletroscópio cede elétrons.
- e) permanecem inalteradas, pois trocam elétrons com o dedo.

**15. (FFFCMPA)** Dois corpos de materiais diferentes, quando atritados entre si, são eletrizados. Em relação a esses corpos, se essa eletrização é feita de forma isolada do meio, é correto afirmar que:

- A) um fica eletrizado positivamente e o outro negativamente.
- B) um fica eletrizado negativamente e o outro permanece neutro.
- C) um fica eletrizado positivamente e o outro permanece neutro.
- D) ambos ficam eletrizados negativamente.
- E) ambos ficam eletrizados positivamente.

**GABARITO**

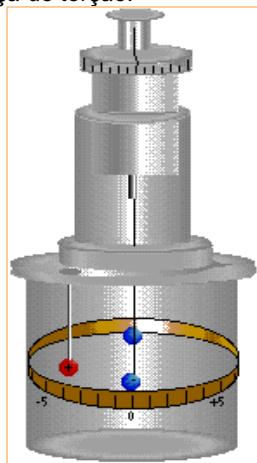
**EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

1) D	2) A	3) C	4) C	5) A
6) E	7) D	8) B	9) B	10) E
11) E	12) E	13) D	14) A	15) A

**V – FORÇA ELETRICA – LEI DE COULOMB**

As forças entre cargas elétricas são forças de campo, isto é, forças de ação à distância, como as forças gravitacionais (com a diferença que as gravitacionais são sempre forças atrativas).

O cientista francês Charles Coulomb (1736-1806) conseguiu estabelecer experimentalmente uma expressão matemática que nos permite calcular o valor da força entre dois pequenos corpos eletrizados. Coulomb verificou que o valor dessa força (seja de atração ou de repulsão) é tanto maior quanto maiores forem os valores das cargas nos corpos, e tanto menor quanto maior for a distância entre eles. Ou seja: a força com que duas cargas se atraem ou repelem é proporcional às cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa. Assim, se a distância entre duas cargas é dobrada, a força de uma sobre a outra é reduzida a um quarto da força original. Para medir as forças, Coulomb aperfeiçoou o método de detectar a força elétrica entre duas cargas por meio da torção de um fio. A partir dessa idéia criou um medidor de força extremamente sensível, denominado *balança de torção*.



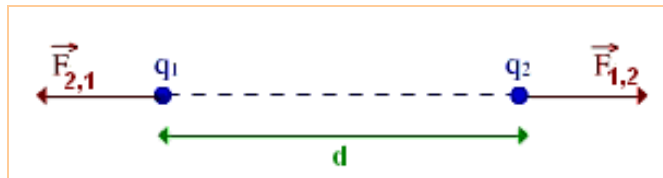
**5.1- Carga Elétrica Puntiforme**

Denomina-se carga elétrica puntiforme a um corpo eletrizado cujas dimensões são desprezíveis em relação às distâncias que o separam de outros corpos.

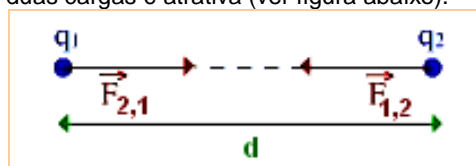
**5.2- Lei de Coulomb**

Considere duas cargas elétricas puntiformes  $Q_1$  e  $Q_2$  separadas por uma distância  $d$  e situadas no vácuo. Entre elas ocorre atração ou repulsão, com forças de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos, de acordo com o Princípio da Ação e Reação.

Se  $q_1$  e  $q_2$  têm o mesmo sinal de carga, a força elétrica entre as duas cargas (ou a força elétrica que cada carga exerce sobre a outra) é repulsiva



Se  $q_1$  e  $q_2$  têm sinal de carga opostos, a força elétrica entre as duas cargas é atrativa (ver figura abaixo).

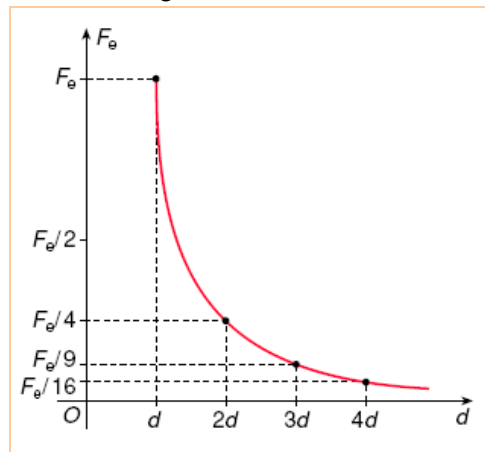


*“A intensidade da força interação entre duas cargas elétricas puntiformes é diretamente proporcional ao produto dos módulos de suas cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que as separa.”*

$$F_e = K \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$$

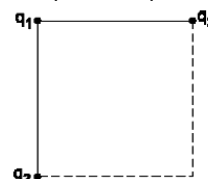
$K$  = constante eletrostática do meio.

No vácuo  $K_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$

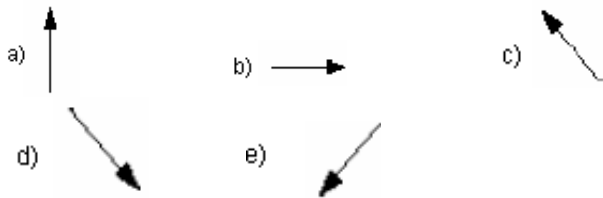


**EXERCÍCIOS DE AULA**

**1. (FATEC)** Em três vértices de um quadrado são fixadas as cargas  $q_1 = q_2 = 10 \mu C$  e  $q_3 = -10 \mu C$ , conforme a figura.



A força elétrica resultante sobre a carga  $q_1$  é representada pelo vetor

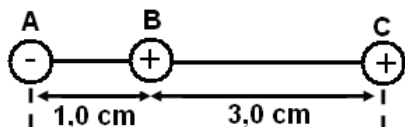


2. (VUNESP) Dois corpos pontuais em repouso, separados por certa distância e carregados eletricamente com carga de sinais iguais, repelem-se de acordo com a Lei de Coulomb.

- Se a quantidade de carga de um dos corpos for triplicada, a força de repulsão elétrica permanecerá constante, aumentará (quantas vezes?) ou diminuirá (quantas vezes?)
- Se forem mantidas as cargas iniciais, mas a distância entre os corpos for duplicada, a força de repulsão elétrica permanecerá constante, aumentará (quantas vezes?) ou diminuirá (quantas vezes?)

3. (Unitau-SP) Um tubo de vidro na posição vertical contém duas esferas iguais  $A$  e  $B$ , de massas  $1,0 \cdot 10^{-4}$  kg. A esfera  $A$  é fixada no fundo do tubo enquanto  $B$  pode subir ou descer dentro do tubo, acima de  $A$ . Quando a carga  $q = -4,0 \cdot 10^{-8}$  C é colocada em cada esfera, a esfera  $B$  permanece suspensa, em equilíbrio, acima de  $A$ , a uma distância  $h$ . Desprezando o atrito com as paredes de vidro e a atração gravitacional entre as esferas, calcule o valor de  $h$ . Considere:  $g = 10,0$  m/s<sup>2</sup>,  $K_0 = 9 \cdot 10^9$  N.m<sup>2</sup>/C<sup>2</sup>

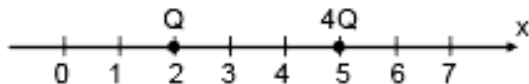
4. Três objetos com cargas elétricas de mesmo módulo estão alinhados como mostra a figura. O objeto  $C$  exerce sobre  $B$  uma força igual a  $3,0 \cdot 10^{-6}$  N.



A força elétrica resultante dos efeitos de  $A$  e  $C$  sobre  $B$  tem intensidade de:

- $2,0 \cdot 10^{-6}$  N
- $6,0 \cdot 10^{-6}$  N
- $24 \cdot 10^{-6}$  N
- $12 \cdot 10^{-6}$  N
- $30 \cdot 10^{-6}$  N

5. (PUCCAMP) Nos pontos de abscissa  $x = 2$  e  $x = 5$  são fixadas as cargas  $Q$  e  $4Q$ , respectivamente, conforme mostra o esquema abaixo:



Uma terceira carga  $-Q$  ficará em equilíbrio, sob a ação somente das forças elétricas exercidas por  $Q$  e  $4Q$ , quando colocada no ponto de abscissa  $x$  igual a:

- 0
- 1
- 3
- 4
- 6

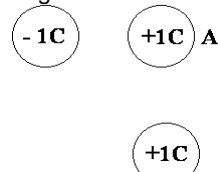
6. (MACK) Duas esferas metálicas idênticas, separadas pela distância  $d$ , estão eletrizadas com cargas elétricas  $Q$  e  $-5Q$ . Essas esferas são colocadas em contato e em seguida são separadas de uma distância  $2d$ . A força de interação eletrostática entre as esferas, antes do contato tem módulo  $F_1$  e após o contato tem módulo  $F_2$ . A relação  $F_1/F_2$  é

- 1

- 2
- 3
- 4
- 5

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

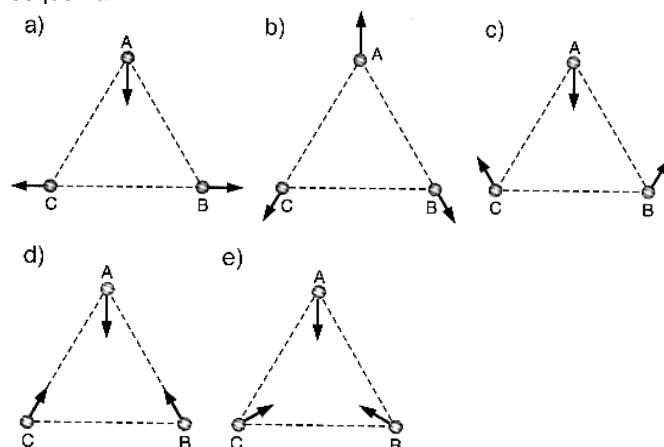
1. (FURG) conforme a figura.



