

**CEJA** >>

**CENTRO DE EDUCAÇÃO**  
de JOVENS e ADULTOS

**CIÊNCIAS DA  
NATUREZA**

e suas **TECNOLOGIAS** >>

**Física**

**Fascículo 5**

**Unidades 11, 12 e 13**

**Edição revisada 2016**

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Governador  
**Sergio Cabral**

Vice-Governador  
**Luiz Fernando de Souza Pezão**

---

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

---

Secretário de Estado  
**Gustavo Reis Ferreira**

---

SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO

---

Secretário de Estado  
**Wilson Risolia**

---

FUNDAÇÃO CECIERJ

---

Presidente  
**Carlos Eduardo Bielschowsky**

---

FUNDAÇÃO DO MATERIAL CEJA (CECIERJ)

---

Coordenação Geral de  
Design Instrucional  
**Cristine Costa Barreto**

Elaboração  
**Claudia Augusta de Moraes Russo**  
**Ricardo Campos da Paz**

Revisão de Língua Portuguesa  
**Ana Cristina Andrade dos Santos**

Coordenação de  
Design Instrucional  
**Flávia Busnardo**  
**Paulo Miranda**

Design Instrucional  
**Aline Beatriz Alves**

Coordenação de Produção  
**Fábio Rapello Alencar**

Capa  
**André Guimarães de Souza**

Projeto Gráfico  
**Andreia Villar**

Imagem da Capa e da Abertura das Unidades  
**<http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=download&id=1381517>**

Diagramação  
**Equipe Cederj**

Ilustração  
**Bianca Giacomelli**  
**Clara Gomes**  
**Fernando Romeiro**  
**Jefferson Caçador**  
**Sami Souza**

Produção Gráfica  
**Verônica Paranhos**

# Sumário

**Unidade 11 | Cargas elétricas e suas atrações** **5**

---

**Unidade 12 | Aprendendo sobre as correntes elétricas** **31**

---

**Unidade 13 | Civilização Elétrica** **55**

---

# Prezado(a) Aluno(a),

Seja bem-vindo a uma nova etapa da sua formação. Estamos aqui para auxiliá-lo numa jornada rumo ao aprendizado e conhecimento.

Você está recebendo o material didático impresso para acompanhamento de seus estudos, contendo as informações necessárias para seu aprendizado e avaliação, exercício de desenvolvimento e fixação dos conteúdos.

Além dele, disponibilizamos também, na sala de disciplina do CEJA Virtual, outros materiais que podem auxiliar na sua aprendizagem.

O CEJA Virtual é o Ambiente virtual de aprendizagem (AVA) do CEJA. É um espaço disponibilizado em um site da internet onde é possível encontrar diversos tipos de materiais como vídeos, animações, textos, listas de exercício, exercícios interativos, simuladores, etc. Além disso, também existem algumas ferramentas de comunicação como chats, fóruns.

Você também pode postar as suas dúvidas nos fóruns de dúvida. Lembre-se que o fórum não é uma ferramenta síncrona, ou seja, seu professor pode não estar online no momento em que você postar seu questionamento, mas assim que possível irá retornar com uma resposta para você.

Para acessar o CEJA Virtual da sua unidade, basta digitar no seu navegador de internet o seguinte endereço:  
<http://cejarj.cecierj.edu.br/ava>

Utilize o seu número de matrícula da carteirinha do sistema de controle acadêmico para entrar no ambiente. Basta digitá-lo nos campos "nome de usuário" e "senha".

Feito isso, clique no botão "Acesso". Então, escolha a sala da disciplina que você está estudando. Atenção! Para algumas disciplinas, você precisará verificar o número do fascículo que tem em mãos e acessar a sala correspondente a ele.

Bons estudos!



# Cargas elétricas e suas atrações

Fascículo 5  
Unidade 11



# Cargas elétricas e suas atrações

## Para início de conversa...

Uma tempestade de raios e trovões deixa-nos amedrontados e ao mesmo tempo extasiados - os raios despencando das nuvens, cruzando o céu com violência e quem sabe destroçando uma árvore no campo ou (felizmente) atingindo um para-raios em algum edifício. Veremos neste módulo que os raios e muitos outros fenômenos que observamos são ocasionados por forças eletromagnéticas: magnetos presos na geladeira, a agulha da bússola, procurando o norte, pedacinhos de papel atraídos por uma caneta plástica que foi esfregada em tecido, as correntes elétricas que chegam pelos fios e que alimentam os eletrodomésticos da casa etc.]



Figura 01: Descarga elétrica em forma de raios  
Fonte: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Raios.jpg>

Por volta de 600 a.C., os gregos já sabiam que se uma pedra de âmbar fosse esfregada com um pano de lã e depois fosse encostada em outro objeto, a pedra e o objeto se repeliriam. Eles também perceberam que se um pedaço de vidro for esfregado com um pano de seda, objetos tocados pelo vidro repelem-se uns aos outros. No entanto, objetos tocados pelo vidro e objetos tocados pela pedra de âmbar atraem-se. Hoje dizemos que tanto a pedra de âmbar e o vidro tornaram-se carregadas. A força de atração ou repulsão nesses experimentos simples denomina-se “força elétrica”, que vem da palavra grega para âmbar, *electro*.

O entendimento das interações elétricas avançou muito nos séculos XVIII e XIX com experimentos realizados por cientistas na Europa e nos Estados Unidos (alguns dos quais vamos mencionar mais adiante). Aliás, no início dos experimentos em eletricidade e magnetismo não havia o objetivo de se realizar algo “útil” (como uma lâmpada elétrica), os experimentos eram realizados para se entender melhor o funcionamento das forças básicas da natureza. Hoje não podemos nem imaginar um mundo sem o conforto que a eletricidade nos traz: iluminação, elevadores, comunicações, aquecimento, refrigeração... Há muitos casos na história da ciência nos quais uma pesquisa sem finalidades práticas acaba produzindo enormes benefícios para a humanidade.

