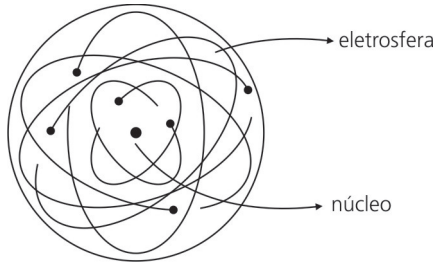


Carga e Matéria / Lei de Coulomb

Carga elétrica

A partir do início deste século, várias experiências nos possibilitaram conhecer melhor a estrutura atômica da matéria. A representação clássica de um átomo, de acordo com o modelo de Rutherford-Bohr, é apresentada abaixo:



➤ Modelo atômico clássico.

Neste modelo, os **elétrons** orbitam em torno do **núcleo**, numa região denominada **eletrosfera**.

Os elétrons foram descobertos em 1897 por J. J. Thomson. Mais tarde foram descobertas as duas principais partículas existentes no **núcleo**: os **prótons**, correspondentes a um núcleo de hidrogênio e os **nêutrons**, cuja existência ficou comprovada com as experiências de J. Chadwick, em 1932.

Conhecendo a estrutura atômica, podemos definir a carga elétrica pelas propriedades destas partículas. A carga elétrica pode ser conceituada como a propriedade de prótons e elétrons de interagirem eletricamente. Os nêutrons são desprovidos desta propriedade e portanto não têm carga elétrica. De acordo com a convenção anteriormente estabelecida por B. Franklin, os elétrons têm carga negativa e os prótons têm carga positiva.

Unidades de carga elétrica

No sistema MKS (SI) a unidade de carga é o Coulomb C, correspondente à carga elétrica que atravessa, em um segundo, a seção transversal de um condutor percorrido por uma corrente contínua de um ampère.

Esta quantidade de carga é bastante grande, sendo mais utilizados os submúltiplos do Coulomb.

SUBMÚLTIPLO	SÍMBOLO	VALOR
miliCoulomb	mC	10^{-3}C
microCoulomb	μC	10^{-6}C
nanoCoulomb	nC	10^{-9}C
picoCoulomb	pC	10^{-12}C

➤ Submúltiplos do Coulomb.

Quantização da carga elétrica

Todas as medidas experimentais têm mostrado que as cargas elétricas dos prótons e elétrons são iguais em valor absoluto.

$$|q_p| = |q_e| = 1,602 \times 10^{-19}\text{C} = 4,80 \times 10^{-10}\text{ sC}$$

Este valor de carga, denominada carga elementar, é uma constante universal, e simbolizado por:

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

A conclusão que podemos tirar, já que a matéria é formada por partículas elementares, é que a **carga é quantizada**, e que a carga elétrica de todo corpo ou sistema pode ser escrita como:

$$Q = ne \quad \text{onde} \quad \begin{cases} Q = \text{carga elétrica do corpo} \\ n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \text{ (número inteiro)} \\ e = \text{carga elementar} \end{cases}$$

Como **cada elétron** contribui com **-e** para a carga total do corpo ou sistema e cada **próton** contribui com **+e** para a carga total, podemos concluir que a expressão acima pode ser reescrita como:

$$Q = (n_p - n_e)e \quad \text{onde} \quad \begin{cases} n_p = \text{número de prótons} \\ n_e = \text{número de elétrons} \end{cases}$$

Decorre, portanto, que, se o número de prótons do corpo for maior que o número de elétrons, $Q > 0$ e o corpo está carregado (ou eletrizado) **positivamente**; se o número de prótons $Q < 0$ e o corpo está carregado (ou eletrizado) **negativamente** e se os números de prótons e elétrons forem iguais, $Q = 0$, o corpo é dito **eletricamente neutro**.

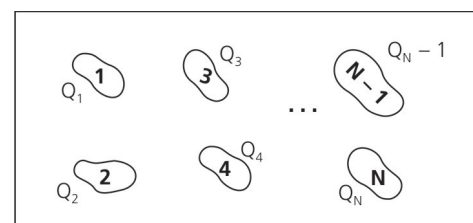
Observação:

A priori, um corpo eletricamente neutro poderia ficar eletrizado ganhando ou perdendo prótons ou elétrons. O que acontece, porém, é que os prótons são partículas bem mais pesadas (sua massa é cerca de 1836 vezes maior que a dos elétrons) e que estão fortemente ligadas ao núcleo, através de forças muito intensas e de curto alcance que ocorrem entre próton e próton, próton e nêutron, ou nêutron e nêutron.

Conservação da carga

A carga elétrica é uma grandeza conservada do Universo ou em qualquer sistema eletricamente isolado, ou seja, que não troca carga elétrica com sua vizinhança. Isto significa que a soma das cargas de um sistema isolado não se altera.

Tomemos, por exemplo, o sistema abaixo, constituído de **N** corpos.

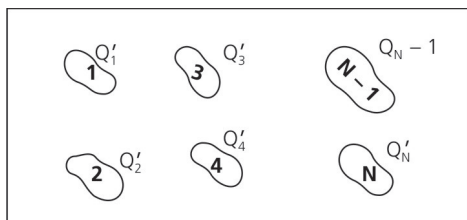


A carga total do sistema é dada por:

$$Q = \sum_{i=1}^N Q_i$$

Onde **Q_i** é a carga do i-ésimo corpo.

Se por alguma razão os corpos interagem entre si, trocando cargas elétricas, o sistema adquire uma configuração diferente da inicial.



O princípio de conservação da carga prevê que a soma das cargas na configuração final, desde que o sistema **isolado**, é igual à inicial.

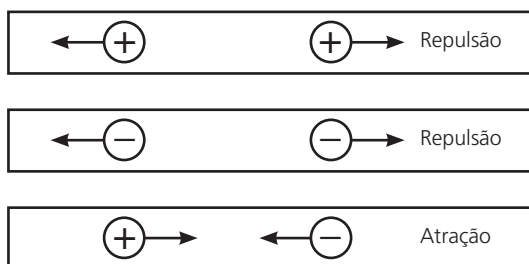
$$\sum_{i=1}^N Q'_i = \sum_{i=1}^N Q_i = Q$$

onde Q'_i é a carga final do i -ésimo corpo.

Princípio de atração e repulsão

A interação entre cargas elétricas em repouso se dá na forma de forças atrativas ou repulsivas. O princípio de atração e repulsão reza que partículas carregadas com cargas de sinais iguais se repelem, enquanto que as carregadas com cargas de sinais opostos se atraem.

Ou esquematicamente:



As características destas forças serão estudadas em detalhes na seção referente à Lei de Coulomb.

Condutores e isolantes elétricos

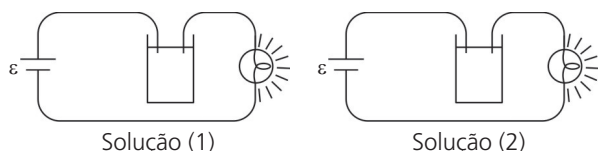
Condutores

São meios em que as cargas elétricas se deslocam com facilidade, permitindo facilmente a passagem de corrente elétrica. Isto se deve à presença de **portadores de carga** com liberdade de movimento. Dentre vários exemplos, destacamos os metais, a grafite, os gases ionizados, as soluções iônicas eletrolíticas (como as soluções aquosas de ácidos, bases e sais), o plasma, o corpo humano e a Terra.

Nos gases ionizados e nas soluções eletrolíticas os portadores de carga são íons, e a eficiência na condução de corrente elétrica depende do número de portadores. Tomemos os dois exemplos abaixo.

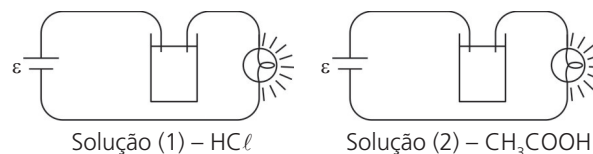
Exemplo 1:

Sejam duas soluções de NaCl em água destilada, sendo que a solução (1) tem concentração mais baixa que a solução (2). A montagem abaixo permite mostrar que a condução é mais eficiente na solução (2).

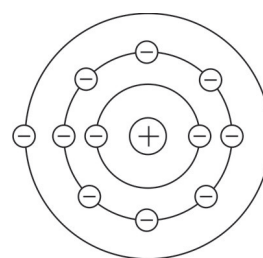


Exemplo 2:

Sejam duas soluções igualmente concentradas, uma de HCl (ácido clorídrico) e outra de CH_3COOH (ácido acético) em água destilada. O primeiro é um ácido forte com alto grau de ionização, enquanto o segundo é um ácido fraco, que produz poucos íons. Como no exemplo anterior:

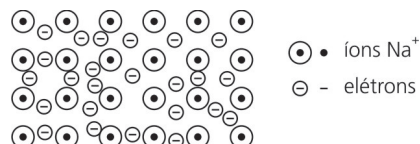


Nos metais, verifica-se que são as cargas negativas que se movem. Isto pode ser verificado a partir da configuração eletrônica destes elementos. Quase todos eles têm um ou dois elétrons na última camada que são ligados fracamente ao átomo. Considere, por exemplo o átomo de sódio:



➤ Esquema de um átomo de sódio: dois elétrons na camada **K**, 8 elétrons na camada **L** e apenas um elétron na camada **M**.

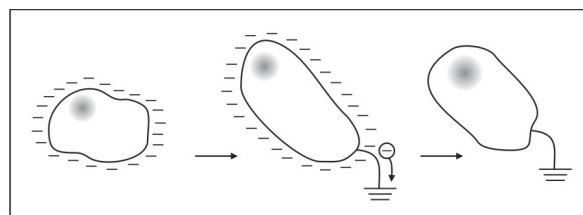
Quando vários átomos de sódio se unem para formar um cristal, os elétrons da última camada se desligam dos seus átomos de origem e ficam **livres** para percorrerem toda a extensão do metal. Abaixo, mostramos o esquema de um cristal de sódio.



➤ Esquema de um cristal de sódio, com íons de Na^+ envolvidos por uma "nuvem" de elétrons livres.

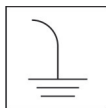
Observação:

A Terra é um condutor especial, que devido às suas dimensões tende a descarregar todos os corpos condutores que a ela forem ligados.

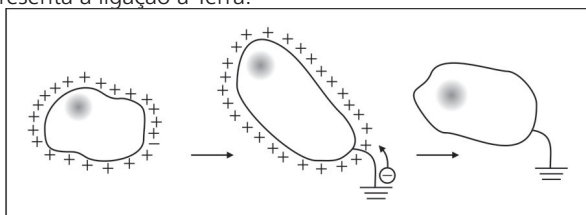


➤ Se um condutor eletrizado negativamente é ligado à Terra, os seus elétrons excedentes escoam para a Terra, descarregando-o.

O símbolo



representa a ligação à Terra.



- Se um condutor eletrizado positivamente é ligado à Terra, elétrons livres escoam da Terra, descarregando-o.

Isolantes ou dielétricos

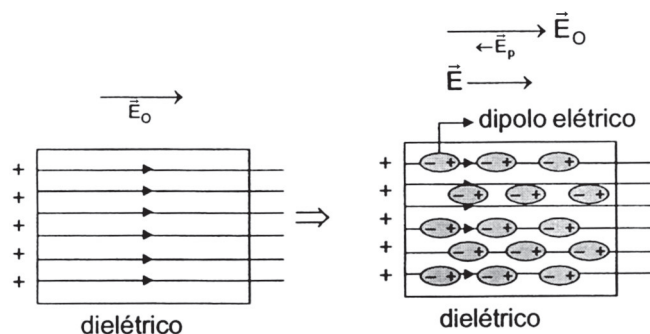
São meios em que, em condições usuais, não há passagem de corrente elétrica. Evidentemente, isto se deve à ausência de liberdade de movimento dos portadores de carga. São exemplos de isolantes o vidro, a ebonite, os plásticos usuais, a água destilada, os óleos minerais.