Qual das alternativas expressa corretamente a direção e sentido da força elétrica total sobre a carga  $A$ ?

- ↙
- ←
- ↖
- ↑
- 

2. (FUVEST) Três pequenas esferas carregadas com cargas de mesmo módulo, sendo  $A$  positiva e  $B$  e  $C$  negativas, estão presas nos vértices de um triângulo equilátero. No instante em que elas são soltas, simultaneamente, a direção e o sentido de suas acelerações serão mais bem representadas pelo esquema:



3. (UFRGS) Duas partículas, separadas entre si por uma distância  $r$ , estão eletricamente carregadas com quantidades de cargas positivas  $q_1$  e  $q_2$ , sendo  $q_1 = 2q_2$ . Considere  $F_1$  o módulo da força elétrica exercida por  $q_2$  sobre  $q_1$  e  $F_2$  o módulo da força elétrica de  $q_1$  sobre  $q_2$ . Nessa situação, a força elétrica entre as partículas é de

- atração, sendo  $F_1 = F_2$ .
- atração, sendo  $F_1 = 2F_2$ .
- atração, sendo  $F_1 = F_2/2$ .
- repulsão, sendo  $F_1 = F_2$ .
- repulsão, sendo  $F_1 = 2F_2$ .

4. (ACAFE) Sabe-se que duas cargas elétricas exercem forças elétricas uma sobre a outra. Em relação a essas forças, é **correto** afirmar que terão:

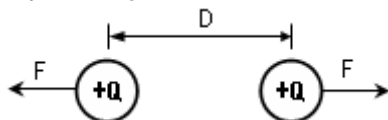
- sentidos opostos, somente se as cargas tiverem sinais contrários.
- o mesmo sentido, se as cargas tiverem o mesmo sinal.
- o mesmo sentido, se as cargas tiverem sinais contrários.
- sentidos opostos, somente se as cargas tiverem o mesmo sinal.
- sentidos sempre opostos, independentemente dos sinais das cargas.

5. (UFRGS) Uma partícula, com carga elétrica  $q$ , encontra-se a uma distância  $d$  de outra partícula, com carga  $-3q$ . Chamamos  $F_1$  o módulo da força elétrica que a segunda carga exerce sobre a primeira e de  $F_2$  o módulo da força elétrica que a primeira carga exerce sobre a Segunda, podemos afirmar que
- $F_1 = 3F_2$  e as forças são atrativas.
  - $F_1 = 3F_2$  e as forças são repulsivas.
  - $F_1 = F_2$  e as forças são atrativas.
  - $F_1 = F_2$  e as forças são repulsivas.
  - $F_1 = F_2/3$  e as forças são atrativas.

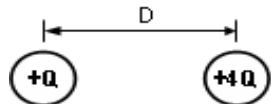
6. (UFRGS) Quando a distância entre duas cargas elétricas iguais é dobrada, o módulo da força elétrica entre elas muda de  $F$  para
- $F/4$
  - $F/2$
  - $2F$
  - $4F$
  - $8F$

7. (ACAFE) Duas cargas elétricas  $Q_1$  e  $Q_2$ , separadas por uma distância  $d$ , são atraídas por uma força de valor  $F$ . Para quadruplicar o valor dessa força, pode-se \_\_\_\_\_.
- A única alternativa que não completa o enunciado acima é:
- diminuir a distância duas vezes
  - diminuir a distância quatro vezes
  - quadruplicar o valor de  $Q_1$
  - quadruplicar o valor de  $Q_2$
  - duplicar o valor de  $Q_1$  e  $Q_2$

8. (FURG) Dois pequenos objetos fixos, cada um com uma carga  $+Q$  e separados por uma distância  $D$ , exercem um sobre o outro uma força de magnitude  $F$ .



Substituímos um dos objetos por outro cuja carga é  $+4Q$ , mantendo a mesma distância de separação.



A magnitude da força no objeto cuja carga é  $+Q$  vale agora

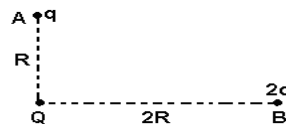
- $16F$ .
  - $4F$ .
  - $F$ .
  - $F/4$ .
  - $F/16$ .
9. (PUCMG) Entre as cargas pontiformes  $Q_1$  e  $Q_2$  separadas por uma distância  $d$  existe uma força de repulsão eletrostática de valor  $F$ . Se instantaneamente os valores das cargas mudam para  $Q_1' = 3Q_1$  e  $Q_2' = 4Q_2$  e a distância muda para  $2d$ , o valor da nova força será:
- $F' = 7/4$
  - $F' = 7/2 F$
  - $F' = 24 F$
  - $F' = 6 F$
  - $F' = 3 F$
10. (FURG) Duas cargas pontuais se encontram a uma certa distância. Dobram-se os valores de cada carga e ajusta-se a distância para que as forças de interação permaneçam constantes. Podemos dizer que esta distância em relação à distância original, é:
- a metade.
  - a mesma.
  - o dobro.
  - o triplo.
  - quatro vezes maior.
11. A força de interação eletrostática entre duas cargas elétricas  $Q_1$  e  $Q_2$  distando  $r$  entre si, tem módulo  $F$ . Qual será

a força de interação eletrostática entre elas se duplicarmos a primeira carga e reduzirmos à metade a distância?

- $2F$
- $4F$
- $8F$
- $F/2$
- $F/4$

12. (UFSM) Três cargas elétricas estão dispostas conforme a figura. Se a carga  $Q$  produz uma força de módulo  $F$  sobre a carga  $q$ , situada em A, então o módulo da força produzida por  $Q$  sobre a carga  $2q$ , situada em B, será:

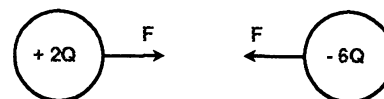
- $F/4$
- $F/2$
- $F$
- $2F$
- $4F$



13. (UFRGS) Duas pequenas esferas metálicas, isoladas, idênticas e situadas no vácuo, estão inicialmente carregadas com  $+10 \mu\text{C}$  e  $-8 \mu\text{C}$ . As esferas são encostadas e, então, novamente separadas, com seus centros mantidos a 10 cm de distância um do outro. Que tipo de força eletrostática será exercida sobre essas esferas e qual o seu módulo?
- Atrativa, de módulo igual a 0,81 N.
  - Atrativa, de módulo igual a 0,90 N.
  - Atrativa, de módulo igual a 0,70 N.
  - Repulsiva, de módulo igual a 0,81 N.
  - Repulsiva, de módulo igual a 0,90 N.

14. (PUC) Duas esferas condutoras iguais A e B possuem cargas elétricas de  $+4C$  e  $-8C$ . Elas atacam-se com uma força eletrostática  $F$  quando separadas por uma distância  $d$  uma da outra. Se forem colocadas em contato uma com a outra e reposicionadas a uma distância  $2d$  uma da outra, a nova força de interação eletrostática, é
- atrativa de valor  $4F$ ;
  - atrativa de valor  $F/4$ ;
  - atrativa de valor  $8F$ ;
  - repulsiva de valor  $F/8$ ;
  - repulsiva de valor  $F/32$ .

15. (PUC) Duas esferas condutoras idênticas possuem cargas elétricas de valores  $+2Q$  e  $-6Q$ , interagindo entre si com uma força elétrica  $F$  como indica a figura.



- Se as esferas forem postas em contato e recolocadas em suas posições iniciais, a nova força de interação entre as esferas passará a ser  $F'$ . Comparando os módulos de  $F$  e  $F'$ , conclui-se que
- $F' = F/4$
  - $F' = F/2$
  - $F' = F/3$
  - $F' = 2F$
  - $F' = 3F$

16. (FURG) Duas cargas pontuais  $Q_1$  e  $Q_2$  estão separadas por uma distância  $D$ . Uma terceira carga pontual  $q$  é colocada a uma distância  $r_1$  da carga  $Q_1$  e a uma distância  $r_2$  da carga  $Q_2$ , tal que  $r_1 + r_2 = D$ . Sabendo que a força elétrica resultante sobre a carga  $q$  devido à ação das cargas  $Q_1$  e  $Q_2$  é nula, pode-se afirmar que a razão  $Q_1/Q_2$  é dada por
- $(r_2/r_1)^2$ .
  - $r_1/r_2$ .
  - $r_2/r_1$ .
  - 1.
  - $(r_1/r_2)^2$ .

**GABARITO**

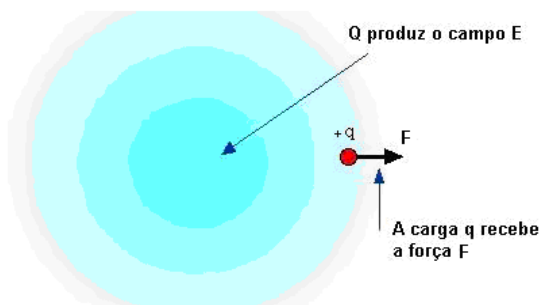
**EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

1) C	2) C	3) D	4) E	5) C	
6) A	7) B	8) B	9) E	10) C	
11) C	12) B	13) E	14) E	15) C	16) A

**6- CAMPO ELÉTRICO**

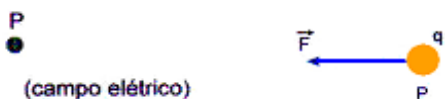
**6.1 - CONCEITO**

Numa região do espaço existe um campo elétrico quando um corpo eletrizado, colocada num ponto dessa região, fica sujeito a uma força elétrica.