Voltando à eletricidade estática, é comum nos museus de Ciências um experimento onde se pode tocar numa esfera carregada e os cabelos ficam em pé. Nos países de clima frio, onde a umidade do ar é baixa, também se observa que os cabelos ficam em pé quando as crianças escorregam em estruturas plásticas como as que existem nos parques de diversão. O fenômeno é o mesmo: o cabelo fica carregado, eles se repelem e terminam por ficar **erçados**. Por que isso acontece? Discutiremos em seguida este e outros fenômenos.

## Eriçados

arrepiados



Figura 2: Em países de clima frio e seco, é comum que os cabelos das crianças fiquem arrepiados ao descer em um escorrega. Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Static\\_on\\_the\\_playground\\_%2848616367%29.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Static_on_the_playground_%2848616367%29.jpg)

## Objetivos de Aprendizagem

- Conceituar cargas elétricas e suas interações básicas.
- Aplicar a lei de Coulomb a problemas simples de eletrostática.
- Explicar fenômenos eletrostáticos do dia a dia.

# Seção 1

## Cargas elétricas

Todos os materiais que conhecemos e que são listados na tabela periódica da

Química são compostos por átomos, que são por assim dizer os “tijolos” fundamentais da Natureza. Os átomos são compostos por partículas ainda menores, os elétrons e os núcleos dos átomos que interagem por meio de forças elétricas. Os elétrons de carga negativa movem-se em torno dos núcleos de carga positiva. Como mencionamos na introdução, experimentos demonstraram que cargas iguais se repelem e cargas distintas se atraem. Como os elétrons e o núcleo possuem cargas distintas, existe uma força elétrica de atração entre eles. Os átomos e moléculas agrupam-se para formar os materiais do nosso dia a dia, os sólidos e os líquidos. Os átomos em geral são neutros, pois a carga negativa dos elétrons cancela a carga positiva do núcleo.

Aliás, convém lembrar que a carga positiva no núcleo continua junta porque existe uma outra força, a força nuclear forte, que mantém os prótons juntos, embora eles se repilam fortemente devido ao fato de terem cargas iguais. Essa força forte só age em distâncias nucleares e é o que mantém o núcleo coeso.

No entanto, os elétrons não são ligados muito fortemente ao núcleo, principalmente os das camadas externas. Em muitas situações, os elétrons são arrancados de um corpo (por exemplo, o bastão de vidro esfregado com seda) e dizemos que ele adquiriu uma carga positiva. De forma análoga, um corpo pode adquirir carga negativa, se elétrons acumulam-se nele.

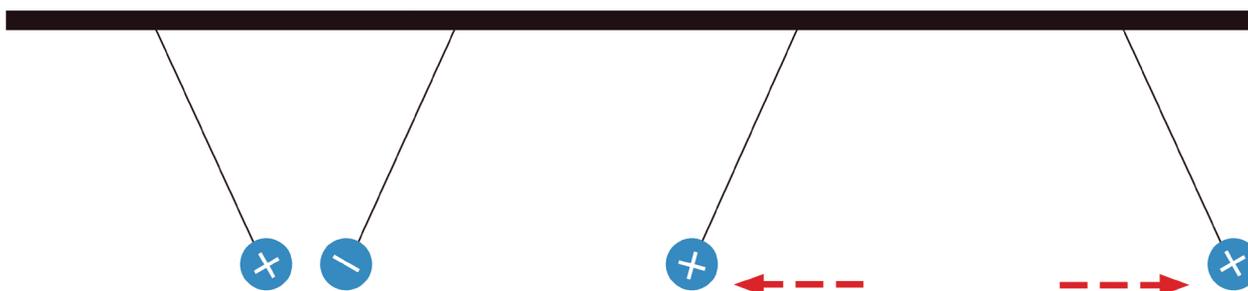


Figura 3: Cargas diferentes atraem-se e cargas iguais repelem-se.

Um corpo carregado pode se descarregar bruscamente, emitindo uma faísca.

Quem já morou num lugar onde a umidade é baixa (e portanto as cargas elétricas acumulam-se mais facilmente) sabe que maçanetas de portas às vezes dão choque, leve mas desconfortável.

## Seção 2

### Isolantes e condutores

Sabemos que alguns materiais são bons condutores de eletricidade e outros, não. Um condutor elétrico é um material no qual os elétrons podem se movimentar livremente pelos átomos. Os metais são os condutores mais comuns, um exemplo são os fios de cobre que compõem a rede elétrica que leva corrente até a sua casa. Outros materiais também conduzem eletricidade. A água salgada é um bom condutor por conter íons de sódio ( $\text{Na}^+$ ) e cloro ( $\text{Cl}^-$ ) que podem se mover transportando cargas elétricas.

Já os isolantes são materiais cujas ligações químicas permitem que poucos elétrons movam-se. Em cerâmicas, rochas, cabelos e madeira, por exemplo, os elétrons são ligados fortemente a um ou mais átomos por ligações iônicas ou covalentes (como você já deve ter visto nas aulas de Química). Esses materiais não conduzem eletricidade em condições usuais. Os isolantes (como o próprio nome indica) são utilizados no dia a dia para revestir os fios elétricos e evitar o contato com fios que transportam correntes elétricas.

## Seção 3

### As bases experimentais da Lei de Coulomb

No final do Século XVIII, apareceu mais uma evidência da unidade da física em fenômenos totalmente distintos: descobriu-se que a força elétrica entre duas cargas depende da distância entre elas da mesma forma que a força da gravidade entre duas massas. A história do estabelecimento desse fato experimental, que hoje é conhecido por Lei de Coulomb, é muito interessante. Benjamin Franklin (1706 – 1790) foi um cientista e estadista americano que realizou alguns experimentos pioneiros que ajudaram a esclarecer o mistério das cargas elétricas. Ele soltava uma pipa que tinha uma chave pendurada no fio e a chave emitia faíscas como os objetos carregados no laboratório. Disso ele concluiu que as nuvens eram carregadas e que ele podia carregar um objeto com cargas positivas ou cargas negativas, dependendo do arranjo experimental que ele fizesse. Esse experimento deu origem ao para-raios, que é um objeto metálico pontudo que oferece um caminho fácil e inofensivo para a descarga elétrica das nuvens.