Do ponto de vista de sua estrutura eletrônica, os sólidos dielétricos possuem uma rede cristalina na qual há elétrons livres.

Apenas em condições especiais, sujeitos à ação de intensos campos elétricos, por exemplo, um dielétrico pode conduzir corrente elétrica.

Observação:

Os dielétricos, quando sujeitos à ação de campos elétricos sofrem o fenômeno de **polarização**: dipolos elétricos são induzidos ou dipolos já existentes se alinham de acordo com o campo elétrico. O efeito final é que o campo é reduzido pelo efeito de polarização. A figura a seguir representa a situação inicial, no momento em que se instala o campo elétrico \vec{E}_0 e a condição final de equilíbrio.



$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_p \rightarrow |\vec{E}| = |\vec{E}_0| - |\vec{E}_p|$$

\vec{E}_0 = campo elétrico inicial

\vec{E} = campo elétrico final

\vec{E}_p = campo elétrico devido à polarização de cargas no dielétrico.

Semicondutores

São materiais cuja estrutura eletrônica é bastante similar a dos dielétricos, mas que possuem uma capacidade bem maior do que estes de conduzir corrente elétrica. Isto, evidentemente, só se dá, graças à existência de portadores de cargas livres.

Estes portadores podem ser de dois tipos:

- Elétrons livres: neste caso, o semicondutor é dito de tipo **n** (de negativo).
- “Buracos”: um buraco é uma ausência de elétrons, que pode “passar” por um semicondutor. Neste caso, ele é dito de tipo-**p** (de positivo).

São exemplos de semicondutores o silício, o germânio, o arsenieto de gálio (GaAs), etc.

Observação:

O número de portadores (elétrons livres ou buracos) num semicondutor é sempre muito menor do que em um condutor.

Hoje, o uso dos materiais semicondutores é muito vasto, nos ramos de eletrônica, microeletrônica, computação etc. Diodos, retificadores, transistores microchips são apenas alguns dos dispositivos em que encontramos semicondutores.

Supercondutores

Alguns materiais, principalmente a baixas temperaturas, tornam-se supercondutores: conduzem corrente elétrica sem oferecerem nenhuma resistência.

Os primeiros materiais supercondutores foram metais: o Mercúrio, abaixo de 4,2k, o Chumbo, abaixo de 7,2k, o Estanho, abaixo de 3,7k etc.

Dentre os muitos materiais que apresentam propriedades supercondutoras, os técnicos têm-se concentrado na produção de certas ligas e cerâmicas mais altas permitindo o seu resfriamento a custos menos elevados. Outro problema que tem surgido é a instabilidade desses materiais, mas ao que tudo indica, devemos apostar no êxito destas pesquisas, que podem vir a revolucionar os equipamentos de condução, os meios de transporte etc.

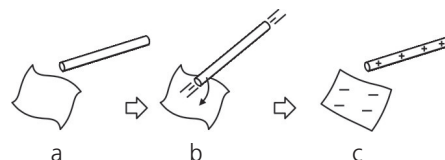
Processos de eletrização

Denomina-se **eletrização** o processo através do qual um corpo, inicialmente neutro (descarregado) torna-se eletrizado (carregado), ganhando ou perdendo elétrons.

Eletrização por atrito

Foi o primeiro processo de eletrização conhecido, e se baseia no fato de que ao atritarmos corpos de materiais diferentes eles podem trocar elétrons entre si. Pela Lei de Conservação da Carga, os valores das cargas elétricas adquiridas pelos dois corpos são iguais em módulo e opostos em sinal.

Exemplo: se atritarmos um pedaço de seda com um bastão de vidro, a seda adquire carga negativa, e o vidro, carga positiva.



- Um bastão de vidro e um pedaço de seda, inicialmente neutros (a) são atritados, havendo passagem de elétrons do vidro para a seda (b), que ficam, ao final do processo, com cargas positiva e negativa, respectivamente (c).

Experiências sucessivas envolvendo diferentes materiais possibilitaram a criação de uma relação ordenada de materiais, denominada **série triboelétrica**. Um material da série, atritado com outro que o segue, fica eletrizado positivamente, e atritado com outro que o precede fica eletrizado negativamente.

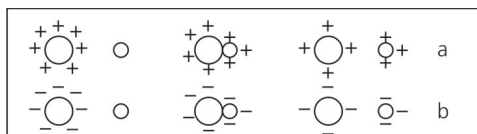
SÉRIE TRIBOELÉTRICA	
Pele de coelho	
Vidro polido	
Mica	
Marfim	
Lã	
Pele de gato	
Penas	
Seda	
Algodão	
Âmbar	
Ebonite	
Celuloide	

➤ Série triboelétrica.

Eletrização por contato

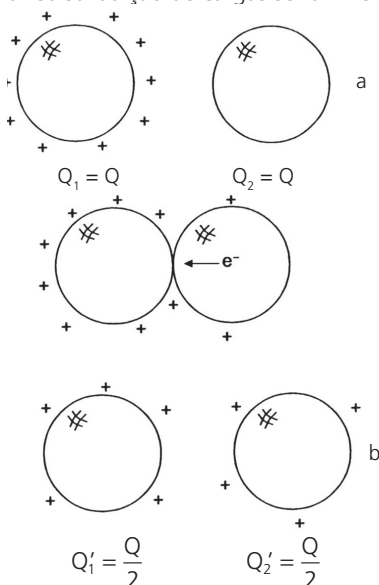
É o processo que ocorre quando um corpo neutro é colocado em contato com um corpo eletrizado, havendo uma redistribuição de carga elétrica entre eles. Se um ou ambos os corpos são isolantes, a troca de cargas se dá apenas em uma pequena região em torno do contato. Se ambos os corpos forem condutores, a troca de cargas afeta a totalidade dos mesmos. Observe que as cargas finais dos corpos é a mesma do corpo carregado inicialmente.

Exemplos:



➤ Eletrização por contato, entre dois condutores sendo um inicialmente carregado com carga positiva **a** e negativa **b**.

No caso de dois condutores há uma série de fatores que influenciam na distribuição final de cargas, como as dimensões e os formatos dos condutores, os “efeitos das pontas” etc. Algumas destas influências serão estudadas ao definirmos o Potencial Elétrico. No caso bastante particular de condutores esféricos idênticos, a redistribuição de cargas se faz meio a meio.

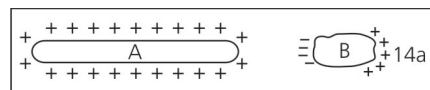


➤ Eletrização por contato de duas esferas condutoras idênticas. Inicialmente uma está carregada e a outra está neutra (**a**). Após o contato (**b**) a carga se distribui pela metade entre as duas esferas (**c**).

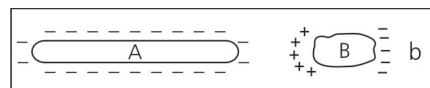
Eletrização por indução

Ao aproximar-se um corpo eletrizado de um condutor inicialmente neutro, sem que haja contato, há uma migração de elétrons livres, separando as cargas e criando duas regiões com sinais opostos no condutor.

Exemplos:



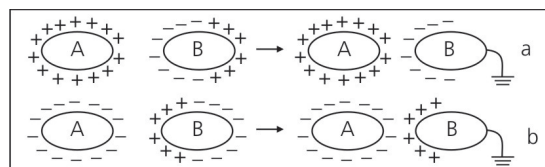
Aproximando-se um corpo positivo de um condutor neutro, provoca-se uma separação de cargas no condutor.



➤ Indução Eletrostática num condutor devido à aproximação de um corpo carregado positivamente (**a**) e negativamente (**b**).

Aproximando-se um corpo negativo de um condutor neutro, provoca-se uma separação de cargas no condutor.

Em ambos os casos, ao ligarmos o corpo **B** à Terra, por qualquer ponto, esta neutraliza em **B** as cargas com mesmo sinal de **A**, conforme a figura abaixo.



➤ Ao ligarmos o corpo neutro à Terra, as cargas de mesmo sinal que o corpo eletrizado se neutralizam.

Nesta etapa do processo, se afastássemos o corpo eletrizado **A**, a Terra descarregaria o corpo **B**. Portanto, para mantermos o corpo **B** carregado é preciso desfazer a ligação com a Terra e só então afastar o corpo **A**. Ao final do processo, o corpo **B** fica carregado com carga oposta à do corpo **A**.

Lei de Coulomb

Experiências de alta precisão mostram que a forma eletrostática entre duas cargas é proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. As primeiras experiências que evidenciaram essa relação foram realizadas por H. Cavendish, entre 1771 e 1773, mas somente em 1785, Charles Augustin de **Coulomb** enunciou a lei que leva o seu nome, após realizar a clássica experiência com a balança de torção. Trata-se, portanto de uma lei **empírica**, que não admite demonstração. Um possível enunciado para esta lei segue abaixo:

“A força de Interação entre duas cargas elétricas pontuais em repouso é diretamente proporcional ao produto entre elas e inversamente proporcional ao quadrado da distância, atua ao longo da linha reta que as une e é repulsiva, se as cargas forem de mesmo sinal e atrativa, se forem de sinais contrários.

Uma carga pontual é uma distribuição de cargas que se dá numa região de dimensões desprezíveis no problema.

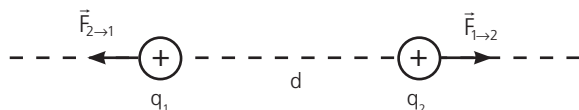
Uma forma de representar o enunciado acima numa expressão única é:

$$|\vec{F}_{2 \rightarrow 1}| = |\vec{F}_{1 \rightarrow 2}| = K \frac{q_1 q_2}{d^2} \vec{e}_{1 \rightarrow 2}$$

onde $\vec{F}_{1 \rightarrow 2}$ é a força que a carga 1 exerce sobre a carga 2 e $\vec{F}_{2 \rightarrow 1}$ é a força que a carga 2 exerce sobre a carga 1, q_1 e q_2 são os valores das cargas.

d é a distância entre elas.

k é uma constante de proporcionalidade.



➤ Representação esquemática das forças entre duas cargas pontuais.

A constante de proporcionalidade (constante eletrostática) depende do meio em que se encontram as cargas. No vácuo, esta constante é dada por:

$$k_0 = 9,0 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 \quad \text{no SI}$$

A constante eletrostática está relacionada de forma simples com outra grandeza física, a **permissividade elétrica absoluta** ou simplesmente **permissividade elétrica** do meio em questão.

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

Para o vácuo, a permissividade elétrica é:

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ C}^2 \quad \text{no SI}$$

Os outros meios são caracterizados por uma grandeza adimensional, denominada permissividade relativa ou constante dielétrica, definida como:

$$K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

A seguir, apresentamos alguns valores para a constante dielétrica:

MEIO	CONSTANTE DIELÉTRICA
Vácuo	1,00000
Ar	1,00054
Água	78
Papel	3,5
Mica	5,4
Âmbar	2,7
Porcelana	6,0
Vidro Pirex	4,5
Polietileno	2,3
Teflon	2,1
Cera	7,8
Querosene	2,0
Parafina	2,0
Álcool	26
Ebonite	2,7

➤ Constante dielétrica de alguns meios dielétricos.