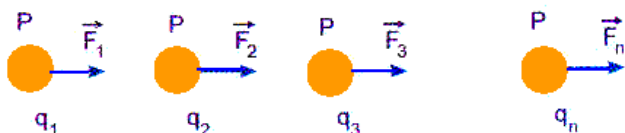


**6.2 - VETOR CAMPO ELÉTRICO ( $\vec{E}$ )**

Seja P um ponto geométrico de uma região onde existe um campo elétrico. Se levarmos até este ponto P uma carga elétrica q, surgirá sobre ela uma força elétrica  $\vec{F}$ .



Retirando-se a carga de prova q e repetindo o procedimento n vezes, usando n cargas de provas diferentes ( $q_1, q_2, \dots, q_n$ ). A cada novo procedimento, atuará uma na respectiva carga de prova uma força elétrica ( $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ ).



Verificamos que:

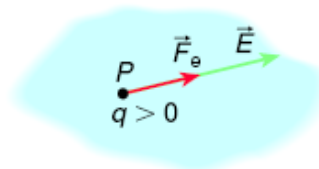
$$\frac{\vec{F}_1}{q_1} = \frac{\vec{F}_2}{q_2} = \dots = \frac{\vec{F}_n}{q_n} \text{ (cte)}$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \text{ ou } \vec{F} = q\vec{E}$$

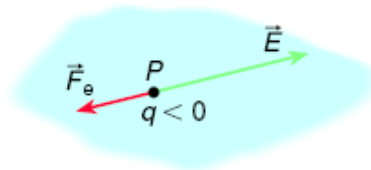
Esse vetor campo elétrico tem sempre a mesma direção da força elétrica, porém seu sentido depende do sinal da carga onde a força atua.

A unidade no SI é newton por coulomb (N/C)

•  $q > 0 \rightarrow \vec{F}$  e  $\vec{E}$  têm o mesmo sentido.



•  $q < 0 \rightarrow \vec{F}$  e  $\vec{E}$  têm sentidos opostos.



**6.3 - CAMPO ELÉTRICO CRIADO POR UMA CARGA PUNTIFORME**

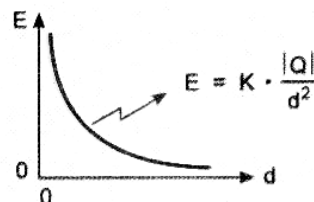
Suponha que uma partícula eletrizada Q seja a fonte de um campo elétrico. Colocando-se uma carga de prova q num ponto desse campo, a uma distância d da carga fonte (carga geradora), ela ficará sujeita a uma força  $\vec{F}$ , cujo módulo será

$F = K \frac{|Q| \cdot |q|}{d^2}$ . Substituindo-se na equação de definição de  $\vec{E}$ , obtém-se:

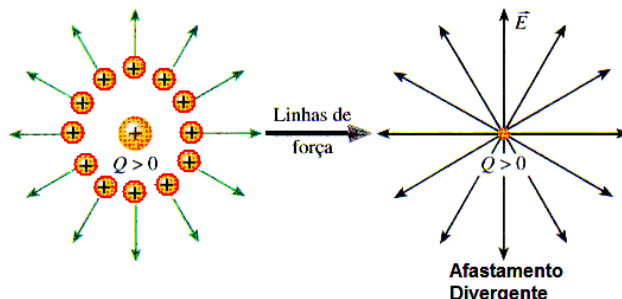
$$|\vec{E}| = \frac{|\vec{F}|}{q} \Rightarrow E = K \frac{|Q|}{d^2}$$

Verifique que  $|\vec{E}|$  não depende da carga de prova q, mas sim da carga geradora Q, do meio onde a carga está colocada (K) e da distância até o ponto considerado.

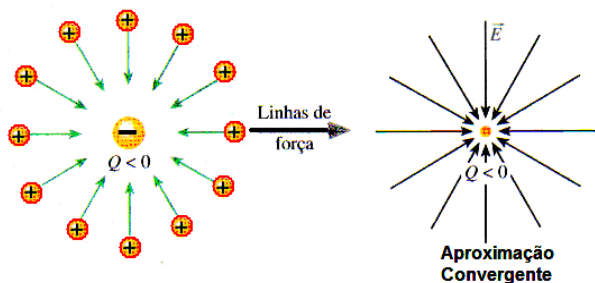
Da mesma forma que o módulo da força de Coulomb, o módulo do campo elétrico de uma carga puntiforme é diretamente proporcional ao inverso do quadrado da distância até o ponto considerado.



“O sentido do vetor campo elétrico criado por uma carga puntiforme é o mesmo sentido da força elétrica que atua sobre uma carga positiva (carga de prova).”

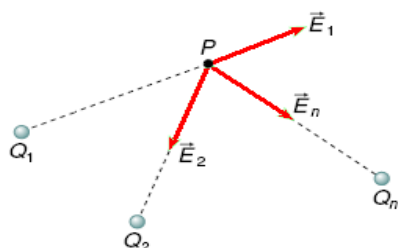






**6.4 - CAMPO ELÉTRICO CRIADO POR VÁRIAS CARGAS PUNTIFORMES**

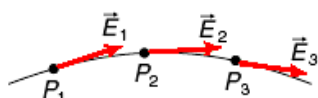
O vetor campo elétrico de várias cargas puntiformes num ponto P é a soma vetorial dos vetores campo que cada carga produziria em P se estivesse sozinha.



$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$

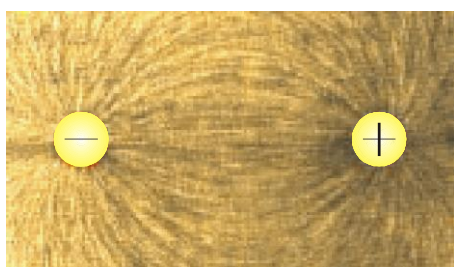
**6.5- LINHAS DE FORÇA**

As linhas de força de um campo elétrico são linhas tangenciadas pelo vetor campo elétrico em cada um de seus pontos. Representam graficamente o campo elétrico e são orientados no mesmo sentido do vetor campo. Nascem nas cargas positivas e morrem nas cargas negativas.



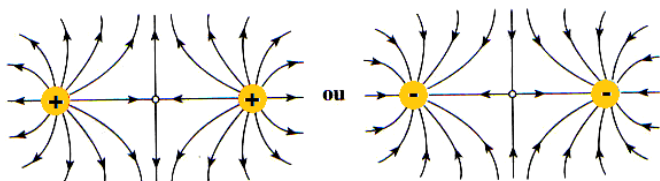
**As linhas de força de um campo elétrico**

- são orientadas sempre da carga positiva para a negativa;
- são sempre linhas abertas;
- nunca se cruzam;
- apresentam concentração, numa dada região, proporcional ao módulo do vetor campo elétrico.

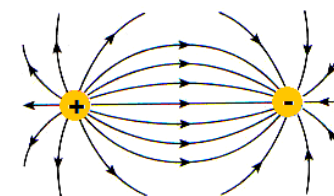


Numa representação mais esquemática temos a configuração das linhas de força como as mostradas abaixo.

• para duas cargas de mesmo sinal e mesmo módulo:

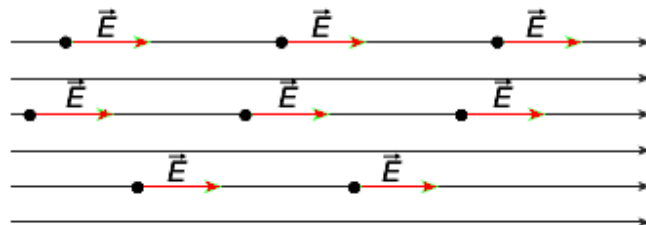


• para duas cargas de mesmo módulo e sinais contrários:



**6.6- CAMPO ELÉTRICO UNIFORME**

É aquele em que o vetor campo elétrico é igual em todos os pontos. As linhas de força de um campo elétrico uniforme são retas paralelas igualmente espaçadas e de mesmo sentido.

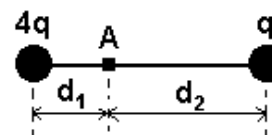


**EXERCÍCIOS DE AULA**

1. Uma carga puntiforme de  $10^{-9}$  C, ao ser colocada num ponto P de um campo elétrico, fica sujeita a uma força de intensidade igual a  $10^{-2}$  N, vertical e descendente. Determine:

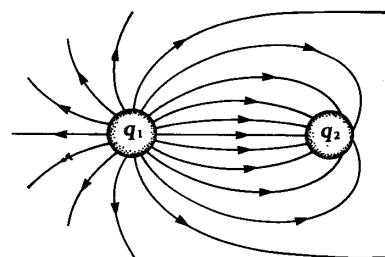
- a) a intensidade, a direção e o sentido do vetor campo elétrico em P.
- b) a intensidade, a direção e o sentido da força que atuaria sobre uma carga puntiforme igual a 3 mC, se ela é que fosse colocada em P.

2. (Faap) Sabendo-se que o vetor campo elétrico no ponto A é nulo, a relação entre  $d_1$  e  $d_2$  é:



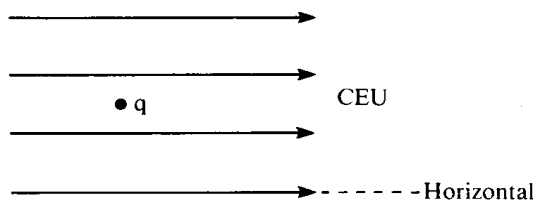
- $d_1/d_2 = 4$
- $d_1/d_2 = 2$
- $d_1/d_2 = 1$
- $d_1/d_2 = 1/2$
- $d_1/d_2 = 1/4$

3. (UNICAMP) A figura mostra as linhas de força do campo eletrostático criado por um sistema de 2 cargas puntiformes  $q_1$  e  $q_2$ .



- Nas proximidades de que carga o campo eletrostático é mais intenso? Por quê?
- Qual é o sinal do produto  $q_1 \cdot q_2$ ?