Figura 4: Benjamin Franklin realizando sua experiência com a pipa e chave durante uma tempestade.  
Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Franklin\\_lightning\\_engraving.jpg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Franklin_lightning_engraving.jpg)

Numa reunião científica, Franklin comentou com Joseph Priestley (1733-1804) sobre uma “observação curiosa” de anos atrás: ele notou que um vaso de metal atraía uma pequena esfera de cortiça pendurada num fio quando a bola estava no exterior do vaso, mas que no interior do vaso a cortiça não era atraída. Priestley confirmou o resultado de Franklin e compreendeu o seu significado mais profundo: ele lembrou que uma casca esférica não atrai gravitacionalmente outra massa colocada no seu interior, mas que atrai o mesmo objeto, se ele estiver no exterior da casca. Assim Priestley inferiu que a atração elétrica entre as cargas deveria obedecer a leis semelhantes à gravitação.

Após tomar conhecimento do comentário de Priestley, Henri Cavendish (1731-1810) fez experimentos que demonstraram a correção das observações de Franklin. Ele repetiu o experimento de Franklin de forma muito mais sofisticada e utilizando-se das ferramentas do cálculo diferencial que Newton havia inventado, deduziu que a lei de atração entre as cargas era inversamente proporcional ao quadrado da distância, ou seja,

$$F \sim \frac{1}{d^N}$$

onde o valor experimental para N era . Esse resultado ficou esquecido por um século (ele nunca o publicou), até que suas anotações foram descobertas por outro cientista.

## Lei de Coulomb

A força entre duas cargas como função da distância ficou conhecida como Lei de Coulomb, após o famoso experimento de Charles Augustin Coulomb (1726-1806). Ele não conhecia o resultado de Cavendish, discutido anteriormente, e mediu diretamente a força exercida por uma carga sobre a outra, em 1785. Para realizar essa medida, ele utilizou uma balança de torção (veja Figura 5).

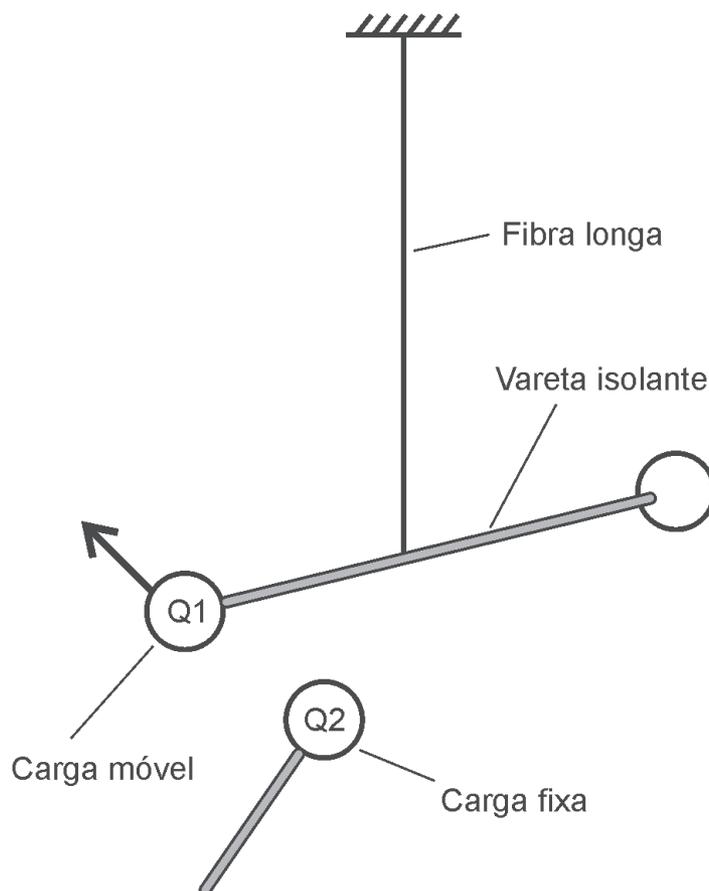


Figura 5: Esquema da balança de torção utilizada por Coulomb

Ele colocou bolas de cortiça nas extremidades de uma vareta isolante, suspensa horizontalmente por uma fibra longa. Em seguida, ele carregou uma das bolas da vareta com carga  $Q_1$ . Uma outra bola carregada com carga  $Q_2$  mantida a uma certa distância  $d$  provoca uma força na bola com carga  $Q_1$ . A fibra é calibrada de modo que o ângulo que a vareta faz com a direção inicial (antes da carga  $Q_1$  ser aproximada) seja proporcional ao módulo da força entre as cargas. Uma força igual e contrária aparece (e age) na carga  $Q_2$  de acordo com a segunda lei de Newton. Assim, variando a distância entre as cargas e medindo a força para cada distância, Coulomb foi capaz de estabelecer a seguinte lei:

Importante

A força entre duas cargas é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as cargas. A força atua sobre a reta que passa no centro das duas cargas.

A unidade de carga elétrica é o Coulomb (C) no Sistema Internacional. A carga de 1C é a carga contida em  $6,25 \times 10^{23}$  elétrons. Essa quantidade de elétrons, que parece muito grande, passa, por exemplo, a cada segundo por um fio que conduz a corrente para uma lâmpada de 100 W.

Assim, costuma-se escrever

$$F = k \frac{Q_1 \times Q_2}{d^2}$$

onde  $k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$  é uma constante. Usualmente se calcula o módulo da força, utilizando-se a equação acima e sempre tomando os valores positivos para as cargas. Se as cargas possuem o mesmo sinal, é uma força de repulsão e, se possuem sinais opostos, é uma força de atração. A direção da força é a da reta que une as duas cargas. O sentido da força é dado pela Figura 4, conforme as cargas possuam mesmo sinal ou sinais distintos.