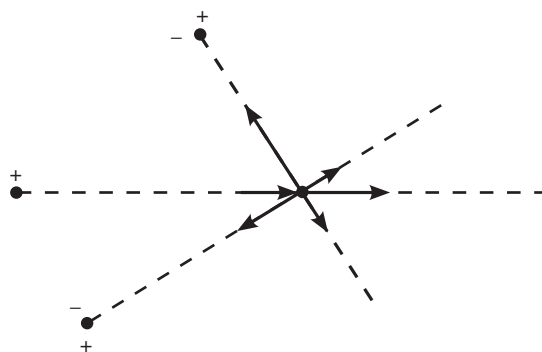
Observações:

- A constante dielétrica do ar é praticamente igual à do vácuo, o que nos permite resolver problemas no ar, usando as constantes do vácuo, com erros inferiores a 0,1%.
- Perceba que, em qualquer meio dielétrico, a força eletrostática entre duas cargas pontuais diminui. Este efeito deve-se precisamente ao fenômeno de **polarização** que se opõe ao campo elétrico, reduzindo a intensidade das interações eletrostáticas.
- As constantes dielétricas de compostos **polares** como a água e o álcool são visivelmente maiores do que as de materiais apolares como o querosene e a parafina. Como você explicaria este fato?

Princípio da superposição – distribuições de carga

Sendo a força uma grandeza vetorial, devemos levar em conta este fato na expressão da força entre várias cargas elétricas. Sejam N cargas pontuais q_1, q_2, \dots, q_N , que exercem forças \vec{F}_i ($i = 1, 2, \dots, N$) sobre uma das forças \vec{F}_1 :

O princípio da superposição estabelece que a força resultante sobre a carga q é a soma (vetorial, claro) das forças \vec{F}_i .



➤ Representação do Princípio de Superposição.

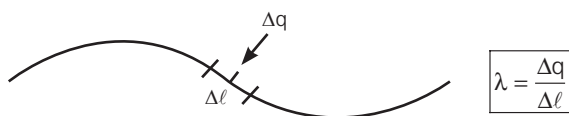
Analisando a força resultante em q , vemos que $\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 \rightarrow \vec{F}_R = \sum_i \vec{F}_i \rightarrow$ onde $i = 1, \dots, N$.

No entanto, nem sempre é possível termos uma distribuição de cargas pontuais discretas.

Vários problemas são resolvidos considerados distribuições contínuas de cargas. Assim, se o corpo tiver a forma de um arame ou fio ou de uma haste muito fina, temos, praticamente, uma **distribuição linear** de carga. Se o corpo tiver o formato de uma chapa, de uma placa como as de um capacitor ou de uma superfície de espessura desprezível, trata-se de uma distribuição superficial. Finalmente, os corpos nos quais não há nenhuma dimensão que possa ser desprezada diante das demais, são considerados **distribuições volumétricas** de carga.

Distribuições lineares – densidade linear de carga

Para distribuições lineares como o fio abaixo, definimos a **densidade linear de carga** (λ) como a carga por unidade de comprimento. Seleccionando um elemento de comprimento ($\Delta\ell$), contendo uma carga Δq , temos:



Se a densidade linear for uma constante (distribuição uniforme) podemos calculá-la como: $\lambda = \frac{q}{\ell} \rightarrow q = \lambda \ell$ onde ℓ é o comprimento total do fio e q é a carga total contida sobre ela.

Distribuição superficial – densidade superficial de carga

Para distribuições de carga como a da superfície abaixo, definimos a **densidade superficial de carga** (σ) com a carga por unidade de área. Para um elemento de superfície ΔA contendo um elemento de carga Δq , podemos escrever:

$$\sigma = \frac{\Delta q}{\Delta A}$$

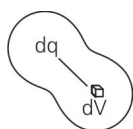
➤ Distribuição superficial de carga.

Para distribuições uniformes, temos:

$\sigma = \text{constante} \rightarrow q = \sigma A$ onde A é a área total da superfície e q é a carga total sobre ela.

Distribuição volumétrica – densidade volumétrica de carga

Repetindo os passos análogos dos casos anteriores, definimos a **densidade volumétrica de carga** ou, simplesmente, **densidade de carga** (ρ) como a carga por unidade de volume. Para um elemento de volume ΔV contendo uma carga elementar Δq temos:



➤ Distribuição volumétrica de Carga.

Analogamente, em distribuições uniformes, temos:

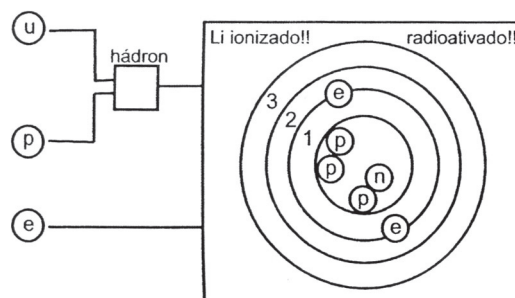
$\rho = \text{constante} \rightarrow q = \rho V$ onde V é o volume total do corpo e q é a carga total nele contida.



Exercícios de Fixação

01. Um condutor isolado perde elétrons. Podemos afirmar:
- O condutor fica carregado positivamente.
 - O condutor fica carregado negativamente.
 - O condutor fica neutro.
 - O condutor fica neutro ou carregado positivamente.
 - Nada se pode afirmar.

02. Num interessante *site* da Internet (www.pbs.org), há um programa de demonstração que permite construir um átomo utilizando as partículas elementares do modelo padrão: *quark up* (carga $+\frac{2}{3}$) u , *quark down* (carga $-\frac{1}{3}$) d , e elétron (*spin* $-\frac{1}{2}$). O esquema de construção é indicado na figura abaixo.



Para adicionar um núcleo, o usuário tem que primeiro trazer os números corretos *quarks* **u** e **d** para a caixa denominada **hádron**. Uma vez construído o núcleo, é só arrastá-lo para dentro do núcleo.

Para adicionar um elétron basta arrastá-lo para órbita correta. Numa dada etapa de construção, um estudante obtém um átomo de lítio (indicado na figura). No entanto, o programa o alerta com mensagens que ficam piscando as palavras **ionizado!!** e **Radioativo!!**. Para eliminar essas mensagens, ou seja, obter um átomo neutro não radioativo, o mínimo número de *quarks* **u** e **d** e de elétrons que o estudante tem que utilizar são, respectivamente:

Dado: O Lítio tem número atômico 3.

- quatro **u**, dois **d** e um elétron na órbita 2.
 - quatro **u**, dois **d** e um elétron na órbita 1.
 - dois **u**, quatro **d** e um elétron na órbita 2.
 - dois **u**, dois **d** e um elétron na órbita 1.
 - dois **u**, dois **d** e um elétron na órbita 2.
03. Após atritarmos um bastão de ebonite com um pedaço de lã, medimos o valor da carga adquirida por aquele. Um possível valor para esta medida é:
- $+8,0 \times 10^{-19}\text{C}$
 - $-7,2 \times 10^{-19}\text{C}$
 - $+5,4 \times 10^{-19}\text{C}$
 - $-4,8 \times 10^{-19}\text{C}$
 - Os valores dos itens **b** e **d** são possíveis.
04. Uma carga positiva é levada a um ponto muito próximo de um condutor isolado, não carregado. O condutor é ligado ao solo enquanto a carga se mantém próxima ao mesmo. O condutor ficará carregado positivamente, ou negativamente, ou ficará sem carga se:
- a carga for afastada e, então, desfizemos a ligação com o solo.
 - desfizemos essa ligação com o solo e depois afastarmos a carga.

05. Se você atritar sobre seu suéter uma bola de aniversário cheia de ar e a seguir pressioná-la sobre a parede, geralmente ela pode ficar grudada na parede. Como você explica este fenômeno?

- A) Geralmente as paredes possuem cargas elétricas distribuídas em repouso, e o atrito faz remover cargas da superfície da bola que fica carregada eletrostaticamente. Quando a carga da parede tiver sinal contrário à carga da bola, a força de atração entre a carga da superfície da bola e a carga induzida mantém a bola grudada na parede.
- B) O atrito faz remover uma pequena camada de gordura da superfície da bola, fazendo com que a borracha fique mais próxima da parede e a pressão do ar mantém ela grudada na parede.
- C) O atrito faz remover cargas da superfície da bola que fica carregada eletrostaticamente e a carga da superfície da bola induz uma carga oposta sobre a parede. A força de atração entre a carga da superfície da bola e a carga induzida mantém a bola grudada na parede.
- D) O atrito faz a umidade se condensar sobre a superfície da bola e a tensão superficial mantém a bola grudada na parede.
- E) Nenhuma resposta anterior explica este fenômeno.

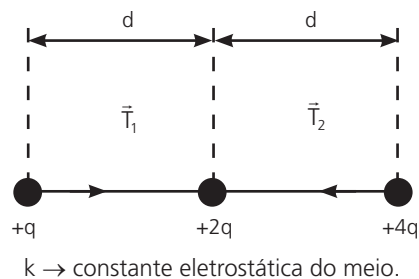
06. Sobre os conceitos básicos da eletrostática, considere as afirmativas abaixo.

- I. Em alguns pedágios rodoviários existe um fino arame metálico fixado verticalmente no piso da rodovia, que entra em contato com os carros antes que eles alcancem a guarita do funcionário do pedágio, cuja finalidade é neutralizar a parte metálica do carro;
- II. Os pneus dos caminhões que transportam gasolina e outros fluídos inflamáveis são fabricados de modo que sejam bons condutores elétricos;
- III. Um eletroscópio carregado tem suas folhas metálicas carregadas, que acabam se fechando com o decorrer do tempo. Em grandes altitudes, elas se fecham mais rápido, em função da presença dos raios cósmicos;
- IV. Se os elétrons fossem positivos e os prótons negativos, a lei de Coulomb seria escrita da mesma maneira;
- V. Não é uma boa ideia usar chuteiras dotadas de cravos de metal no solado, em um dia tempestuoso;
- VI. Um bom condutor de eletricidade é também um bom condutor de calor.
- VII. Enquanto um chassi de carro é conduzido através de uma câmara de pintura, uma névoa de tinta é borrifada ao redor do mesmo. Para o carro ficar pintado uniformemente, uma rápida descarga elétrica é dada no chassi, e como consequência, a névoa é atraída para ele e pronto, o carro fica rapidamente pintado de maneira uniforme.

Pode-se afirmar que:

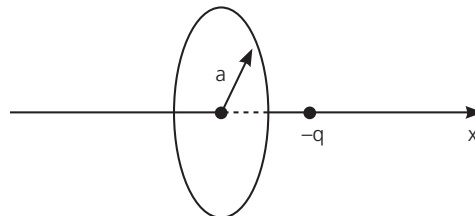
- A) apenas duas delas estão corretas.
- B) apenas três delas estão corretas.
- C) apenas quatro delas estão corretas.
- D) apenas cinco delas estão corretas.
- E) todas estão corretas.