4. Uma partícula eletrizada com carga  $q = 2 \cdot 10^{-15} \text{ C}$ , de massa  $10^{-15} \text{ kg}$ , é abandonada num campo elétrico uniforme, de intensidade  $4 \cdot 10^3 \text{ N/C}$ . Desprezam-se as ações gravitacionais.



- Qual a intensidade da força que atua sobre a partícula no interior do campo?
- Qual a aceleração adquirida?
- Qual a velocidade após 2 s e o deslocamento nesse intervalo de tempo, supondo-se que continue no interior do campo elétrico?
- Qual a direção e o sentido do movimento da carga?

5. (PUC-SP) Caracterize o campo elétrico capaz de equilibrar no ar, próximo ao solo, uma gota de óleo de  $4 \cdot 10^{-10} \text{ g}$  de massa e carga  $q = +10e$  ( $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ). Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

1. (FATEC) Considere uma carga positiva  $Q$  de  $4,0 \mu\text{C}$ , no ar, e um ponto  $M$  a 20 cm de distância desta carga. Dentre as alternativas seguintes, a que contém as informações corretas sobre a intensidade, direção e sentido do campo elétrico em  $M$ , devido a  $Q$ , é:

Dado: constante eletrostática =  $9,0 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$

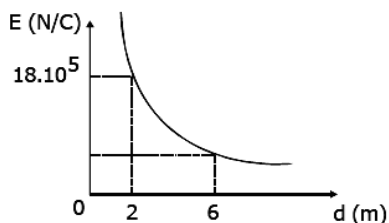
	Intensidade (N/C)	Direção	Sentido
a)	$9,0 \cdot 10^1$	Linha reta que une $Q$ e $M$ .	De $Q$ para $M$ .
b)	$9,0 \cdot 10^5$	Linha reta que une $Q$ e $M$ .	De $Q$ para $M$ .
c)	$9,0 \cdot 10^5$	Tangente à linha circular de centro em $Q$ e de raio $QM$ .	Horário.
d)	$1,8 \cdot 10^5$	Linha reta que une $Q$ e $M$ .	De $M$ para $Q$ .
e)	$1,8 \cdot 10^5$	Tangente à linha circular de centro em $Q$ e de raio $QM$ .	Anti-horário.

2. (FURG) O módulo do campo elétrico produzido por uma carga puntual  $q$ , num ponto  $P$ , a uma dada distância da carga é  $E$ . Se afastarmos a carga, de tal modo que sua distância ao ponto  $P$  dobre, o valor do campo em  $P$  será:

- a)  $\frac{E}{4}$       b)  $\frac{E}{2}$       c)  $E$       d)  $2E$       e)  $4E$

3. (MACK) A intensidade do vetor campo elétrico gerado por uma carga  $Q$  puntiforme, positiva e fixa em um ponto do vácuo, em função da distância ( $d$ ) em relação a ela, varia conforme o gráfico dado. A intensidade do vetor campo elétrico, no ponto situado a 6 m da carga, é:

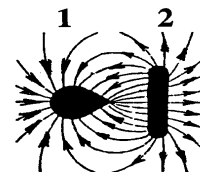
- $2 \cdot 10^5 \text{ N/C}$
- $3 \cdot 10^5 \text{ N/C}$
- $4 \cdot 10^5 \text{ N/C}$
- $5 \cdot 10^5 \text{ N/C}$
- $6 \cdot 10^5 \text{ N/C}$



4. (UFRGS) Duas cargas elétricas,  $A$  e  $B$ , sendo  $A$  de  $2 \mu\text{C}$  e  $B$  de  $-4 \mu\text{C}$ , encontram-se em um campo elétrico uniforme. Qual das alternativas representa corretamente as forças exercidas sobre as cargas  $A$  e  $B$  pelo campo elétrico?

- 
- 
- 
- 
- 

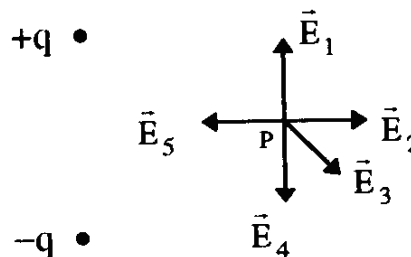
5. (UFRS) As linhas de força da figura representam o campo elétrico existente em torno dos corpos 1 e 2.



Relativamente a seu estado de eletrização, pode-se concluir que os corpos 1 e 2 se apresentam, respectivamente,

- com cargas positiva e negativa.
- com cargas negativa e positiva.
- com cargas positiva e positiva.
- com carga positiva e descarregada.
- descarregado e com carga positiva.

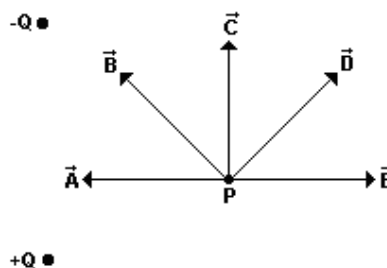
6. (UFRS) A figura representa duas cargas puntiformes, uma positiva ( $+q$ ) e outra negativa ( $-q$ ), próximas uma da outra, que constituem um dipolo elétrico.



Qual o vetor que melhor indica o sentido do campo elétrico no ponto  $P$ ?

- a)  $\vec{E}_1$       b)  $\vec{E}_2$       c)  $\vec{E}_3$       d)  $\vec{E}_4$       e)  $\vec{E}_5$

7. (VUNESP-SP) Na figura, o ponto  $P$  está equidistante das cargas fixas  $+Q$  e  $-Q$ . Qual dos vetores indica a direção e o sentido do campo elétrico em  $P$ , devido a essas cargas?

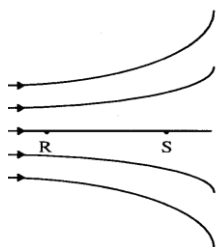


- a)  $\vec{A}$       b)  $\vec{B}$       c)  $\vec{C}$       d)  $\vec{D}$       e)  $\vec{E}$

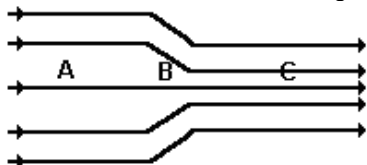
8. (UFRS) Selecione a alternativa que apresenta os termos que preenchem as lacunas, respectivamente, no seguinte texto.

A figura representa as linhas de força de um campo elétrico. Nessa situação, é correto afirmar que a intensidade do campo elétrico na região próxima do ponto  $R$  é ..... do que na região próxima do ponto  $S$ , e que um elétron abandonado em repouso entre  $R$  e  $S$ , desloca-se no sentido de .....

- a) menor - R.
- b) menor - S.
- c) a mesma - S.
- d) maior - R.
- e) maior - S.



9. (FURG) As afirmativas referem-se a este figura.

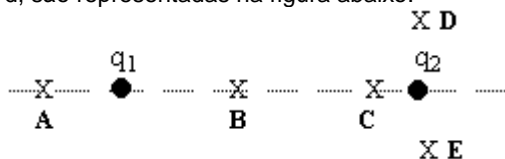


- I – A intensidade do campo elétrico **E** na região **A** é maior do que na região **C**.
- II – Uma carga negativa colocada nas regiões **A** ou **C** sofre uma força para a esquerda.
- III – Uma carga positiva colocada nas regiões **A** ou **C** sofre uma força para a direita.

- Estão corretas:
- a) Apenas a I.
  - b) Apenas a I e II.
  - c) Apenas a I e III.
  - d) Apenas a II e III.
  - e) I, II e III.

**INSTRUÇÃO:** Responder à questão 10 com base nas seguintes informações.

Dois cargas elétricas puntiformes,  $q_1$  positiva e  $q_2$  negativa, sendo  $q_2$  maior que  $q_1$ , em módulo, fixas e separadas por distância  $d$ , são representadas na figura abaixo.



10. (PUC) O campo elétrico formado pelas duas cargas pode ser nulo na região
- a) A
  - b) B
  - c) C
  - d) D
  - e) E

11. (UFRS) Duas cargas elétricas puntiformes, de valores  $+4q$  e  $-q$ , são fixadas sobre o eixo dos  $x$ , nas posições indicadas na figura abaixo.



- Sobre esse eixo, a posição na qual o campo elétrico é nulo é indicada pela letra
- a) a
  - b) b
  - c) c
  - d) d
  - e) e

12. (UFRS) Selecione a alternativa que apresenta as palavras que preenchem corretamente as lacunas nas três situações abaixo, respectivamente.

I – Um bastão de vidro carregado com cargas elétricas positivas repele um objeto suspenso. Conclui-se que o objeto está carregado.....

II – À medida que duas cargas elétricas puntiformes negativas são aproximadas uma da outra, a força elétrica entre elas.....

III – Duas cargas elétricas puntiformes estão separadas de uma certa distância. A intensidade do campo elétrico se anula num ponto do segmento de reta que une as duas cargas.

- Conclui-se que as cargas são de .....
- a) negativamente - diminui - sinal contrário.
  - b) positivamente - aumenta - sinal contrário.
  - c) negativamente - aumenta - sinal contrário.
  - d) positivamente - aumenta - mesmo sinal.
  - e) negativamente - diminui - mesmo sinal.

13. (FURG) Uma carga elétrica de  $1\mu\text{C}$  e massa  $1\text{g}$  penetra numa região de campo elétrico uniforme, de intensidade  $30\text{ N/C}$ , com velocidade inicial  $3\text{ m/s}$ , na mesma direção e sentido do campo. A aceleração desta carga, supondo-se que esteja sob ação apenas do campo elétrico, vale

- a)  $0,01\text{ m/s}^2$
- b)  $0,03\text{ m/s}^2$
- c)  $0,1\text{ m/s}^2$
- d)  $0,3\text{ m/s}^2$
- e)  $1\text{ m/s}^2$

14. (UFPEl) Numa certa experiência, verificou-se que a carga de  $5\mu\text{C}$ , colocada num certo ponto do espaço, ficou submetida a uma força de origem elétrica de valor  $4 \times 10^{-3}\text{ N}$ . Nesse ponto, a intensidade do campo elétrico é igual a:

- a)  $20\text{ k N/C}$
- b)  $0,8\mu\text{ N/C}$
- c)  $0,8\text{ k N/C}$
- d)  $20\mu\text{ N/C}$
- e)  $0,8\text{ N/C}$

15. (UFMS) Preencha as lacunas e, após, assinale a alternativa correta.