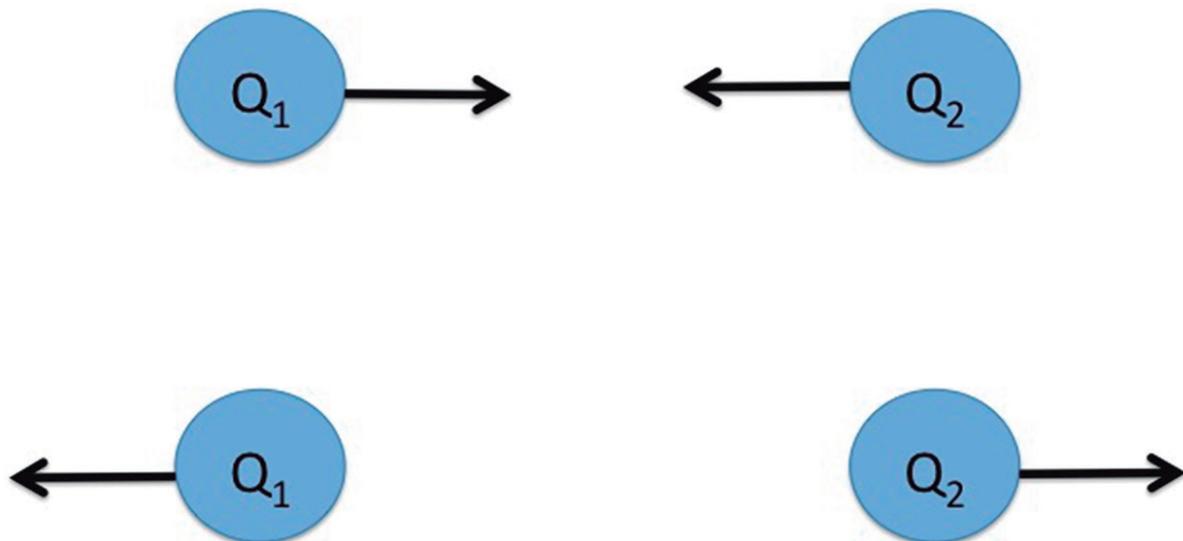


Figura 6: Forças elétricas causadas por cargas estáticas. No par superior, as duas cargas têm sinais contrários (Q1 é positiva e Q2 é negativa ou Q1 é negativa e Q2 é positiva). No par inferior, as duas cargas possuem o mesmo sinal (ou as duas positivas ou as duas negativas).

### Um coulomb de carga é uma carga enorme

Imagine duas cargas iguais e opostas com  $Q = \pm 1\text{C}$ , situadas a 1 km uma da outra. Calcule a força elétrica entre as cargas.

Anote suas respostas em seu caderno



### Força elétrica X força gravitacional

Calcule a força elétrica entre o elétron e o próton que compõem o átomo mais simples que existe, o átomo de hidrogênio. Compare a força elétrica com a força gravitacional entre a massa do elétron e a massa do próton. A distância entre eles (ou seja, o raio típico do átomo de hidrogênio) é de  $R = 10^{-10}\text{ m}$ . A carga do elétron é o negativo da carga do próton que vale  $Q = 1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$ . A massa do elétron é  $m = 9 \times 10^{-31}\text{ kg}$  e a massa do próton é  $M = 1.7 \times 10^{-27}\text{ kg}$ .



## Seção 4

# O princípio da superposição

Já sabemos como as cargas agem entre si: cada uma causa na outra uma força cujo módulo é dado pela Lei de Coulomb, na direção da linha que as une. Sabemos também que a força pode ser atrativa ou repulsiva, dependendo do sinal das cargas.

E se houver mais de uma carga? Como fica a Lei de Coulomb?

Vamos supor que haja três cargas  $q_1$ ,  $q_2$  e  $q_3$ , dispostas num plano. Escolhermos uma delas, por exemplo,  $q_3$ . Qual a força que as outras duas fazem nela?

A experiência mostra que a força total exercida sobre a terceira carga é a soma vetorial da força que cada uma das duas primeiras causa sobre a terceira. Essa propriedade da interação elétrica é denominada de princípio da superposição de forças e na realidade se aplica para qualquer número de cargas (não apenas duas), interagindo uma com as outras.