07. Três cargas $+q$, $+2q$ e $+4q$ estão presas por fios, conforme o esquema abaixo. As trações T_1 e T_2 valem respectivamente:



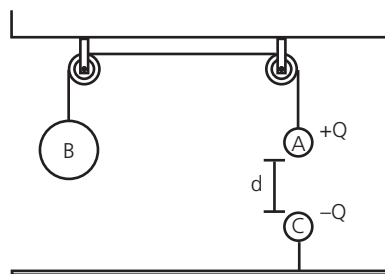
- A) $\frac{3kq^2}{d^2}; \frac{9kq^2}{d^2}$
- B) $\frac{4kq^2}{d^2}; \frac{9kq^2}{d^2}$
- C) $\frac{3kq^2}{d^2}; \frac{8kq^2}{d^2}$
- D) $\frac{kq^2}{d^2}; \frac{4kq^2}{d^2}$
- E) $\frac{2kq^2}{d^2}; \frac{8kq^2}{d^2}$

08. Considere um anel carregado positivamente de forma homogênea. Uma carga negativa ($-q$, m) está restrita a se mover somente ao longo do eixo que passa pelo centro do anel de carga Q e raio a . Sabendo-se que se a carga $-q$ é liberada em uma posição $x \ll a$, ela descreverá um M.H.S., cujo período é:



- A) $T = 2\pi \sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0 m a^2}{q Q}}$
- B) $T = \sqrt{\frac{\pi\epsilon_0 m a^3}{q Q}}$
- C) $T = 2\pi \sqrt{\frac{4\pi\epsilon_0 m a^3}{q Q}}$
- D) $T = 4\pi \sqrt{\frac{\pi\epsilon_0 m a^3}{q Q}}$
- E) n.r.a.

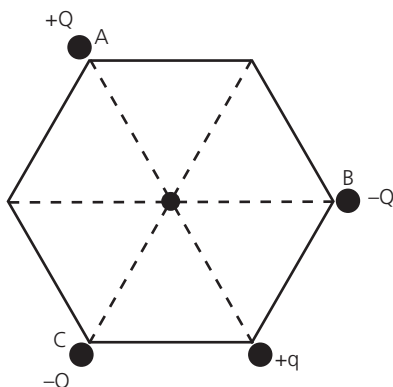
09. (OBF/2005) Os corpos A e B, de massas m e M respectivamente, estão atados por uma corda que passa por duas roldanas. O corpo A está carregado com carga $+Q$ e sofre a ação de uma outra carga $-Q$, que se encontra a uma distância d (figura a seguir). Nessa situação todo o sistema encontra-se em equilíbrio.



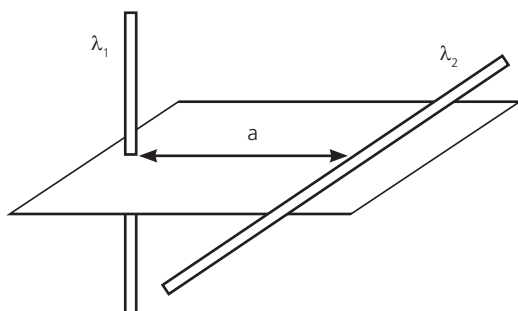
Se as massas de A e B quadruplicarem, qual deve ser a nova distância entre as cargas para que o sistema fique em equilíbrio? Considere desprezíveis a massa da corda e o atrito nas roldanas.

- A) d
- B) $\frac{d}{2}$
- C) $\frac{d}{4}$
- D) $2d$
- E) $4d$

10. A figura mostra três cargas, **A**, **B** e **C** de mesma intensidade **Q** posicionadas ao longo de um hexágono regular, interagindo eletricamente com uma carga de prova positiva **+q**. A intensidade da força elétrica resultante sobre esta última, sabendo que ela é repelida pela carga **A** com uma força elétrica de intensidade **F** vale:



- A) **F**
 C) **3F**
 E) **5F**
 B) **2F**
 D) **4F**
11. Dois fios infinitos e perpendiculares com densidades lineares de carga λ_1 e λ_2 estão posicionados a uma distância **a**, conforme a figura abaixo.

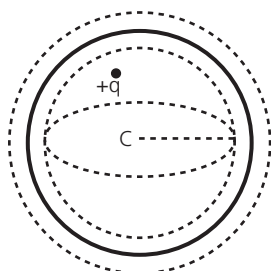


Considerando que a força entre os fios pode depender das densidades lineares de cargas, da distância entre eles e da permissividade do meio, mostre que a força não depende da distância **a** entre os fios.

12. Suponha que a forma válida da Lei de Coulomb é a seguinte:

$$F = \frac{Kq q'}{r^a} \quad (0 < a < 2)$$

Considere uma carga positiva no interior de uma esfera oca de vidro carregada uniformemente com carga negativa, conforme figura abaixo. Podemos afirmar que:



- A) a carga **+q** continuará na posição de equilíbrio mostrada na figura.
 B) a carga **+q** descreverá um movimento circular uniforme em torno do ponto **C**, cujo raio é igual à distância da carga **+q** ao centro **C** da esfera.
 C) a carga **+q** descreverá um movimento cuja trajetória será uma hélice cilíndrica até atingir a casca esférica.
 D) a carga **+q** será atraída para a casca esférica descrevendo uma trajetória retilínea, de tal forma que a reta descrita será a de menor tamanho possível.
 E) a carga **+q** dirigirá-se para o centro da esfera.

13. O átomo de hidrogênio no modelo de Bohr é constituído de um elétron de carga **e** que se move em órbitas circulares de raio **r**, em torno do próton, sob a influência da força de atração coulombiana. O trabalho efetuado por esta força sobre o elétron ao percorrer a órbita do estado fundamental é:

- A) $\frac{-e^2}{2\epsilon_0 r}$
 B) $\frac{e^2}{2\epsilon_0 r}$
 C) $\frac{-e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$
 D) $\frac{e^2}{r}$

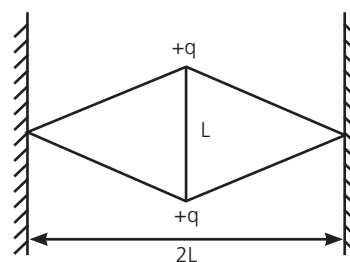
E) n.d.a.

14. Seja **A** uma esfera condutora de carga elétrica **Q**. Tomam-se **N** neutras idênticas a **A** e isoladas umas das outras e realiza-se a seguinte operação: toca-se **A** com a 1ª esfera neutra, depois toca-se **A** com a segunda e assim sucessivamente. Se, ao final da operação, a carga da esfera **A** é $2^{(18-4N)}$ vezes a carga inicial de **A**, quantas esferas foram tocadas por **A**?

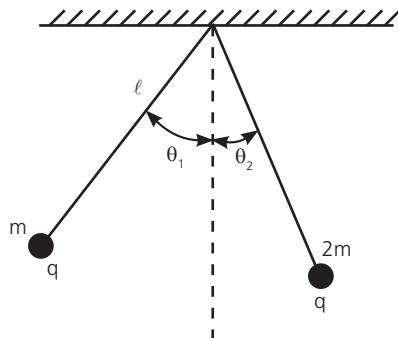
15. Um aluno das turmas especiais realizou a seguinte experiência: (1) Eletrizou uma pequena esfera condutora **A** com uma carga **Q**; (2) Tomou uma esfera neutra idêntica à primeira e provocou um contato entre elas; (3) Tomou duas esferas neutras idênticas a **A** e provocou um contato simultâneo entre elas e a esfera **A**; (4) Tomou três esferas neutras idênticas a **A** e provocou um contato simultâneo entre elas e a esfera **A**; e assim por diante. Sabe-se que o número total de esferas na experiência (inclusive **A**) é 56. Daí, a razão entre a carga contida na esfera **A**, após a experiência, e **Q** é, aproximadamente:

- A) $\frac{1}{9!}$
 B) $\frac{1}{10!}$
 C) $\frac{1}{11!}$
 D) $\frac{1}{12!}$
 E) n.r.a.

16. Duas cargas **+q** estão conectadas às paredes por quatro cordões elásticos idênticos. A distância entre as paredes é **2L** e o comprimento natural de cada cordão é **L**. A distância entre as cargas é **L**. Desprezando a gravidade, determine a constante elástica **k** dos cordões.



17. Duas bolas pequenas, uma com massa m , a outra de massa $2m$, estão suspensas por dois fios de seda de comprimento ℓ , como ilustrado no diagrama. Cada uma delas tem carga q . A separação d de equilíbrio, supondo-se que os ângulo θ_1 e θ_2 sejam pequenos, vale:



- A) $d = \left(\frac{3kq^2\ell}{2mg} \right)^{1/3}$
 B) $d = \left(\frac{3kq^2\ell}{5mg} \right)^{1/5}$
 C) $d = \left(\frac{kq^2\ell}{mg} \right)^{1/3}$
 D) $d = \left(\frac{3kq^2\ell}{5mg} \right)^{1/3}$

E) Impossível calcular, haja vista as massas serem diferentes.

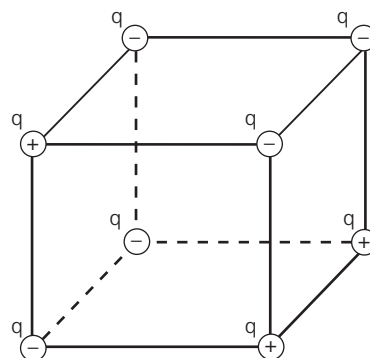
18. Um elétron e um pósitron orbitam em torno do respectivo centro de massa, sob a ação da força atrativa coulombiana entre os dois, formando o conhecido positrônio. Calcular a velocidade de cada partícula em termos de e , da massa m e da separação r . $k \rightarrow$ constante eletrostática.

19. Duas bolas de vidro iguais, com dimensões razoáveis estão carregadas com cargas iguais a $-Q$ e colocadas perto uma da outra, de tal maneira que a distância entre seus centros seja D e que sejam evidenciados fenômenos de influência. Duas bolas de ferro com o mesmo tamanho que as de vidro, mesma carga, são colocadas à mesma distância D , então:

- A) a força de repulsão é maior nas bolas de vidro.
 B) a força de repulsão é menor nas bolas de vidro.
 C) a força nas bolas de vidro tem a mesma intensidade que a força nas bolas de ferro.
 D) nas bolas de vidro não aparece força elétrica devido serem isoladas.
 E) nenhuma das proposições é verdadeira.

20. Duas cargas positivas $+q$ estão distanciadas de $2D$. No ponto médio do segmento que une as cargas fixas $+q$ existe uma carga $-q$. Deslocando-se a carga $-q$ levemente da sua posição de equilíbrio e abandonando-a, esta oscila em torno da posição de equilíbrio mantendo-se sobre a mediatriz do segmento que une as cargas $+q$. Determine o período da oscilação, considerando pequenas amplitudes. As cargas têm massa m .

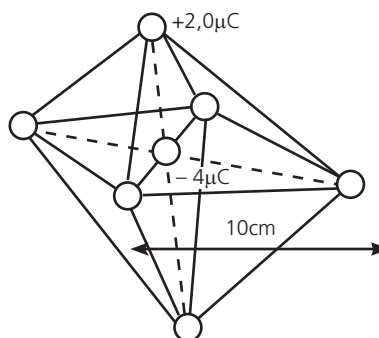
21. (PUC-SP/2006) Em cada um dos vértices de uma caixa cúbica de aresta 1 foram fixadas cargas elétricas de módulo q cujos sinais estão indicados na figura.



Seja k a constante eletrostática do meio, o módulo da força elétrica que atua sobre uma carga, pontual de módulo $2q$, colocada no ponto de encontro das diagonais da caixa cúbica é:

- A) $4kq^2/3\ell^2$
 B) $8kq^2/3\ell^2$
 C) $16kq^2/3\ell^2$
 D) $8kq^2/\ell^2$
 E) $4kq^2/\ell^2$

22. Seis cargas idênticas, de $+2,0\mu\text{C}$ são dispostas nos vértices de um octaedro regular e uma carga de $-4,0\mu\text{C}$ é colocada no seu centro, conforme a figura. Sabendo que a aresta do octaedro mede 10cm , calcule o módulo da força sobre cada uma das cargas positivas, aproximadamente.