Uma esfera de pequena massa, carregada positivamente, encontra-se em repouso, quando submetida, simultaneamente a um campo elétrico e ao campo gravitacional da Terra. Nessa situação, a direção do campo elétrico é \_\_\_\_\_ com sentido \_\_\_\_\_.

- a) horizontal - do norte para o sul
- b) horizontal - do sul para o norte
- c) horizontal - do oeste para o leste
- d) vertical - de cima para baixo
- e) vertical - de baixo para cima.

**GABARITO**

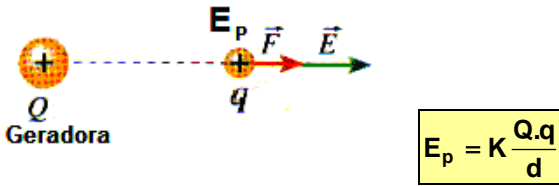
**EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

1) B	2) A	3) A	4) B	5) B
6) D	7) C	8) D	9) D	10) A
11) E	12) D	13) B	14) C	15) E

**7- POTENCIAL ELÉTRICO E TRABALHO**

**7.1- ENERGIA POTENCIAL**

Quando coloca-se uma carga q em um campo elétrico gerado por uma carga puntiforme Q, esta adquire uma energia potencial elétrica dada por:



**7.2- POTENCIAL ELÉTRICO (V)**

É uma grandeza escalar relacionada a medida da energia potencial elétrica adquirida por unidade de carga, quando um corpo eletrizado é introduzido num campo elétrico.

$$V = \frac{E_p}{q} \quad \text{Unidade no SI: J/C = Volt (V)}$$

**OBS.:** O potencial elétrico de um ponto não depende da carga de prova q.

**7.3 - POTENCIAL ELÉTRICO DE UMA CARGA PUNTIFORME**

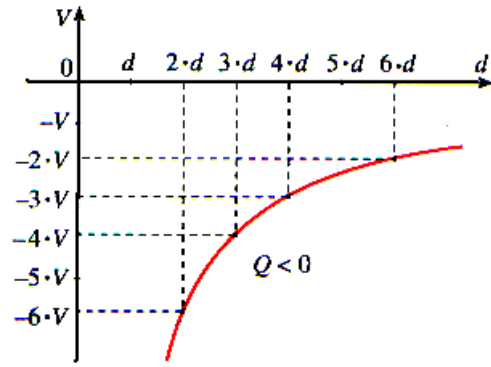
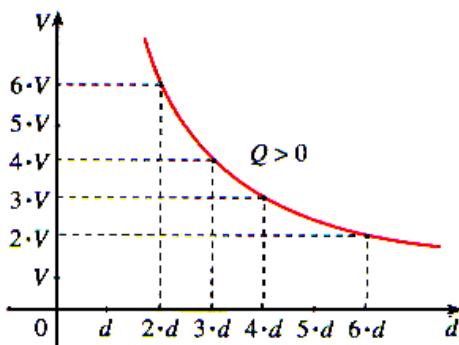
Considere uma partícula eletrizada Q gerando um campo elétrico ao seu redor. Colocando-se uma carga de prova q num ponto desse campo, a uma distância d da carga fonte, o conjunto armazena uma energia potencial elétrica:

$$E_p = K \frac{Q \cdot q}{d}$$

Substituindo essa expressão na definição matemática do potencial elétrico, obtém-se:

$$V = \frac{E_p}{q} \Rightarrow V_p = K \frac{Q}{d}$$

- Esta equação é válida para um referencial de potencial nulo no infinito ( $V_\infty = 0$ ).
- O potencial elétrico associado a um ponto P do campo elétrico não depende da carga de prova q colocada naquele ponto.
- O potencial elétrico associado a um ponto P depende da carga Q geradora do campo elétrico.
- Para uma dada carga geradora puntiforme Q, o módulo do potencial elétrico é inversamente proporcional à distância do ponto P à carga Q. Em diagramas cartesianos ( $V \times d$ ), a função seria representada por um ramo de hipérbole eqüilátera, simétrica a bissetriz do quadrante, conforme figura abaixo.



- Observe que o potencial assume valores infinitamente pequenos quando a distância tende ao infinito, seja a carga geradora positiva ou negativa. Tal fato é usado para se atribuir nível zero no infinito ao potencial de qualquer carga.

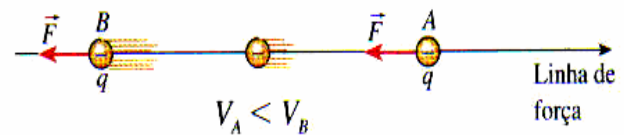
**7.4 - PROPRIEDADES DO POTENCIAL ELÉTRICO**

1º) Uma linha de força (campo) é orientada no sentido dos potenciais menores.

2º) As cargas positivas abandonadas em repouso num campo elétrico, sujeitos unicamente às forças elétricas, deslocam-se espontaneamente, para os potenciais menores (mesmo sentido do campo).

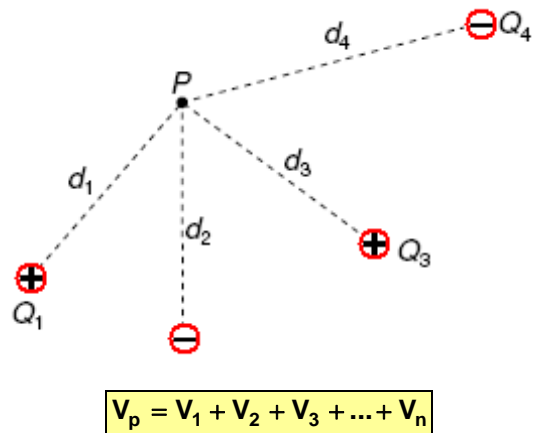


3º) As cargas negativas abandonadas em repouso num campo elétrico, sujeitas unicamente às forças elétricas, deslocam-se, espontaneamente, para um ponto de maior potencial elétrico (sentido oposto ao campo).



**7.5- POTENCIAL ELÉTRICO DE VÁRIAS CARGAS PUNTIFORMES**

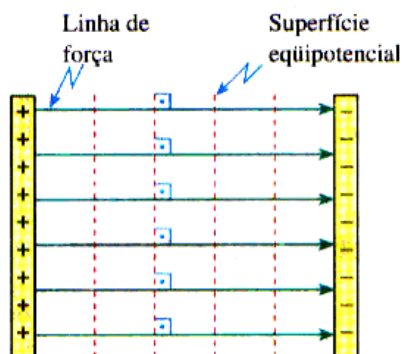
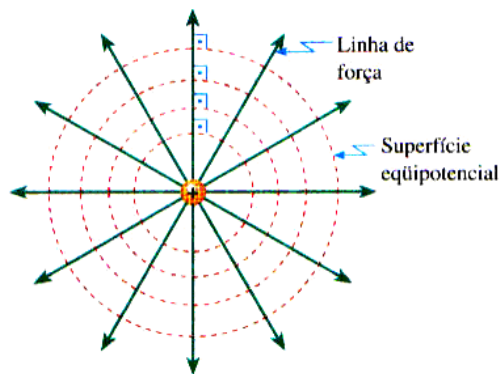
O potencial elétrico total é calculado pela soma algébrica dos potenciais devidos a cada carga:



**7.6- SUPERFÍCIES EQUIPOTENCIAIS**

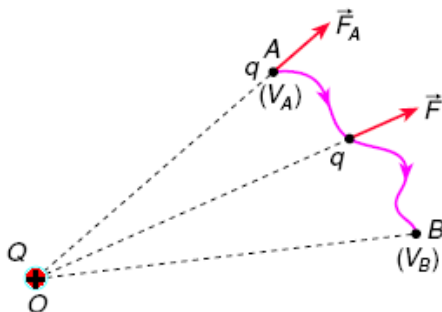
É o lugar geométrico de todos os pontos do espaço, que têm o mesmo potencial elétrico.

As linhas de forças são normais (ortogonais) às superfícies equipotenciais em qualquer campo elétrico.



### 7.7 - TRABALHO DA FORÇA ELÉTRICA

O trabalho da força elétrica para levar uma partícula eletrizada com carga  $q$  desde um ponto A até um ponto B de um campo elétrico é dado pela diferença de energia potencial entre esses pontos, independente da trajetória.



$$W_{AB} = -\Delta E_{p_{AB}} = E_{p_A} - E_{p_B} \Rightarrow W_{AB} = q \cdot (V_A - V_B)$$

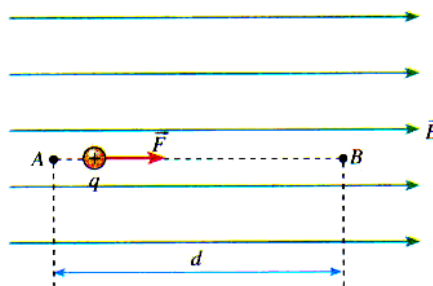
Observe que o trabalho da força elétrica é igual ao produto da carga deslocada pela diferença de potencial (ddp) inicial e final. Daí decorre que esse trabalho pode ser positivo, negativo ou nulo, dependendo do potencial final ser respectivamente menor, maior ou igual ao potencial inicial.

**OBS.:**

- A força elétrica é uma força conservativa, logo, o trabalho não depende da trajetória.
- O trabalho entre dois pontos de uma mesma superfície equipotencial é nulo.