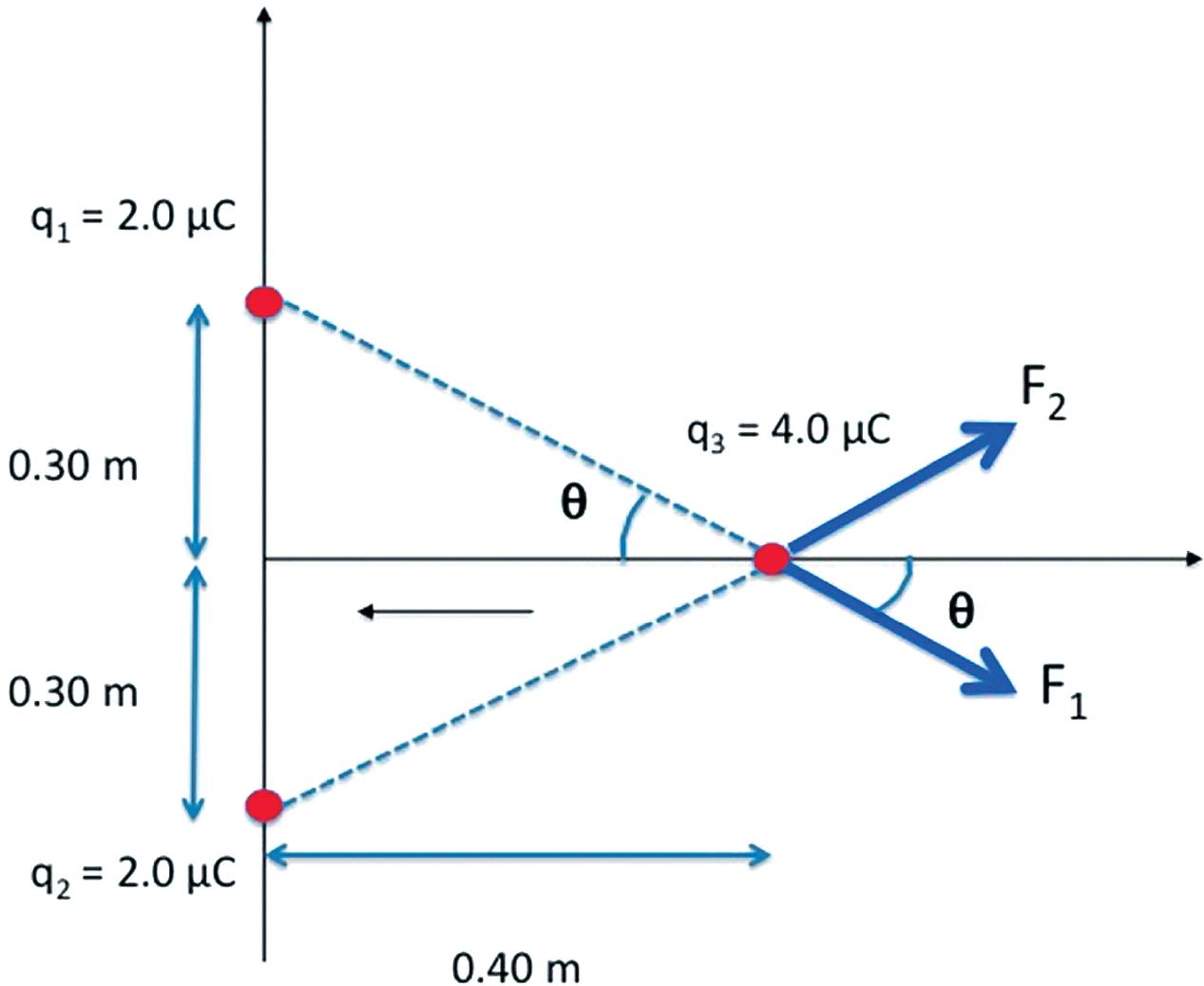


Figura 7: Três cargas no plano e as forças que as cargas  $q_1$  e  $q_2$  fazem em  $q_3$ .

Vamos ilustrar essa propriedade com o exercício seguinte.

Na Figura 7, temos 3 cargas. A geometria do problema e os valores das cargas estão mostrados na figura. Chamamos  $F_1$  à força causada pela carga  $q_1$  na carga  $q_3$ . Observe que o traço pontilhado na figura é a distância entre estas duas cargas:

$d = \sqrt{0.3^2 + 0.4^2} = 0,5m$  O módulo de  $F_1$  é dado por:

$$F_1 = K \frac{q_1 \times q_2}{d^2} = 9 \times 10^9 \frac{(4 \times 10^{-6}) \times (2 \times 10^{-6})}{0,5^2} = 0,29N$$

O ângulo  $\theta$  na figura, dado pela geometria do problema, permite-nos decompor essa força ao longo dos eixos x e y.

$$F_{1x} = F_1 \cos \theta = 0,29 \cdot \frac{0,40}{0,50} = 0,23N$$

$$F_{1y} = F_1 \sin \theta = -0,29 \cdot \frac{0,30}{0,50} = -0,17N$$

Pela figura, pode-se ver que realmente a componente no eixo x de  $F_1$  é negativa. Por simetria do problema, o módulo de  $F_2$  é o mesmo de  $F_1$ . A decomposição é semelhante: a componente x é a mesma, mas a componente y tem o sinal contrário (pois aponta para cima, eixo y positivo). Portanto, quando somarmos os dois vetores, as componentes y anulam-se e a resultante é a soma das componentes x. Assim, a força que age na carga  $q_3$  é  $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = 2 \times F_{1x} = 0,46\hat{x}$ , na direção do eixo x.

Vale a pena ressaltar que calculamos a força resultante em  $q_3$ , mas qualquer das cargas terá duas forças elétricas, agindo nela produzidas pela interação dessa carga com as outras duas.

### Experimento do canudo

Esfregue um canudo plástico com um lenço de papel e encoste-o numa parede de superfície lisa. O canudo fica grudado por algum tempo à parede. Explique por que isso acontece.

Anote suas respostas em seu caderno



## Seção 4

# Campo elétrico

Até aqui, estudamos a Lei de Coulomb e como duas cargas interagem uma com a outra. Se movermos uma das cargas, imediatamente a outra, sente o efeito desse movimento, mesmo se ela estiver muito distante.

Denominamos essa concepção da interação entre duas cargas como uma “ação a distância”, onde não se supõe que haja “algo” que transmita a interação entre as duas partículas e que a ação seja instantânea. Sabemos hoje que isso não é razoável, pois a maior velocidade possível de transmissão de informação é a velocidade da luz.

Hoje empregamos o conceito de campo elétrico para descrever a interação elétrica entre duas partículas. Assim, uma partícula A carregada, gera em torno de si um campo elétrico em todos os pontos do espaço. Uma outra partícula B, sob a ação desse campo elétrico, sente a força elétrica gerada por A. Vejamos essa questão com mais detalhes.

A Figura 8 ilustra o campo elétrico gerado por uma carga positiva isolada no espaço. As flechas representam o campo elétrico, um vetor, em cada ponto do espaço, gerado pela carga  $+Q$ . Observe que a presença de uma única carga pode gerar um campo em todo o espaço.

Mas como se pode medir o campo elétrico num determinado ponto?