Observação:

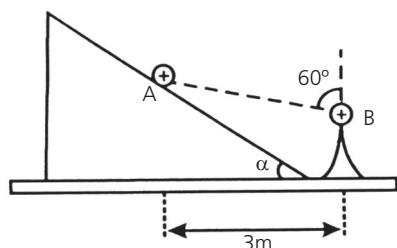
- No octaedro regular, a distância do centro a qualquer um dos vértices é a mesma.

- A) 2,6N
 B) 4,2N
 C) 7,2N
 D) 9,0N
 E) Outro valor.

23. Duas bolas pequenas com cargas iguais e massas m , estão ligadas através de fios isolantes de comprimento ℓ a um mesmo ponto. A distância entre elas é $x \ll \ell$. Encontre a velocidade da fuga das cargas $\left(\frac{dq}{dt} \right)$ de cada uma das bolas, sabendo-se que, em função da fuga, as mesmas se aproximam com uma velocidade que segue a lei $V = \frac{a}{\sqrt{x}}$, onde a é a constante.

Dê sua resposta em função de ϵ_0 , g , m , ℓ , e a .

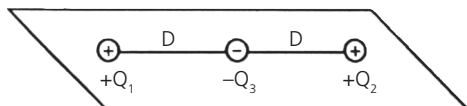
24. Uma pequena esfera A , de carga $+Q$ e massa m , encontra-se em repouso nas proximidades de um plano inclinado, quando dela é aproximada lentamente uma segunda esfera B , de carga $+Q$, fixa sobre um suporte isolante.



Devido à repulsão eletrostática, a esfera A desloca-se ao longo da rampa sem atrito, estacionando na posição ilustrada acima. Determine o ângulo α .

Dados: Constante eletrostática $= 9 \cdot 10^9 (\text{SI})$
 $g = 10 \text{ m/s}^2$ $Q = 2 \mu\text{C}$, $m = 0,3 \text{ g}$

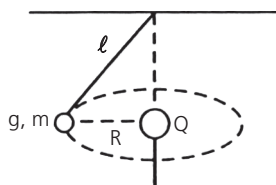
25. Três cargas puntiformes $+Q_1$, $+Q_2$ e $-Q_3$ encontram-se fixas e alinhadas num plano horizontal sem atrito, como no esquema abaixo. Sabe-se que qualquer carga $+q$ permanece em equilíbrio quando abandonada nesse plano horizontal, num certo ponto P , localizado a uma distância D de carga $-Q_3$.



A partir dessas informações, com base na lei de Coulomb, pode-se concluir que:

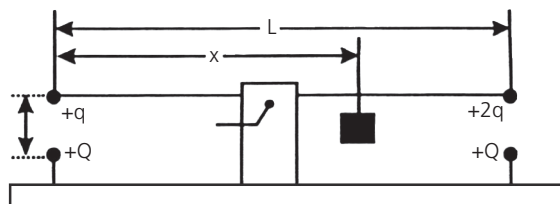
- A) $\left(\frac{Q_1}{4Q_3}\right)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{Q_2}{4Q_3}\right)^{\frac{2}{3}} = 1$
 B) $\left(\frac{Q_1}{2Q_2}\right)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{Q_2}{2Q_3}\right)^{\frac{2}{3}} = 1$
 C) $\left(\frac{Q_1}{5Q_2}\right)^{\frac{1}{3}} + \left(\frac{-Q_2}{5Q_3}\right)^{\frac{2}{3}} = 1$
 D) $\left(\frac{Q_1}{3Q_3}\right)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{Q_2}{3Q_3}\right)^{\frac{2}{3}} = 1$

26. Na montagem abaixo, a partícula P de massa m e carga positiva q , está suspensa por um fio inextensível de comprimento ℓ , de tal modo a descrever um movimento circular de raio constante R . No centro da trajetória circular existe uma carga $+Q$. Determine a velocidade do movimento circular em função de Q , q , m , ℓ , R , da aceleração da gravidade local g e da permissividade elétrica do ar ϵ_0 .



27. Duas pequenas esferas, de mesmo material e mesma massa, estão presas por dois fios de seda ao mesmo ponto de suspensão. Quando se fornecem às esferas cargas elétricas iguais em valor e sinal, os fios formam entre si o ângulo α . Determine a massa específica do material que constitui as esferas, sabendo que o ângulo entre os fios não muda quando as esferas são mergulhadas em querosene, cuja massa específica é $0,8 \text{ g/cm}^3$ e cuja permissividade elétrica é $\epsilon = 2\epsilon_0$.

28. A figura mostra uma longa barra isolante sem massa de comprimento L , presa por um pino no seu centro e equilibrada com peso W a uma distância x de sua extremidade esquerda. Nas extremidades esquerda e direita da barra são colocadas cargas positivas q e $2q$, respectivamente. A uma distância h diretamente abaixo dessas cargas está fixada uma carga positiva $+Q$. **Obs.:** Despreze a interação entre as cargas nos extremos opostos da barra.

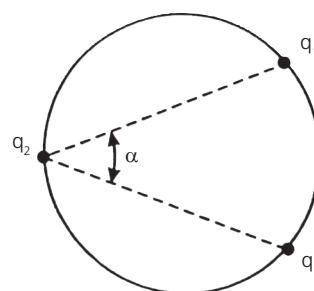


- A) Determine a distância x para a posição do peso, quando uma barra estiver equilibrada.
 B) Qual deverá ser o valor de h para que não exerça nenhuma força vertical sobre o suporte quando em equilíbrio?

Exercícios Propostos

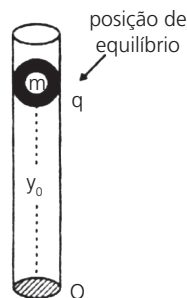
01. Na figura, três cargas puntiformes podem mover-se vinculadas (sem atrito) a um aro circular apoiado num plano horizontal. Duas das cargas têm o mesmo valor q_1 , e a terceira tem valor q_2 . Sabendo-se que, na posição indicada em equilíbrio, a razão $\frac{q_1^2}{q_2^2} = \frac{2(1 - \cos \alpha)^3}{\cos^2 \alpha}$ para que o sistema permaneça em equilíbrio.

Prove a relação acima.



02. Pequena e puntiforme massa m , com carga q , move-se verticalmente no interior de um cilindro sem atrito, conforme a figura. No fundo do cilindro está uma outra massa puntiforme de carga Q com o mesmo sinal que q . A massa m é ligeiramente deslocada da posição de equilíbrio e solta, a qual passa a efetuar um movimento harmônico simples com pulsação igual a:

- A) $\sqrt{\frac{2g}{y_0}}$
 B) $\sqrt{\frac{g}{y_0}}$
 C) $\sqrt{\frac{g}{2y_0}}$
 D) $\sqrt{\frac{3g}{y_0}}$
 E) n.r.a.

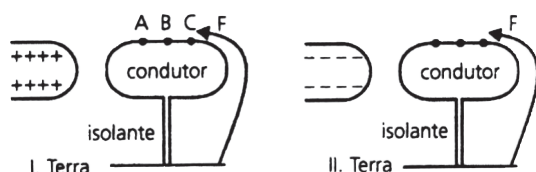


03. Sobre uma placa horizontal de vidro coloca-se um aro circular de material isolante. Em pontos **A** e **B**, diametralmente opostos, fixam-se com cera corpúsculos eletrizados com cargas q_1 e q_2 respectivamente. Em um ponto qualquer do círculo envolvido pelo aro abandona-se uma pequena esfera eletrizada. Sabendo-se que as três cargas mencionadas são homônimas, e que a terceira estaciona-se em um ponto **C** do aro, tal que

$\widehat{CAB} = \theta$, determine a razão $\frac{q_2}{q_1}$.

- A) $\sec^3 \theta$
 B) $\cos^2 \theta$
 C) $\tan^3 \theta$
 D) $\tan^2 \theta$
 E) $\cot^3 \theta$

04. Deseja-se carregar negativamente um condutor metálico pelo processo de indução eletrostática. Nos esquemas **I** e **II**, o condutor foi fixado na haste isolante, **F** é um fio condutor que nos permite fazer o contato com a Terra nos pontos **A**, **B** e **C** do condutor. Devemos utilizar:



- A) o esquema **I** e ligar necessariamente **F** em **C**, pois as cargas positivas aí induzidas atrairão elétrons da Terra, enquanto que se ligarmos em **A**, os elétrons aí induzidos pela repulsão eletrostática, irão impedir a passagem de elétrons para a região **C**.
 B) o esquema **II** e ligar necessariamente **F** em **A**, pois as cargas positivas aí induzidas atrairão elétrons da Terra, enquanto que se ligarmos em **C**, os elétrons aí induzidos pela repulsão eletrostática, irão impedir a passagem de elétrons para a região **A**.
 C) qualquer dos esquemas **I** ou **II**, desde que liguemos **F** respectivamente em **C**, e em **A**.
 D) o esquema **I**, no qual a ligação de **F** com o condutor poderá ser efetuada em qualquer ponto do condutor, pois os elétrons fluirão da Terra ao condutor até que o mesmo atinja o potencial da Terra.
 E) o esquema **II**, no qual a ligação de **F** com o condutor poderá ser efetuada em qualquer ponto do condutor, pois os elétrons fluirão da Terra ao condutor, até que o mesmo atinja o potencial da Terra.

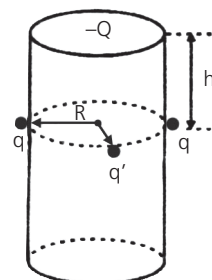
05. Na execução da coreografia abaixo, podemos reconhecer a existência de várias forças atuando sobre a ginasta Cláudia e/ou a corda. Forças de atrito, peso, tração e reação do solo (normal) podem ser facilmente identificadas.



Esse conjunto de forças, aparentemente, não está contemplado no diagrama que mostra as interações fundamentais do universo. Isso pode ser compreendido, pois, em sua essência, as forças:

- A) de atrito e peso são de origem eletromagnética.
 B) normal e peso são de origem gravitacional.
 C) normal e de tração são de origem eletromagnética.
 D) de atrito e de tração são de origem gravitacional.

06. A figura mostra uma carga puntiforme, $-Q$, situada no centro da base superior de um cilindro de raio R . Uma pequena esfera eletrizada com carga q gira sobre a superfície lateral do cilindro, numa trajetória circular horizontal. Adote g como a aceleração da gravidade e $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$.



- A) A carga q pode ser negativa ou positiva e sua velocidade máxima para que ela fique apoiada na superfície lateral do cilindro é $V = R\sqrt{\frac{g}{h}}$.
 B) A carga q é necessariamente positiva e sua velocidade máxima para que ela fique apoiada na superfície lateral do cilindro é $V = R\sqrt{\frac{g}{h}}$.
 C) A carga q é necessariamente negativa e sua massa vale $m = \frac{Qqh}{4\pi\epsilon_0 g(R^2 + h^2)^{\frac{3}{2}}}$.
 D) A carga q é necessariamente positiva e sua velocidade mínima para que ela fique apoiada na superfície lateral do cilindro vale $V = R\sqrt{\frac{g}{h}}$.
 E) A carga q é necessariamente negativa, sua massa vale $m = \frac{Qqh}{4\pi\epsilon_0 g(R^2 + h^2)}$ e sua velocidade máxima para que ela se mantenha apoiada na superfície lateral do cilindro vale $V = \sqrt{Rg}$.