### 7.8- TRABALHO EM UM CAMPO ELÉTRICO UNIFORME

Desloquemos uma carga de prova  $q$ , do ponto A, para um ponto B por uma trajetória qualquer. Como o trabalho da força elétrica não depende da trajetória descrita, vamos realizar o cálculo do trabalho:



$$W_{AB} = F \cdot d_{AB} \Rightarrow F = E \cdot q \Rightarrow W_{AB} = E \cdot q \cdot d_{AB}$$

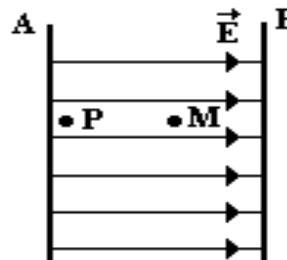
$$q \cdot (V_A - V_B) = E \cdot q \cdot d_{AB} \Rightarrow V_A - V_B = E \cdot d_{AB}$$

$$V_A - V_B = E \cdot d$$

$d_{AB}$  = distância entre as superfícies equipotenciais que contém os pontos A e B.  $V_A - V_B = U = ddp$

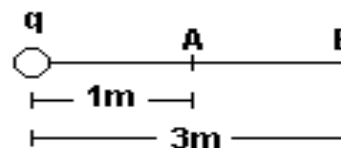
### EXERCÍCIOS DE AULA

1. (UFPEL) Duas placas condutoras extensas, A e B, carregadas eletricamente, criam no espaço que as separa um campo elétrico uniforme, como mostra a figura abaixo.



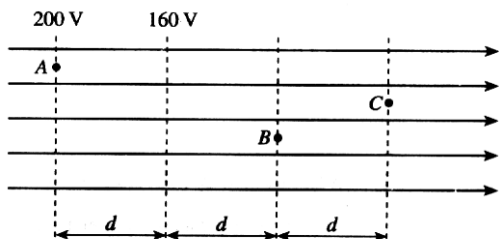
- Qual o sinal da carga elétrica em cada uma das placas?
- O potencial elétrico é maior no ponto P ou no ponto M?
- Se um elétron for abandonado no interior do campo elétrico, qual o sentido do seu movimento?

2. (UFPEL) Uma carga elétrica  $q_0 = 3 \cdot 10^{-9}$  C é transportada desde o ponto A até o ponto B do campo elétrico gerado pela carga  $q = 3 \cdot 10^{-6}$  C, fixa (ver figura abaixo). O trabalho realizado pela força elétrica vale



- $-54 \cdot 10^{-6}$  J
- $54 \cdot 10^{-9}$  J
- $-54 \cdot 10^{-9}$  J
- $5,4 \cdot 10^{-6}$  J
- $54 \cdot 10^{-6}$  J

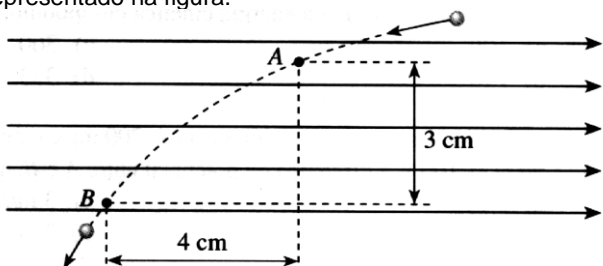
3. A figura a baixo mostra as linhas de força e superfícies equipotenciais de um campo elétrico uniforme com intensidade  $E = 20$  N/C.



Determine:

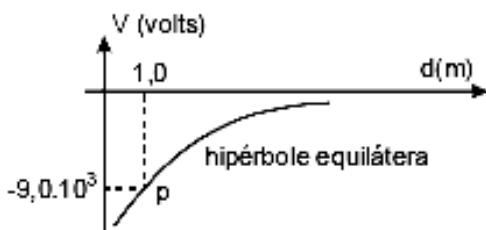
- a) a distância  $d$  e o potencial elétrico no ponto C;
- b) o trabalho da força elétrica que atua numa carga  $q = 5 \mu\text{C}$  ao ser deslocada de A para C;
- c) a energia potencial elétrica que a carga  $q = 5 \mu\text{C}$  adquire quando é colocada no ponto B.

4. (Fuvest) Uma partícula eletrizada positivamente com carga  $q = 3 \cdot 10^{-15} \text{ C}$  é lançada em um campo elétrico uniforme de intensidade  $2 \cdot 10^3 \text{ N/C}$ , descrevendo o movimento representado na figura.



- a) Qual a intensidade da força que atua sobre a partícula no interior do campo elétrico?
- b) Qual a variação da energia potencial elétrica da partícula entre os pontos A e B?

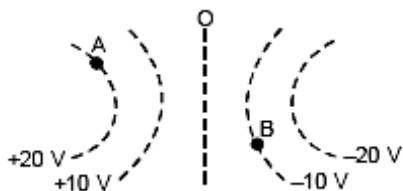
5. (FEI) O diagrama a seguir representa o potencial elétrico em função da distância do ponto considerado até a carga fonte do campo. (Dado:  $K_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ )



Sabe-se que o meio que envolve a carga fonte é o vácuo. Pede-se:

- a) O valor da carga fonte Q.
- b) Qual o potencial elétrico a 2 m da carga fonte?

6. (FUVEST) A figura representa algumas superfícies equipotenciais de um campo eletrostático e os valores dos potenciais correspondentes.

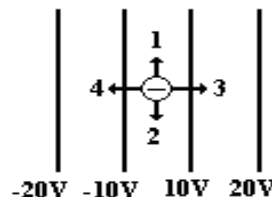


- a) Copie a figura, representando o vetor campo elétrico nos pontos A e B.

- b) Qual o trabalho realizado pelo campo para levar uma carga  $q$ , de  $2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ , do ponto A ao ponto B?

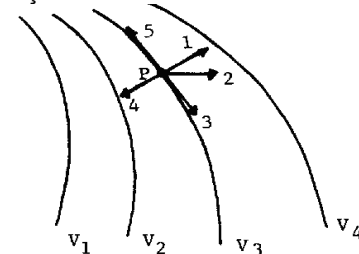
**EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

1. (FURG) A figura abaixo mostra as superfícies equipotenciais de um campo elétrico uniforme. A força elétrica sobre um elétron colocado nesse campo



- a) será nula.
- b) terá a direção e o sentido da seta (1).
- c) terá a direção e o sentido da seta (2).
- d) terá a direção e o sentido da seta (3).
- e) terá a direção e o sentido da seta (4).

2. (FURG) A figura abaixo representa uma família de superfícies equipotenciais tais que  $V_1 > V_2 > V_3 > V_4$ . O campo elétrico no ponto "P" tem direção e sentido:



- a) 1
- b) 2
- c) 3
- c) 4
- e) 5

3. (FURG) As linhas de força de um campo elétrico

- a) têm o mesmo sentido e a direção da força que uma carga elétrica experimenta em cada ponto.
- b) são normais às superfícies equipotenciais e orientadas dos potenciais mais baixos para os mais altos.
- c) são normais às superfícies equipotenciais e orientadas dos potenciais mais altos para os mais baixos.
- d) são tangentes às superfícies equipotenciais.
- e) não guardam qualquer relação com as superfícies equipotenciais.

4. (Fesp-SP) Considere as afirmações:

- I - Percorrendo-se um linha de força no seu sentido, o potencial elétrico, ao longo de seus pontos, aumenta.
- II - As linhas de força são paralelas às superfícies equipotenciais.
- III - Num campo elétrico uniforme, as superfícies equipotenciais são esféricas e concêntricas.

São corretas:

- a) I
- b) II
- c) I e II
- d) Todas
- e) Nenhuma

5. Analise as afirmações abaixo:

- I - Cargas elétricas positivas, abandonadas em repouso num campo elétrico, movimentam-se espontaneamente para pontos de menor potencial.
- II - Cargas elétricas negativas, abandonadas em repouso num campo elétrico, movimentam-se espontaneamente para pontos de menor potencial.
- III - Abandonadas em repouso num campo elétrico, cargas elétricas positivas poderão deslocar-se para

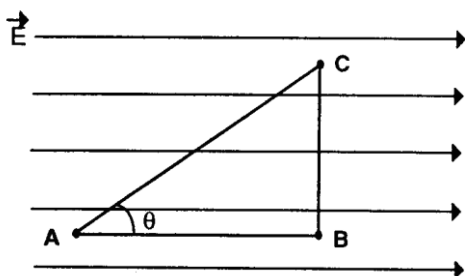
pontos de maior ou menor potencial, dependendo das cargas que geram o campo.

IV – Uma carga elétrica negativa movimentando-se num campo elétrico pode se deslocar para pontos de menor potencial.

Quais afirmativas são corretas?

- somente I e IV são corretas;
- somente II e IV são corretas;
- somente I, II e III são corretas;
- somente I, II e IV são corretas;
- todas são corretas

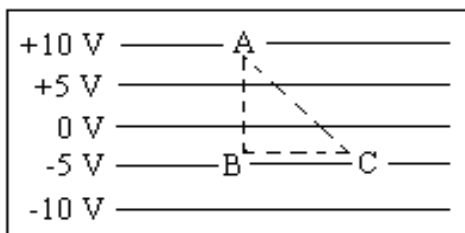
**6. (UFRS)** Uma carga elétrica puntiforme positiva é deslocada ao longo dos três segmentos indicados na figura abaixo, AB, BC e CA, em uma região onde existe um campo elétrico uniforme, cujas linhas de força estão também representadas na figura.



Assinale a alternativa correta.

- De A até B a força elétrica realiza sobre a carga um trabalho negativo.
- De A até B a força elétrica realiza sobre a carga um trabalho nulo.
- De A até B a força elétrica realiza sobre a carga um trabalho de módulo igual a  $|W_{CA}| \cos \theta$ , onde  $|W_{CA}|$  é no módulo do trabalho realizado por esta força entre C e A.
- De B até C a força elétrica realiza sobre a carga um trabalho nulo.
- De B até C a força elétrica realiza sobre a carga um trabalho igual àquele realizado entre A e B.