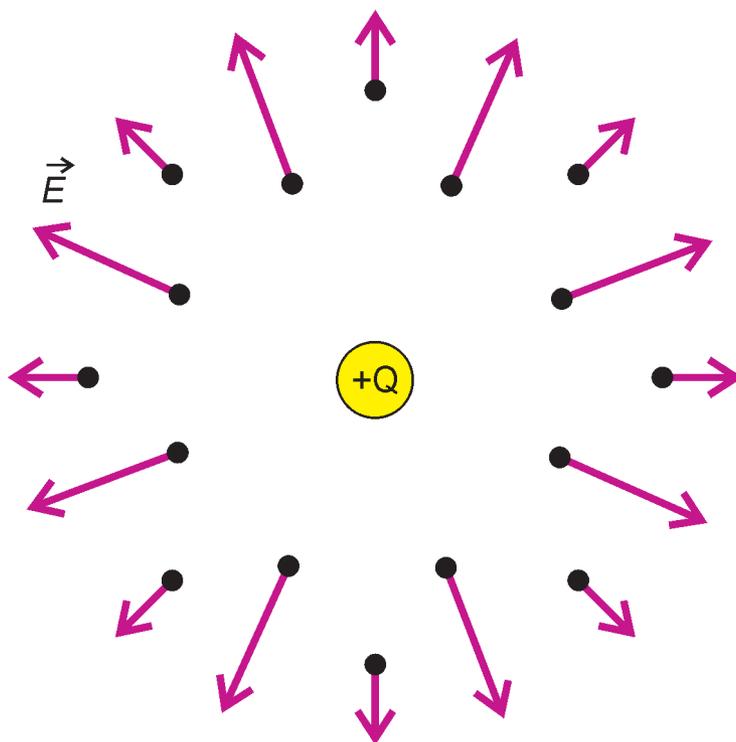


Figura 8: Campo elétrico gerado por uma carga  $+Q$  em todos os pontos do espaço.

A Figura 9 é a mesma figura anterior na qual adicionamos uma carga de teste  $q_0$ , supostamente bem menor do que a carga  $+Q$  (para não perturbar o campo gerado pela carga maior). O campo elétrico é definido da seguinte forma:

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

de modo que a força na carga  $q_0$  é dada por

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

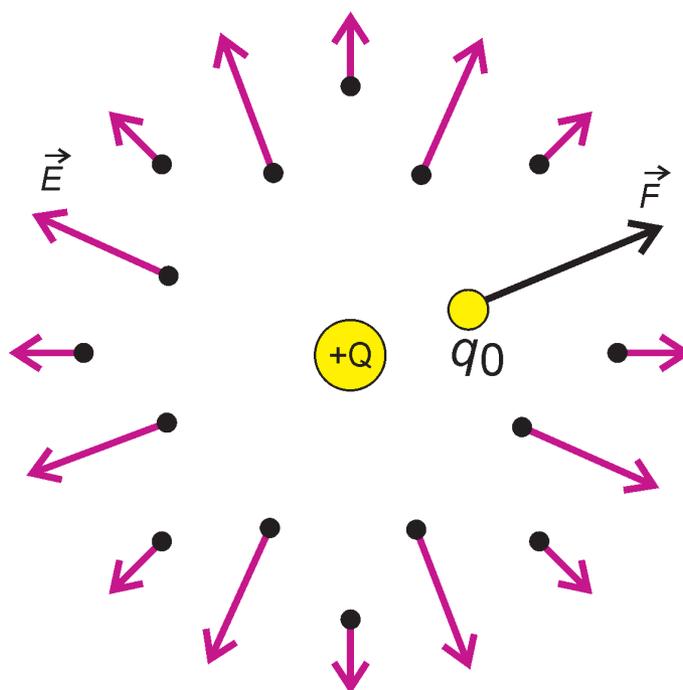


Figura 9: Campo elétrico gerado por uma carga  $+Q$  em todos os pontos do espaço. Sobre uma carga  $+q_0$  no campo de  $+Q$  age uma força  $\vec{F}$  que é a força dada pela Lei de Coulomb.

Portanto, para que a definição de campo esteja em conformidade com a lei de Coulomb, o módulo do campo elétrico de uma carga pontual deve ser dado por:

$$E = k \frac{Q}{d^2}$$

de modo que, pela definição acima, o módulo da força seja dado por

$$F = k \frac{Qq_0}{d^2}$$

O sentido e a direção da força obedecem ao que já vimos anteriormente: a força está na direção da linha que une as duas cargas e ela é atrativa, se as cargas forem distintas, e repulsiva, se as cargas forem iguais. Assim, uma carga  $-Q$ , negativa, gera um campo elétrico cujos vetores apontam para a carga (compare com a Figura 8). Uma carga de teste  $+q_0$  na vizinhança dela iria sofrer uma força atrativa (compare com a Figura 9).



### Elétron e próton acelerados

Um próton é solto num campo elétrico uniforme. A seguir, um elétron é colocado no mesmo ponto e solto também. A mesma força age neles? A mesma aceleração? Eles se movem na mesma direção, quando soltos?

Anote suas respostas em seu caderno

## Seção 5

### A água como uma substância polar

Na realidade, tudo isso que discutimos parece um tanto longe da nossa realidade do dia a dia. Nada mais equivocado! Por exemplo, a substância mais importante para a nossa vida é a água, é ela que torna a vida possível. As moléculas do nosso corpo precisam de água para dissolver as moléculas biológicas essenciais. A água é um composto de hidrogênio e oxigênio, com dois átomos de hidrogênio para cada átomo de oxigênio. As propriedades elétricas da molécula da água é que a tornam tão eficiente como solvente, como veremos a seguir.

Um dipolo elétrico pode ser pensado como um par de cargas pontuais com mesmo módulo, porém de sinais contrários (ou seja, uma carga positiva  $+Q$  e uma carga negativa  $-Q$ ) bem próximas. Como um todo, o dipolo é neutro, mas há um desbalanço espacial de carga, de modo que uma parte seja mais positiva e outra mais negativa. Uma molécula de água é neutra, mas as ligações químicas no interior da molécula ocasionam um deslocamento das cargas. Assim, a parte ocupada pelos hidrogênios fica mais positiva e a parte ocupada pelo oxigênio fica mais negativa, conforme mostra a Figura 10. As consequências desse deslocamento são profundas.