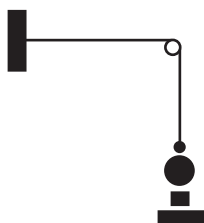
07. Duas cargas puntiformes q , iguais, estão separadas por uma distância $2b$. Uma terceira carga q é obrigada a permanecer na mesma linha que une as anteriores. Mostrar que, se x é o deslocamento da terceira carga, a partir do ponto médio das outras duas, existe uma força de restituição para pequenos deslocamentos $x \ll b$, que é aproximadamente linear, isto é:

$$F = \frac{q^2 x}{\pi \epsilon_0 b^3}$$

08. Na figura abaixo, uma corda é fixada a uma parede e depois de passar por uma roldana é tensionada por uma esfera metálica com 330g de massa. Uma segunda esfera metálica, firmemente presa no solo, é colocada verticalmente abaixo da primeira. Sabendo que a distância entre a parede e a roldana é de 0,50m e que a distância entre os centros das esferas é de 10cm, determine a frequência fundamental do trecho da corda entre a parede e a roldana:

Dados:

Aceleração da gravidade	$g = 9,8 \text{ m/s}^2$
Permissividade do vácuo	$\epsilon_0 = 8,9 \cdot 10^{-12} \text{ P/m}$
Densidade linear da corda	$\mu = 2,0 \text{ g/m}$



- A) com as duas esferas descarregadas.
B) com as duas esferas carregadas, a primeira com uma carga elétrica de $-1,0 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ e a segunda com uma carga elétrica de $-2,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$.
09. Um professor de Física tomou uma pequena esfera metálica e eletrizou-a com uma carga elétrica q . Em seguida, tomou outras n (n é par) esferas neutras, idênticas à primeira, e provocou um contato simultâneo da primeira com metade das esferas neutras. Depois, colocou a primeira esfera em contatos sucessivos com as demais, que ainda estavam neutras. Qual a carga final da primeira esfera?

10. Duas cargas positivas iguais estão separadas por uma distância $2a$. Uma carga de prova puntiforme é colocada num plano equidistante das duas primeiras, perpendicular ao segmento de reta que as une. Calcule o raio r da circunferência nesse plano, para os pontos da qual a força na carga de prova é máxima.

- A) a
B) $\frac{a\sqrt{2}}{2}$
C) $a\sqrt{2}$
D) $\frac{a}{2}$
E) nenhum dos valores anteriores citados.

11. O ganhador do prêmio Nobel de Física Richard Feynman (1965 – Eletrodinâmica Quântica) disse uma vez que se duas pessoas ficassem de pé a um braço de distância uma da outra e se cada uma delas tivesse 1% mais elétrons do que prótons, a força de repulsão entre elas seria bastante para levantar um “peso” igual ao de toda a Terra. Faça um cálculo da ordem de grandeza para confirmar essa afirmação.

Observações:

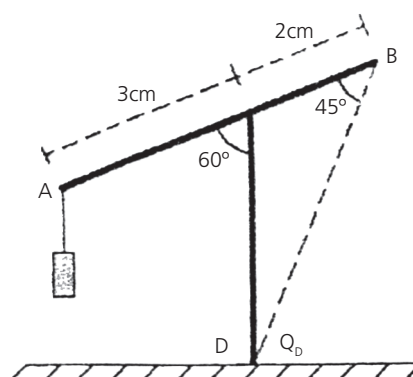
- I. Justifique todos os valores estudados na questão;
II. Como não faz sentido dizer que a Terra tem peso, imagine sua massa vezes 10.

12. N esferas metálicas de raios $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$, inicialmente neutras, são postas em contato com outra esfera metálica de raio R e carga Q .

- A) Determine a carga final da esfera de carga Q , se esta é colocada em contatos sucessivos, isto é, primeiro com a esfera de raio R_1 , segundo com a esfera de raio R_2 , e assim por diante.
B) Determine a carga final da esfera de carga Q , num contato simultâneo com as esferas neutras.

13. A haste AB de peso desprezível apoia-se sobre uma outra haste vertical. Na extremidade A da haste pende um corpo de peso $15 \cdot 10^{-2} \text{ N}$ e na outra extremidade B existe uma carga puntiforme de $-3 \mu\text{C}$. Considerando o equilíbrio da haste AB, o coeficiente de atrito estático mínimo no ponto C (referente ao contato entre as duas hastes) e carga puntiforme que deve haver no ponto D, valem, respectivamente: ($K = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$)

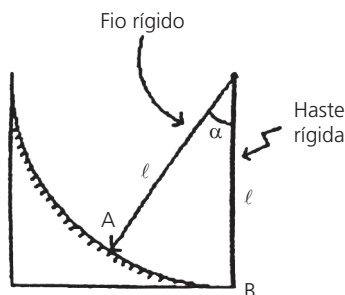
Dados: Caso necessite, use $\sin 15^\circ = 0,26$, $\cos 15^\circ = 0,97$, $\sin 30^\circ = 0,50$, $\cos 30^\circ = 0,87$ e $\sin 45^\circ = 0,71$.



- A) 0,7 e 50 nC
B) 0,83 e $44,8 \text{ nC}$
C) 0,83 e $42,3 \text{ nC}$
D) 0,9 e $48,1 \text{ nC}$
E) n.r.a.

14. O **eletrômetro** é um aparelho que consta de uma haste vertical que tem articulado em seu ponto mais alto um fio rígido de comprimento ℓ e massa m , que se afasta da haste sob ação elétrica. A indicação do aparelho é marcada em um quadrante dividido em graus, conforme a figura. Supondo que existam duas cargas puntiformes iguais, uma no ponto **A** e outra em **B**, determine a equação do eletrômetro, ou seja, $Q = f(\alpha)$.

$\epsilon \rightarrow$ permissividade do meio.



- A) $Q = \pm 8\ell \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{\pi \epsilon m g \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$
 B) $Q = \pm 8\ell \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{\pi \epsilon m g \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$
 C) $Q = \pm 4\ell \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{\pi \epsilon m g \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$
 D) $Q = \pm 4\ell \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{\pi \epsilon m g \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$
 E) $Q = \pm 4\ell \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{\pi \epsilon m g \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$

15. Quatro elétrons estão em rotação em torno de um próton formando um quadrado de lado **R**. Determine os módulos das velocidades dos elétrons em função de:

$m \rightarrow$ massa do elétron

$-e \rightarrow$ carga do elétron

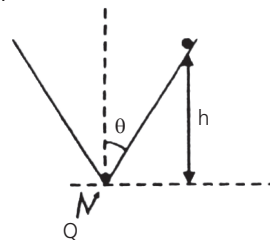
$e \rightarrow$ carga do próton

$k \rightarrow$ constante eletrostática do meio

16. Sobre um plano horizontal existe uma guia circular perfeitamente lisa. Internamente à guia podem deslocar-se livremente três pequenas esferas eletrizadas; duas das esferas possuem carga Q_2 e a terceira carga Q_1 . Mostre que a relação entre Q_1 e Q_2 , sabendo-se que, na posição de equilíbrio, as esferas eletrizadas igualmente são vistas do centro da guia sob um ângulo central de 60° , vale:

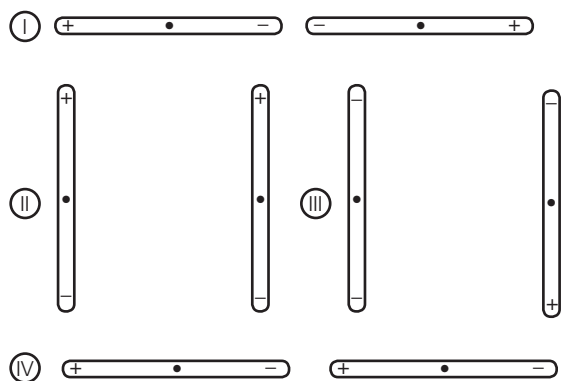
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\sqrt{6}}{4} (\sqrt{3} + 1)^3$$

17. Uma pequena esfera com carga $+Q$ é colocada no fundo de um cone e a outra esfera pequena de massa m é colocada na parede interna do cone como mostra a figura. Verifica-se que a segunda esfera permanece em equilíbrio a uma altura h em relação à primeira. Sendo g a aceleração da gravidade, a carga q da segunda esfera:



- A) $q = 4\pi\epsilon_0 \frac{h^2 m g}{Q \sin \theta}$
 B) $q = 4\pi\epsilon_0 \frac{h^2 m g}{Q \sin^2 \theta}$
 C) $q = 4\pi\epsilon_0 \frac{h^2 m g}{Q \cos \theta}$
 D) $q = 4\pi\epsilon_0 \frac{h^2 m g}{Q \cos^2 \theta}$
 E) n.r.a.

18. Duas hastes isoladas são carregadas com cargas opostas em suas extremidades. Seus centros são montados de maneira que elas sejam livres para girar. Observe as configurações mostradas abaixo e analise os itens que se seguem.



- A) A configuração mostrada na figura **I** é inerentemente instável. Se ocorrer qualquer pequena rotação de uma das hastes e repulsão causará uma rotação adicional para longe dessa configuração.
 B) A configuração da figura **II** é estável. Se as extremidades superiores positivas se aproximarem, irão repelir-se e moverão o sistema de volta para a configuração original.
 C) A configuração da figura **III** é uma configuração de equilíbrio, mas é instável, pois se as extremidades superiores se aproximarem, a atração entre as extremidades superiores será maior do que a das extremidades inferiores e a configuração mudará para a configuração da figura **IV**.
 D) A configuração da figura **IV** é estável.
 E) Todas as sentenças estão corretas.

19. Partículas de poeira carregadas no espaço interestelar, todas de mesma massa e cada uma com excesso de n elétrons, formam uma nuvem esférica, estável e uniforme. Determine a massa de cada partícula.

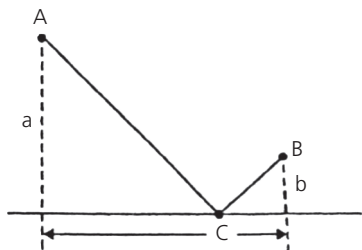
Dados:

$\epsilon_0 \rightarrow$ permissividade elétrica

$G \rightarrow$ constante de Gravitação Universal

$e \rightarrow$ carga elementar

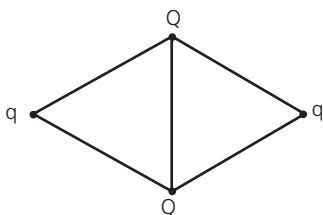
20. Os pontos fixos **A** e **B** estão eletrizados com carga $+Q$ cada um. Um terceiro ponto **C**, eletrizado com carga $-Q_0$ pode deslizar livremente sob a guia retilínea e horizontal, perfeitamente lisa. Verifica-se que o ponto **C** fica em equilíbrio quando o segmento \overline{AC} é normal a \overline{BC} . Demonstre que entre **a**, **b** e **c** verifica-se a relação $a^3 + b^3 = abc$.



21. Quatro cargas positivas **q**, **Q**, **q**, **Q** estão conectadas através de cinco fios cada um com comprimento **L**. Sabe-se que $Q = 3q$. Encontre a força de tração (módulo) no fio vertical. Despreze a gravidade.

Dados:

k – constante eletrostática



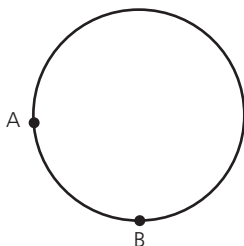
22. O ponto **A** tem peso **P** e carga **Q**, podendo deslocar-se internamente a uma pista circular, perfeitamente lisa, de raio **R**, situado em um plano vertical. O ponto **B**, mais baixo da pista é fixo e também tem carga **Q**. Na posição de equilíbrio do ponto **A** calcular:

A) a distância que une o ponto **A** com o ponto **B**, tal que $r \neq 2R$.