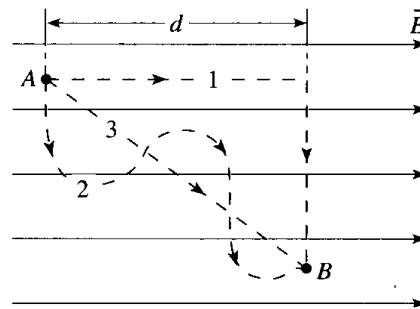
**7. (UFRS)** A figura representa linhas equipotenciais de um campo elétrico uniforme. Uma carga elétrica puntiforme positiva de  $2,0\mu\text{C}$  é movimentada com velocidade constante sobre cada um dos trajetos de A até B, de B até C e de A até C.



Nessas condições, o trabalho necessário para movimentar a carga

- de A até B é nulo.
- de B até C é nulo.
- de A até C é igual ao de B até C.
- de A até B é igual de B até C.
- de A até B é maior do que de A até C.

**8. (PUC-SP)** A figura mostra as linhas de força de um campo elétrico, situado em certa região do espaço, e dois pontos desse campo, A e B. Uma carga elétrica positiva é colocada em repouso no ponto A e pode ser levada até o ponto B, seguindo qualquer uma das trajetórias (1, 2 ou 3).



Leia as afirmativas a seguir.

I – O campo elétrico tem a mesma intensidade nos pontos A e B.

II – O trabalho realizado para levar a carga elétrica de A até B depende da trajetória escolhida e guarda a seguinte relação:

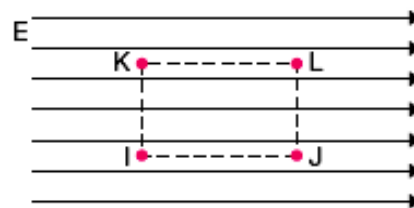
$$W_2 > W_1 > W_3.$$

III – Entre os pontos A e B, existe uma diferença de potencial elétrico, cujo módulo pode ser determinado pelo produto do módulo do campo elétrico e a distância d.

Assinale:

- Se todas as afirmativas estão corretas.
- Se todas as afirmativas estão incorretas.
- Se apenas as afirmativas I e II estão corretas.
- Se apenas as afirmativas I e III estão corretas.
- Se apenas as afirmativas II e III estão corretas.

**9. (UFRGS)** A figura abaixo representa linhas de força correspondentes a um campo elétrico uniforme. Os pontos I, J, K e L situam-se nos vértices de um retângulo cujos lados IJ e KL são paralelos as linhas de força.

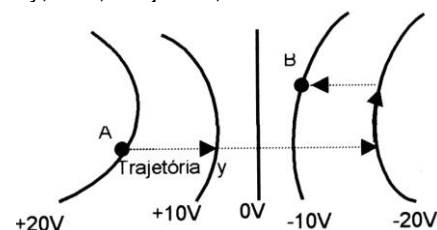


Em função disso, assinale a alternativa correta.

- O potencial elétrico em K é maior do que o potencial elétrico em I.
- O potencial elétrico em J é maior que o potencial elétrico em I.
- O potencial elétrico em K é igual ao potencial elétrico em L.
- A diferença de potencial elétrico entre I e J é a mesma que existe entre I e L.
- A diferença de potencial elétrico entre I e L é a mesma que existe entre J e L.

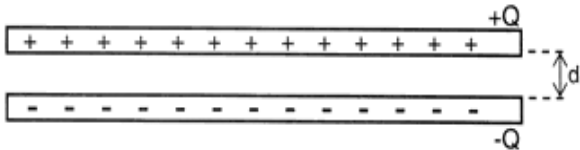
**10. (PSAEN)** A figura representa algumas superfícies equipotenciais de um campo eletrostático e os valores dos potenciais correspondentes. O trabalho realizado pelo campo para levar uma carga  $q = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  do ponto A ao ponto B, através da trajetória y, vale, em joules,

- $6 \cdot 10^{-5}$
- $9 \cdot 10^{-5}$
- $12 \cdot 10^{-5}$
- $15 \cdot 10^{-5}$
- $18 \cdot 10^{-5}$



**11. (UFRGS)** A figura abaixo representa a vista lateral de duas placas metálicas quadradas que, em um ambiente desumidificado, foram eletrizadas com cargas de mesmo valor e de sinais contrários. As placas estão separadas por uma distância  $d = 0,02 \text{ m}$ , que é muito menor do que o comprimento de seus lados. Dessa forma, na região entre as

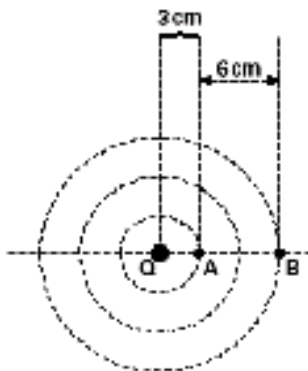
placas, existe um campo elétrico praticamente uniforme, cuja intensidade é aproximadamente igual a  $5 \times 10^3$  N/C. Para se transferir uma carga elétrica positiva da placa negativamente carregada para a outra, é necessário realizar trabalho contra o campo elétrico. Esse trabalho é função da diferença de potencial existente entre as placas.



Quais são, respectivamente, os valores aproximados da diferença de potencial entre as placas e do trabalho necessário para transferir uma carga elétrica de  $3 \times 10^{-3}$  C da placa negativa para a positiva?

- a) 15 V e 0,2 J.
- b) 75 V e 0,2 J.
- c) 75 V e 0,3 J.
- d) 100 V e 0,3 J.
- e) 100 V e 0,4 J.

12. (MACK) Uma partícula de 1,0 g está eletrizada com carga  $1,0 \mu\text{C}$ . Ao ser abandonada do repouso, no ponto A do campo elétrico da carga puntiforme Q, fica sujeita a uma força elétrica cujo trabalho por ela realizado, entre este ponto A e o ponto B, é igual ao trabalho realizado pelo seu próprio peso, durante sua queda num desnível de 40 m. Sabendo-se que  $k_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$  e que  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , podemos afirmar que o valor da carga Q é:



- a)  $1,0 \mu\text{C}$
- b)  $2,0 \mu\text{C}$
- c)  $3,0 \mu\text{C}$
- d)  $4,0 \mu\text{C}$
- e)  $5,0 \mu\text{C}$

13. (PUCSP) Assinale a afirmação falsa:

- a) Uma carga negativa abandonada em repouso num campo eletrostático fica sujeita a uma força que realiza sobre ela um trabalho negativo.
- b) Uma carga positiva abandonada em repouso num campo eletrostático fica sujeita a uma força que realiza sobre ela um trabalho positivo.
- c) Cargas negativas abandonadas em repouso num campo eletrostático dirigem-se para pontos de potencial mais elevado.
- d) Cargas positivas abandonadas em repouso num campo eletrostático dirigem-se para pontos de menor potencial.
- e) O trabalho realizado pelas forças eletrostáticas ao longo de uma curva fechada é nulo.

14. Uma carga elétrica puntiforme  $q = 8 \mu\text{C}$  é deslocada de um ponto A para B no interior de um campo elétrico. Em A o potencial elétrico é de 100 V e em B é desconhecido. Porém, se q ganhou  $12 \cdot 10^{-4}$  J de energia potencial elétrica nesse deslocamento, podemos afirmar que o potencial elétrico em B vale, em volts,

- a) 50

- b) 100
- c) 150
- d) 200
- e) 250

15. (MACK) Uma partícula eletrizada com carga  $q = 1,0 \mu\text{C}$  e massa 1,0 g é abandonada em repouso, no vácuo ( $K_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ ), num ponto A distante 1,0 m de outra carga  $Q = 25 \mu\text{C}$ , fixa. A velocidade da partícula, em m/s, quando passa pelo ponto B, distante 1,0 m de A é:

- a) 1,0
- b) 5,0
- c) 8,0
- d) 10
- e) 15

**GABARITO**

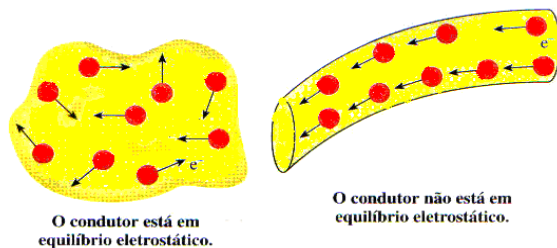
**EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

1) D	2) A	3) C	4) E	5) A
6) D	7) B	8) D	9) D	10) B
11) D	12) B	13) A	14) E	15) E

**8 - CONDUTOR ISOLADO EM EQUILÍBRIO ELÉTRICO**

**8.1 - DEFINIÇÃO**

Um condutor isolado encontra-se em equilíbrio eletrostático quando não há movimento ordenado de cargas elétricas no seu interior e na sua superfície.

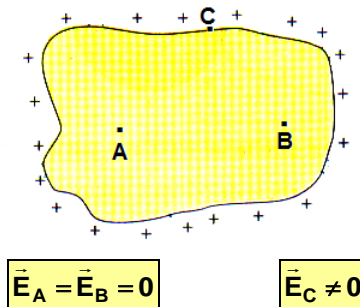


**8.2 - DISTRIBUIÇÃO DAS CARGAS ELÉTRICAS**

As cargas elétricas em excesso de um condutor são de um mesmo sinal, ou positiva ou negativa. Evidentemente, elas se repelem e, procurando maior distância entre si, vão para a superfície do condutor.