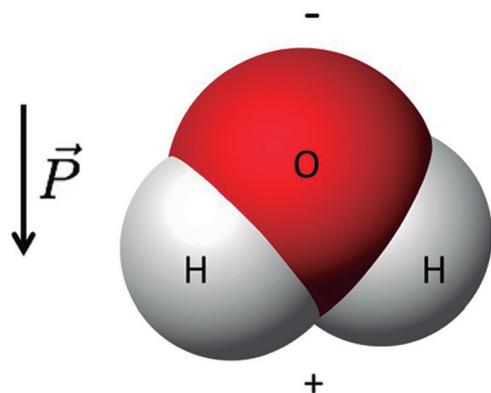


Figura 10: Uma molécula de água. Há um ligeiro desbalanço espacial de cargas, no sentido que a parte mais próxima dos hidrogênios é mais positiva e a parte mais próxima do oxigênio é negativa, mas a molécula como um todo é neutra. O momento  $\vec{P}$  aponta da extremidade negativa para a positiva.

A água, por ter um momento de dipolo significativo, é um excelente solvente de substâncias iônicas, como o sal de cozinha (cloreto de sódio, NaCl). Ao se dissolver em água, o sal dissocia-se em um íon positivo ( $\text{Na}^+$ ) e um íon negativo ( $\text{Cl}^-$ ), que são respectivamente atraídos pelas extremidades negativa e positiva da molécula. O momento de dipolo da água é responsável pelos efeitos físicos e químicos que ocorrem nas soluções aquosas. A vida na Terra depende das reações bioquímicas que só são possíveis graças ao fato das moléculas de água possuírem momento de dipolo significativo.

Aliás, a água, caindo da torneira (de modo que fique um filete bem fino), desvia-se da sua trajetória na presença de um bastão de plástico carregado e daí podemos inferir que as moléculas de água (embora neutras) possuem um momento de dipolo. Fluidos que não são compostos por moléculas dipolares (como o tetracloreto de carbono, por exemplo) não são desviados de sua trajetória pela presença de um bastão carregado.

## Resumo

Nesta aula, você viu que:

- As cargas elétricas podem ser de dois tipos: positivas ou negativas. Quando são iguais, elas se repelem, e quando são opostas, atraem-se;
- Materiais condutores são aqueles em que os elétrons podem se movimentar livremente pelos átomos, já os materiais isolantes são aqueles que as ligações químicas permitem pouca movimentação de elétrons;
- A Lei de Coulomb diz-nos que a força entre duas cargas é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as cargas, ;
- Em uma associação de cargas, a força total exercida sobre uma carga é a soma vetorial da força que cada uma das outras cargas causa sobre a carga escolhida;

# Veja Ainda

## Física e vida: o "sexto sentido" dos tubarões

Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Lorenzini.jpg>.

Os tubarões podem localizar a presa escondida na areia no fundo do oceano. Eles detectam o campo elétrico minúsculo, produzido pelas contrações musculares da presa. Podemos ver os canais preenchidos por uma geleia condutora que terminam em poros, que são os pontos pretos na figura. Campos de baixa intensidade (até  $5 \times 10^{-7}$  N/C) fazem cargas fluir nos canais e disparam um sinal no sistema nervoso do tubarão. Canais com orientações distintas podem indicar as componentes distintas do campo elétrico e assim determinar a direção do campo.



Figura 11: Os pontos pretos na figura são os poros pelos quais o tubarão detecta campos elétricos.

## Algumas referências sobre a capacidade dos tubarões de detectarem campos elétricos:

[http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/o\\_sentido\\_eletrico\\_dos\\_tubaroes\\_imprimir.html](http://www2.uol.com.br/sciam/reportagens/o_sentido_eletrico_dos_tubaroes_imprimir.html)

## Referências

### Livros

- Hewitt, Paul G. **Física Conceitual**. Bookman, Porto Alegre, 2000.
- Cassidy, David; Holton, Gerald e Rutherford, James. **Understanding Physics**. Springer, 2002.

### Atividade 1

De acordo com a Lei de Coulomb (lembre que  $d = 1\text{ km} = 1000\text{ m}$ ).

$$F = 9 \times 10^9 \frac{1 \times 1}{1000^2} = 9000\text{ N}$$

que é uma força enorme, quase o peso de uma pedra de uma tonelada!

### Atividade 2

Vamos calcular primeiro a força gravitacional entre o próton e o elétron. Lembre que a força gravitacional é SEMPRE ATRATIVA entre duas massas quaisquer e sua expressão é dada pela equação vista anteriormente:

$$F_g = G \frac{m \times M}{R^2} = 6,7 \times 10^{-11} \frac{(1,7 \times 10^{-27}) \times (9 \times 10^{-31})}{(10^{-10})^2} = 1 \times 10^{-47}\text{ N}$$

Vamos agora calcular a força elétrica entre as duas cargas por médio da Lei de Coulomb:

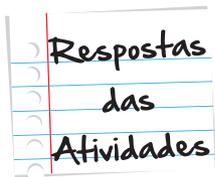
$$F_E = k \frac{q \times q}{R^2} = 9 \times 10^9 \frac{(1,6 \times 10^{-19}) \times (1,6 \times 10^{-19})}{(10^{-10})^2} = 2 \times 10^{-8}\text{ N}$$

de onde concluímos que a força gravitacional é muito menor do que a força elétrica entre as cargas.

### Atividade 3

Quando o canudo é esfregado pelo papel, ele fica eletrizado com carga negativa (como descrito na seção 1). Ao se aproximar da parede, a carga negativa excedente no canudo atrai a parte positiva das moléculas da parede e repele os elétrons das mesmas moléculas. Assim, a superfície da parede fica positivamente carregada e atrai o canudo. Claro que quem realmente impede o canudo de escorregar na parede é a força de atrito entre os dois, que só existe porque a força de atração elétrica empurra um contra o outro.