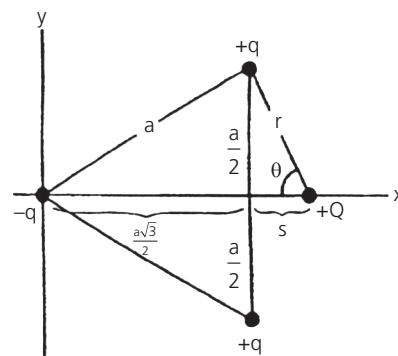
B) a intensidade da força que o ponto **A** exerce sobre a pista.

Dados:

Considere **K** a constante eletrostática do meio, e as respostas deverão ser fornecidas em função de **K**, **Q**, **R** e **P**.



23. Três cargas de igual magnitude **q** estão presas nos vértices de um triângulo equilátero. Uma quarta carga **Q** está livre para mover-se ao longo do eixo **x** positivo, sob a influência das forças exercidas pelas três cargas fixas. Seja θ ângulo para o qual **Q** está em equilíbrio. Podemos afirmar que:



A) $(\cos \theta - \cos^3 \theta)(\sqrt{3} + \cot \theta)^2 = \frac{1}{2}$

B) $\cos^4 \theta \cdot (\sqrt{3} + \tan \theta)^3 = \frac{1}{2}$

C) $\sin^2 \theta \cos^2 \theta (\sqrt{3} + \sec^2 \theta)^2 = \frac{1}{2}$

D) $\sin^2 \theta \cos^2 \theta \cdot (\sqrt{3} + \operatorname{cosec}^2 \theta)^2 = \frac{1}{2}$

E) $(\sin^2 \theta + \sin^3 \theta) \cdot (\sqrt{3} + \cot^2 \theta) = \frac{1}{2}$

24. O Ministério da Ciência e Tecnologia coordenou, em 2005, como parte da Semana Nacional de Ciência e Tecnologia, uma atividade integrada nacionalmente "Brasil, Olhe Para a Água", com o objetivo de discutir temas ligados à água.

A estrutura, a qualidade e a reutilização da água, a poluição dos rios e lagos e a vida nas águas foram alguns dos temas discutidos.

Determine o módulo da força elétrica resultante exercida pelos átomos de hidrogênio, de carga elétrica **q**, sobre o átomo de oxigênio, de carga elétrica $-2q$, em uma molécula de H_2O , sendo **d** o comprimento das ligações OH, α , o ângulo formado entre essas ligações, e k_0 , a constante eletrostática do vácuo.

A) $\frac{4k_0q^2}{d^2} \cos \alpha$

B) $\frac{4k_0q^2}{d^2} \cos 2\alpha$

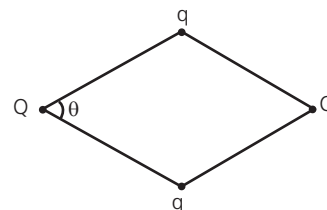
C) $\frac{4k_0q^2}{d^2} \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$

D) $\frac{4k_0q^2}{d^2} \cos^2 \alpha$

E) n.r.a.

25. Quatro cargas positivas **q**, **Q**, **q**, **Q** são ligados por quatro fios cada um com comprimento **L**. Sabe-se que $Q = 8q$. Determine o ângulo θ . Despreze a gravidade.

Observação: **K** – constante eletrostática.



A) $\theta = 30^\circ$

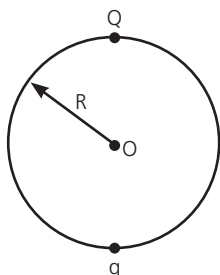
B) $\theta = 2 \arctg(4)$

C) $\theta = 4 \arctg(2)$

D) $\theta = 4 \arctg\left(\frac{1}{3}\right)$

E) n.r.a.

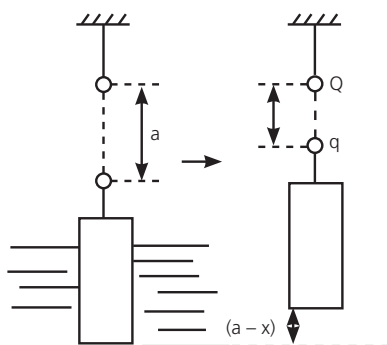
26. Determinar o período das pequenas oscilações de um corpo de massa M e carga q situado dentro de uma esfera lisa de raio R , se no ponto superior da esfera existe uma carga Q . Suponha que ϵ_0 é a constante dielétrica do ar.



27. Um cilindro C de secção transversal $S = 10\text{cm}^2$, suportando em sua extremidade superior uma pequena esfera condutora B, flutua verticalmente em um líquido de densidade absoluta $d = 1\text{g/cm}^3$. Na mesma promada e acima da esfera B encontra-se uma esfera condutora A, fixa. Na posição de equilíbrio do cilindro flutuante a distância entre as esferas A e B é $a = 20\text{cm}$. Comunicam-se às esferas condutoras as cargas $Q = 8\mu\text{C}$ e $q = \frac{1}{9} C$ de sinais opostos. Consequentemente o cilindro

flutuante aflora e a distância entre as esferas diminui. Adotar $g = 10\text{m/s}^2$.

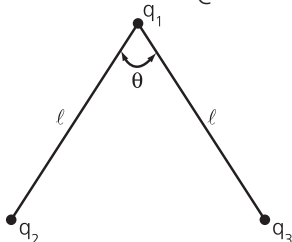
- A) Em função da distância x entre as esferas, exprimir a intensidade F da atração elétrica entre elas e o peso aparente P_{ap} do cilindro flutuante.
B) Em um gráfico cartesiano, representar F e P_{ap} em função de x .
C) Com base no gráfico estudar o equilíbrio do sistema.



Observação: Use $k = 9 \cdot 10^9$ (SI).

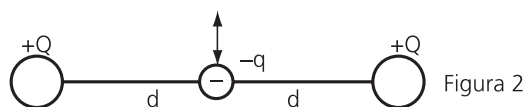
28. São dadas três esferas metálicas iguais, de raios desprezíveis, cada uma com massa $m = 9\text{mg}$. Uma delas fixa, possui carga $q_1 = -\sqrt{2} \cdot 10^{-8}\text{C}$. As outras duas, cujas cargas são $q_2 = q_3 = 8 \cdot 10^{-8}\text{C}$, estão penduradas nesta por dois fios de seda de mesmo comprimento ℓ .

Adotar $g = 10\text{m/s}^2$ e $R = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$.



- A) Qual o comprimento ℓ dos fios para que os mesmos, na posição de equilíbrio, formem um ângulo reto?
B) Nestas condições, qual a força de tração T exercida nos fios?

29. Uma partícula de massa m e carga positiva $+q$ é colocada no centro do segmento da reta que une duas cargas fixas, cada uma de valor $+Q$, afastadas uma da outra de $2d$ (figura 1). Se o movimento da partícula ficar restrito à direção desse segmento de reta, é possível mostrar que, para pequenos deslocamentos, ela descreve um movimento harmônico simples. Qual a pulsação ω_1 desse MHS? E se essa partícula for substituída por outra, também de massa m , mas de carga $-q$, movimentando-se no plano perpendicular ao segmento de reta que une as cargas fixas, qual a pulsação ω_2 desse movimento harmônico, também considerando pequenas oscilações?



A) $\omega_1 = \sqrt{\frac{2KQq}{md^3}}$ e $\omega_2 = \sqrt{\frac{KQq}{md^3}}$

B) $\omega_1 = \omega_2 = \sqrt{\frac{2KQq}{md^3}}$

C) $\omega_1 = \omega_2 = \sqrt{\frac{4KQq}{md^3}}$

D) $\omega_1 = \sqrt{\frac{4KQq}{md^3}}$ e $\omega_2 = \sqrt{\frac{2KQq}{md^3}}$

E) $\omega_1 = \sqrt{\frac{2KQq}{md^3}}$ e $\omega_2 = \sqrt{\frac{4KQq}{md^3}}$

30. Dois corpúsculos eletrizados encontram-se à distância D um do outro e são carregados com cargas q_1 e q_2 . Unem-se os dois corpúsculos por meio de um fio de seda tal que um outro semelhante e de diâmetro d se romperia sob a ação de uma força de intensidade F . Determine o diâmetro mínimo que deve ter o fio para que possa resistir à repulsão entre os dois corpúsculos. O meio tem constante eletrostática K .

A) $\frac{2d}{D} \cdot \sqrt{\frac{kq_1q_2}{F}}$

B) $\frac{D}{2d} \cdot \sqrt{\frac{kq_1q_2}{F}}$

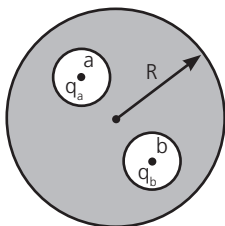
C) $\frac{d}{D} \cdot \sqrt{\frac{kq_1q_2}{F}}$

D) $\frac{d}{D} \cdot \sqrt{\frac{kq_1q_2}{2F}}$

E) $\frac{d}{D} \cdot \sqrt{\frac{2kq_1q_2}{F}}$

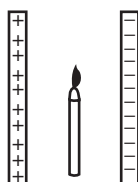
31. Duas cavidades esféricas, de raios a e b , no interior de uma esfera condutora neutra, têm cargas q_a e q_b , conforme mostra a figura. Sabendo-se que a distância entre os centros das cavidades é $\frac{R}{2}$, determine o módulo da força entre as cargas q_a e q_b .

Dado: ϵ_0 = permissividade elétrica



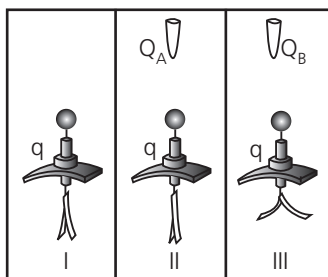
- A) $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_a \cdot q_b}{R^2}$ B) $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_a \cdot q_b}{16R^2}$
 C) $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{4q_a \cdot q_b}{R^2}$ D) $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_a \cdot q_b}{(a+b)^2}$
 E) n.r.a.

32. Uma vela acesa é colocada entre duas placas próximas e eletrizadas com cargas elétricas de sinais contrários, conforme figura.



Supondo o sistema isolado de forças externas, pode-se afirmar que a chama da vela:

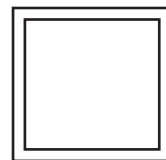
- A) será atraída pela placa eletrizada positivamente.
 B) não será atraída por nenhuma das duas placas.
 C) sofrerá um alongamento vertical.
 D) sofrerá uma diminuição do seu tamanho.
 E) será atraída pela placa eletrizada negativamente.
33. A esfera condutora de um eletroscópio está carregada com carga q deixando as folhas separadas conforme a figura I. Um bastão com carga Q_A é aproximado da esfera condutora (sem tocá-la) e as folhas do eletroscópio se aproximam, conforme a figura II. O bastão de carga Q_A é removido a um diferente com carga Q_B . Agora é aproximado, e as folhas do eletroscópio se afastam, conforme a figura III.



Marque a opção **correta**.