**8.3 - CAMPO ELÉTRICO**

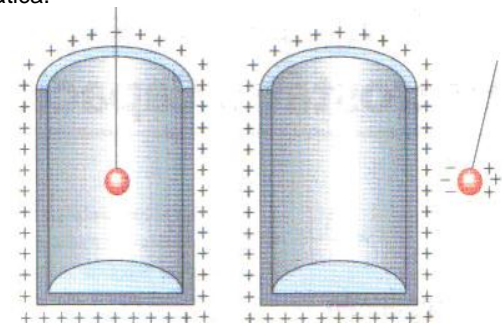
Os condutores dispõem de portadores de cargas elétricas livres. Se houver uma ação campo elétrico de um campo elétrico sobre os portadores de cargas, eles não ficarão em equilíbrio. Portanto, **no interior de um condutor em equilíbrio eletrostático o campo elétrico é nulo.**



- **Blindagem Eletrostática:** como o campo elétrico dentro do condutor é nulo, qualquer objeto colocado dentro de um



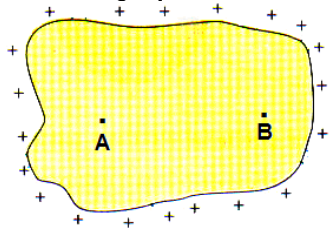
condutor oco, está protegido de qualquer influência eletrostática.



#### 8.4 - POTENCIAL ELÉTRICO

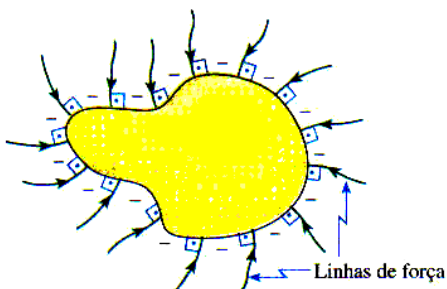
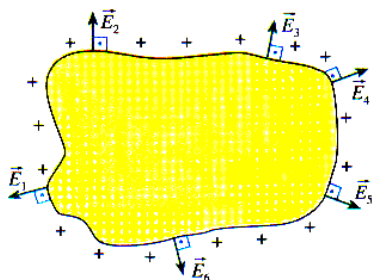
Já vimos que a força elétrica que age sobre uma carga de prova  $q$  é dada por  $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$ . Uma vez que o vetor campo elétrico é nulo em qualquer ponto do interior de um condutor em equilíbrio eletrostático, a força também é nula.

Assim, se considerarmos dois pontos quaisquer do condutor, A e B, o trabalho realizado pela força elétrica no deslocamento de uma carga  $q$  é nulo.



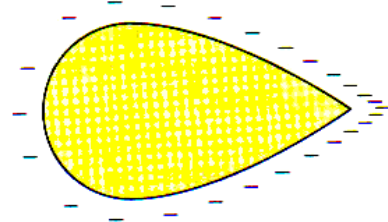
$$W_{A \rightarrow B} = q(V_A - V_B) = 0 \Leftrightarrow V_A = V_B$$

Todos os pontos de um condutor em equilíbrio eletrostático possuem o mesmo potencial elétrico. A superfície de um condutor é uma superfície equipotencial.



#### 8.5- PODER DAS PONTAS

Numa esfera eletrizada em equilíbrio eletrostático, a distribuição das cargas é uniforme. Entretanto, se o condutor for de forma geométrica variável, a concentração das cargas será maior nas regiões mais pontiagudas e com isso, a intensidade do campo elétrico nas pontas do condutor e nas vizinhanças dele é muito intenso.



O valor máximo da intensidade do campo elétrico, que um isolante (dielétrico) suporta sem se ionizar, dá-se o nome de rigidez dielétrica do isolante. Para o ar ela é de  $3 \cdot 10^6 \text{ V/m}$ .

Uma vez atingindo a rigidez dielétrica do dielétrico, ele se ioniza e torna-se condutor. Quando isso acontece com o dielétrico das vizinhanças do ponto de um condutor, verifica-se que as cargas de mesmo sinal são repelidas e de sinais contrários são atraídas. Evidentemente, o condutor acaba se descarregando pelo ponto.

A construção de pára-raios com pontas metálicas terminadas em ponto fundamenta-se no poder das pontas.



#### EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. (UFRGS) Analise cada uma das seguintes afirmações relacionadas com eletricidade e indique se é verdadeira (V) ou falsa (F):

( ) Uma esfera metálica eletricamente neutra, ao ser aproximada de um bastão de vidro positivamente carregado, pode sofrer uma força de atração elétrica.

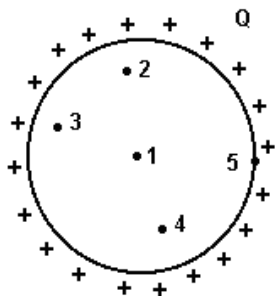
( ) Em uma esfera metálica eletricamente carregada, as cargas distribuem-se uniformemente, ocupando todo o volume da esfera.

( ) Uma carga elétrica positiva colocada entre duas cargas negativas é repelida por ambas.

Quais são, respectivamente, as indicações corretas?

- V, F, F
- V, F, V
- V, V, F
- F, V, V
- F, V, F

2. (PUC-RS) A figura representa uma esfera metálica eletrizada com uma carga positiva Q.



O campo elétrico terá o maior valor numérico no ponto

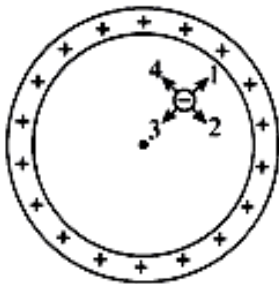
- a) 1
- b) 2
- c) 3
- d) 4
- e) 5

3. (PUC) Considerando uma esfera metálica, eletricamente isolada e em equilíbrio eletrostático, eletrizada com carga  $Q$ , pode-se afirmar que

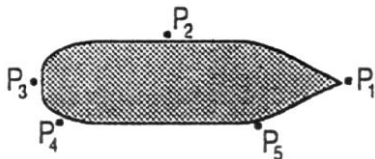
- a) o campo elétrico no interior da esfera é nulo e em sua superfície é diferente de zero.
- b) o campo elétrico no interior da esfera e em sua superfície é nulo.
- c) o potencial elétrico no interior da esfera é nulo e em sua superfície é constante e diferente de zero.
- d) o potencial elétrico da esfera é variável.
- e) o campo elétrico no interior da esfera é variável.

4. (UFRS) Uma partícula carregada negativamente é abandonada no interior de uma casca esférica condutora, carregada uniformemente com carga positiva, no ponto indicado na figura. Nessas condições, a força elétrica que atua na partícula:

- a) aponta em direção a 1.
- b) aponta em direção a 2.
- c) aponta em direção a 3.
- d) aponta em direção a 4.
- e) é nula.

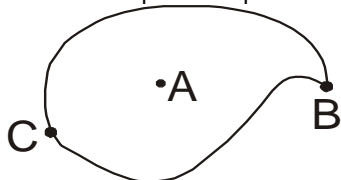


5. (ACAFE) A figura abaixo representa um condutor eletricamente carregado. Os pontos  $P_1, P_2, P_3, P_4$  e  $P_5$  estão situados próximos à superfície do condutor. O ponto de maior intensidade do campo elétrico é:



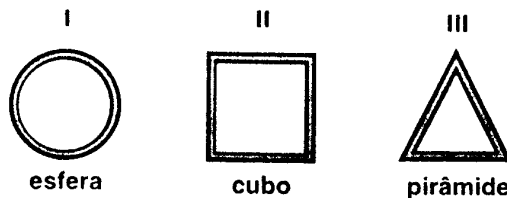
- a)  $P_5$
- b)  $P_2$
- c)  $P_1$
- d)  $P_4$
- e)  $P_3$

6. (ACAFE) A figura abaixo mostra um corpo metálico carregado positivamente, em equilíbrio eletrostático. A alternativa que não corresponde à questão apresentada é:



- a) O campo elétrico em A é nulo.
- b) O potencial em C é igual ao de B.
- c) O potencial em A é diferente de B.
- d) O campo elétrico é mais intenso em B.
- e) As cargas se distribuem na superfície do corpo metálico.

7. (UFRS) A figura abaixo representa, em corte, três objetos de formas geométricas diferentes, feitos de material bom condutor, que se encontram em repouso. Os objetos são ocas, totalmente fechados, e suas cavidades internas se acham vazias. A superfície de cada um dos objetos está carregada com carga elétrica estática de mesmo valor  $Q$ .



Em quais desses objetos o campo elétrico é nulo em qualquer ponto da cavidade interna?

- a) Apenas em I.
- b) Apenas em II.
- c) Apenas em I e II.
- d) Apenas em II e III.
- e) Em I, II e III.

8. (UFPEL) Na mitologia dos povos da antiguidade, assim como no humor de Luís Fernando Veríssimo, os raios são apresentados como manifestações da irritação dos deuses.



Seus conhecimentos de eletricidade permitem-lhe afirmar que ocorrem descargas elétricas entre nuvens e a Terra quando

- a) o ar se torna condutor porque foi ultrapassado o valor de sua rigidez dielétrica.
- b) cresce muito a rigidez dielétrica do ar, devido ao acúmulo de cargas elétricas nas nuvens.
- c) se torna nula a diferença de potencial entre as nuvens e a Terra porque estão carregadas com cargas de sinais contrários.
- d) diminui o campo elétrico na região, devido à eletrização da superfície terrestre por indução.
- e) o valor do campo elétrico na região oscila fortemente, devido ao acúmulo de cargas elétricas nas nuvens.

9. (UFSM) Em tempestades, quando ocorre a descarga elétrica que se caracteriza como raio, pode-se afirmar que

- a) a corrente elétrica é constante.
- b) o potencial é constante.
- c) o campo elétrico é uniforme.
- d) a rigidez dielétrica do ar é rompida.
- e) a resistência do ar é uniforme

1) A	2) E	3) A	4) E	5) C
6) C	7) E	8) A	9) D	