#### **Atividade 4**

Lembremos que a carga do elétron é negativa, a do próton é positiva e com o mesmo módulo da do elétron e que a massa do próton é cerca de duas mil vezes maior do que a do elétron. Assim, os dois experimentam a mesma força, pois a força é carga vezes o campo elétrico, conforme explicado na seção 4. A aceleração é força dividida pela massa. Assim, a aceleração do elétron será muito maior (duas mil vezes maior, aproximadamente). E finalmente, eles se movimentam em direções opostas, pois a força numa partícula carregada depende do sinal da sua carga. Assim, o próton se movimentará na mesma direção do campo elétrico e o elétron se movimentará na direção contrária ao campo elétrico.

# O que perguntam por aí?

## Questão Mackenzie-SP

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:

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

Resposta: Item C

## Comentário da resposta:

Antes do contato, pela Lei de Coulomb, o módulo da força eletrostática é dado por:

$$F_1 = k \frac{Q \times 5Q}{d^2} = 5k \frac{Q^2}{d^2}$$

Depois do contato, a carga líquida, que é de  $4Q$ , distribui-se igualmente entre as duas esferas que estão agora separadas pelo dobro da distância e portanto:

$$F_2 = k \frac{2Q \times 2Q}{4d^2} = k \frac{Q^2}{d^2}$$

e assim, a razão  $F_1/F_2 = 5$ .

### Questão VUNESP-SP

Uma partícula de massa  $m$  e carga  $q$  é liberada, a partir do repouso, num campo elétrico uniforme de intensidade  $E$ . Supondo que a partícula esteja sujeita exclusivamente à ação do campo elétrico, a velocidade que atingirá  $t$  segundos depois de ter sido liberada será dada por:

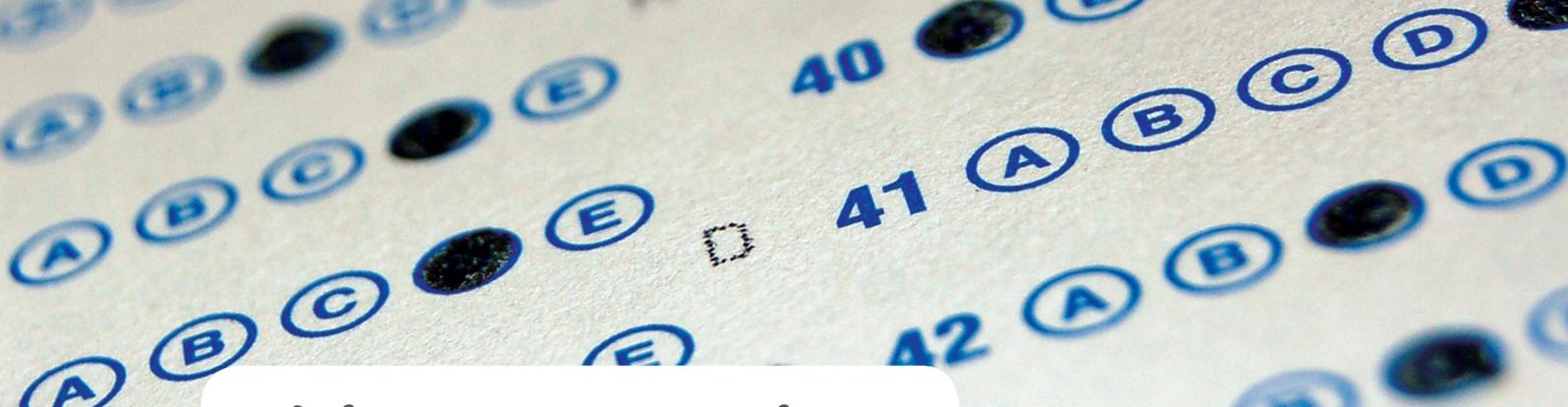
- a.  $qEt/m$
- b.  $mt/qE$
- c.  $qmt/E$
- d.  $Et/qm$
- e.  $t/qmE$

Resposta: Item A

### Comentário da resposta:

A força que age na partícula no momento que ela é liberada é  $F = qE$  (pela definição de campo elétrico). Por outro lado, a segunda Lei de Newton diz que  $F=ma$ . Igualando as duas expressões, obtemos que:  $a = qE/m$ . Assim, como a partícula saiu do repouso, a velocidade num tempo  $t$  dada por  $v = at = qEt/m$ .





# Atividade extra

## Exercício 1 – Adaptado de UFES

Num dia bastante seco, uma jovem de cabelos longos, percebe que depois de penteá-los o pente utilizado atrai pedaços de papel.

Isto ocorre por que

- a. o pente se eletrizou por atrito.
- b. o pente é um bom condutor elétrico.
- c. o papel é um bom condutor elétrico.
- d. os pedaços de papel estavam eletrizados.

## Exercício 2 – Adaptado de UFGO - 1986

Um corpo possui carga elétrica de  $1,6 \times 10^{-6}$  C. A carga elétrica fundamental é  $1,6 \times 10^{-19}$  C.

No corpo há uma falta de

- a.  $10^{13}$  elétrons.
- b.  $10^{18}$  prótons.
- c.  $10^{19}$  elétrons.
- d.  $10^{19}$  prótons.

### **Exercício 3 – Adaptado de UNIFESP - 2006**

Duas partículas de cargas elétricas  $q_1 = 4,0 \times 10^{-16} \text{ C}$  e  $q_2 = 6,0 \times 10^{-16} \text{ C}$  estão separadas no vácuo por uma distância de  $3,0 \times 10^{-9} \text{ m}$ .

Sendo  $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ , qual a intensidade da força de interação, em newtons, entre elas?

# Gabarito

## Exercício 1 - Adaptado de UFES

- A**   **B**   **C**   **D**

## Exercício 2 - Adaptado de UFGO - 1986

- A**   **B**   **C**   **D**

## Exercício 3 - Adaptado de UNIFESP - 2006

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

$$F = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-16} \cdot 6 \cdot 10^{-16}}{(3 \cdot 10^{-9})^2}$$

$$F = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