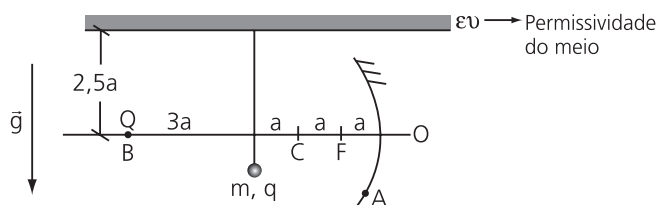
- A) O valor da carga Q_A é menor que o valor de carga q .
 B) Q_A e q têm os mesmos sinais.
 C) Q_B e q têm os mesmos sinais.
 D) Q_A é positivo e Q_B é negativo.
 E) Q_A é negativo e Q_B é positivo.

34. Considere uma caixa de paredes finas no vácuo, exposta a raios gama, conforme mostra a figura.



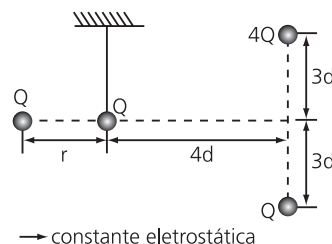
- A) O fóton pode criar cargas, variando, portanto, a carga total, dentro e fora da caixa.
 B) O fóton jamais pode criar carga, assim, a variação da carga total, dentro e fora da caixa, é nula.
 C) A caixa pode tornar-se o palco de uma "criação de par", mas de tal forma que a variação de carga total, dentro e fora da caixa, é nula.
 D) O fóton pode criar uma estrutura chamada positrônio, formada de elétron e pósitron, razão pela qual proporcionará a violação da Lei da Conservação da carga total, dentro e fora da caixa.
 E) A Lei da Conservação da carga não está de acordo com a exigência da invariância relativística, isto é, a Lei acima não prevalece em qualquer sistema de referência inercial, ou no sentido mais forte de que observadores localizados em referenciais diferentes, ao medirem a carga, obtêm resultados diferentes.

35. Uma bolinha de massa m dotada de carga elétrica q encontra-se pendurada por um fio de massa desprezível, como mostrado na figura abaixo. O objeto **A** é um espelho esférico com eixo óptico **O**, centro de curvatura **C** e foco **F**. Colocando-se uma carga Q no ponto **B**, é possível manter a bolinha em equilíbrio sobre o eixo óptico do espelho, com o fio perfeitamente esticado, em uma posição que forma uma imagem virtual com o dobro do seu tamanho. Determine o valor da carga Q para que essa situação ocorra.



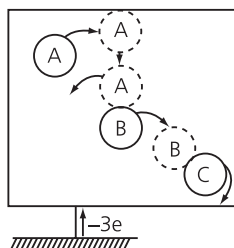
36. O sistema de cargas indicado na figura é composto por três cargas fixas e uma carga pendurada por um fio, todas positivas e de peso desprezível. Para que a carga pendurada fique na direção vertical, pede-se:

- A) Calcule:
 1. a distância r em função de d .
 2. a tração no fio.
 B) Verifique se a carga pendurada, depois de sofrer uma pequena perturbação em sua posição, permanece estável em uma nova posição ou retorna à posição original.
 C) Repetir o item **b** para o caso de a carga pendurada ser negativa.



37. A figura mostra três bolhas idênticas **A**, **B** e **C** flutuando dentro de um recipiente condutor aterrado por um fio. As bolhas inicialmente têm as mesmas cargas. A bolha **A** choca-se com o teto do recipiente e logo em seguida com a bolha **B**. A bolha **B** choca-se com a bolha **C**, que então dirige-se para a base do recipiente.

Quando a bolha **C** toca a base do recipiente, uma carga $-3e$ é transferida para ele através do fio da terra, conforme indica a figura.

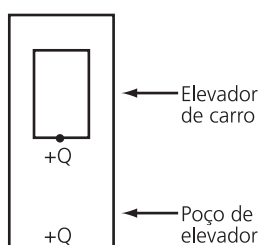


Determine:

- A carga inicial de cada bolha.
- Qual a carga transferida através do fio quando a bolha **A** bate na base do recipiente?
- Durante o processo descrito, qual a carga total transferida através do fio?

38. Um engenheiro projetou um elevador usando um par de cargas $Q = 0,1C$ para a propulsão.

Uma carga está localizada no fundo do poço e a outra na parte de baixo do elevador.



Exceto o freio para parar o sistema (não mostrado no diagrama), nenhum outro aparato está incluído no projeto. Assumindo que o elevador junto com o carro pesa $10.000N$ e que o freio atua instantaneamente quando as forças peso e elétrica se equilibram, analise as sentenças abaixo:

- A máxima altura alcançada pelo elevador é $94,8m$;
- O elevador somente sobe, isto é, jamais descerá;
- A ação entre as cargas pode ser cancelada pelo campo magnético da terra, causando ao elevador uma queda de maneira incontrolável.

É(são) **verdadeira(s)**:

- todas as sentenças.
- somente I e II.
- somente II e III.
- somente III.
- todas as sentenças são falsas.

39. Analise as afirmações abaixo com relação ao conceito de carga, bem como com relação à "Lei da Conservação da Carga".

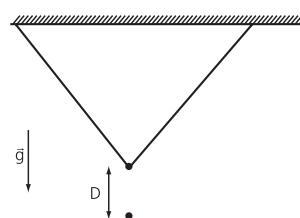
- O que nós chamamos de carga negativa poderia ter sido chamada de positiva e vice-versa. A escolha foi um acidente histórico.
- A carga do elétron comum não tem nada de intrinsecamente negativo; pois um inteiro negativo, desde que se define a multiplicação, difere essencialmente de um inteiro positivo pelo fato de seu quadrado ser um inteiro de sinal oposto. Mas o produto de duas cargas não é uma carga, isto é, não há comparação.
- Hoje os físicos tendem a considerar as cargas positivas e negativas, fundamentalmente, como manifestações opostas de uma qualidade, da mesma forma que "direito" e "esquerdo" são manifestações opostas do "lado".
- Podemos enunciar a lei da conservação da carga, seja como um postulado da teoria, seja como uma lei empírica corroborada sem exceção por todas as experiências feitas até hoje: a carga total elétrica num sistema isolado, isto é, a soma algébrica das cargas positivas e negativas, em qualquer instante, nunca varia.

É(são) **correta(s)**:

- I e II.
- II e III.
- I, II e III.
- III e IV.
- Todas estão corretas.

40. Uma esfera carregada de massa **m** está suspensa de dois fios isolantes que formam entre si um ângulo de 90° . A uma distância **D** da esfera e abaixo desta, coloca-se uma outra esfera idêntica com carga do mesmo valor da anterior, mas de sinal contrário. Com isto, a força de tensão nos fios duplica. Determine a carga da esfera (módulo).

Dado: ϵ_0 = permissividade elétrica do meio.

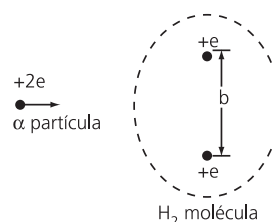


- $q = D\sqrt{2\pi\epsilon_0 mg}$
- $q = 2D\sqrt{2\sqrt{2}\pi\epsilon_0 mg}$
- $q = 3D\sqrt{2\sqrt{3}\pi\epsilon_0 mg}$
- $q = 4D\sqrt{\pi\epsilon_0 mg}$
- n.r.a.

41. Uma partícula α passa rapidamente através de uma molécula de hidrogênio, exatamente pelo centro, percorrendo uma reta perpendicular ao eixo internuclear.

A distância entre os núcleos é **b**. Em que ponto de sua trajetória a partícula α sofre a maior força? Suponha que o núcleo não se mova muito durante a passagem da partícula α (esta hipótese é válida por causa de alta velocidade da partícula α). Você deverá também desprezar o campo elétrico dos elétrons da molécula.

(Esta não é uma aproximação muito boa, pois na molécula do H_2 há uma concentração significativa de carga negativa na região central.)



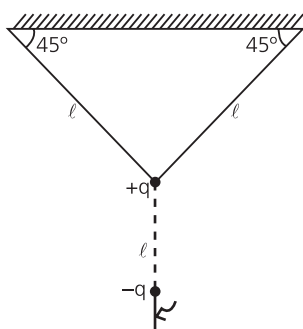
- A) $b\sqrt{2}$
 B) $\frac{b\sqrt{2}}{3}$
 C) $\frac{b\sqrt{2}}{4}$
 D) $\frac{b\sqrt{2}}{5}$
 E) $\frac{b\sqrt{2}}{6}$

42. A figura abaixo representa uma carga $+q$, de massa m , pendurada através de dois fios de comprimento ℓ . Abaixo da citada carga é colocada uma carga puntiforme $-q$, a uma distância ℓ . Faz-se a carga $+q$ oscilar com pequena amplitude em torno da sua posição de equilíbrio. Determine o período de oscilação.

Use:

$K_0 \rightarrow$ constante eletrostática.

$g \rightarrow$ módulo da aceleração da gravidade no local.



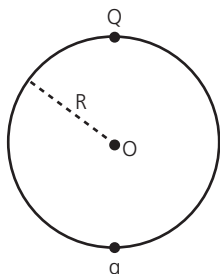
43. Uma esfera de plástico, maciça, é eletrizada, ficando com uma densidade de carga superficial $\sigma = 0,05 \text{ C/m}^2$. Em consequência, se uma carga puntiforme $q = +1 \mu\text{C}$ fosse colocada exteriormente a 3m do centro da esfera, sofreria uma repulsão de $0,02\pi \text{ N}$. A esfera é descarregada e cai livremente de uma altura de 750m, adquirindo ao fim da queda uma energia de $0,009\pi \text{ J}$. A massa específica do plástico da esfera vale:

Considere $g = 10 \text{ m/s}^2$ e $K_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$

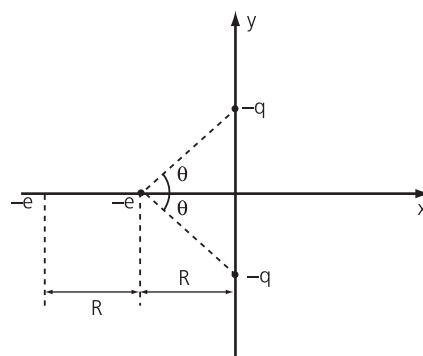
- A) $0,8 \text{ kg/m}^3$
 B) 800 kg/m^3
 C) $0,6 \text{ kg/m}^3$
 D) 600 kg/m^3
 E) n.r.a.

44. Determinar o período das pequenas oscilações de um corpo de massa M e carga $+q$ situado dentro de uma esfera lisa de raio R , se no ponto superior da esfera existe uma carga $+Q$. Suponha que ϵ_0 é a constante de permissividade do meio.

Obs.: Despreze a força gravitacional.



45. A figura abaixo mostra dois elétrons (cargas $-e$) sobre o eixo $-x$ e dois íons idênticos (cargas $-q$) e idênticos ângulos θ . O elétron central está livre para mover-se. As outras partículas estão fixas e tendem a manter o elétron livre fixo.



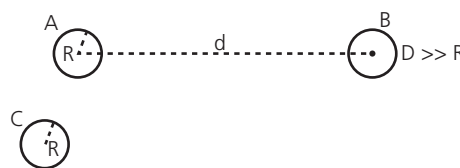
Determine uma expressão de q "versus" θ .

46. Na figura, três esferas condutoras idênticas têm inicialmente as seguintes cargas:

Esfera A: $4Q$

Esfera B: $-6Q$

Esfera C: neutra



As esferas **A** e **B** estão fixas, com os centros separados por uma distância muito maior que os raios das esferas. Dois experimentos são realizados:

Experiência 1: A esfera **C** é tocada à esfera **A** e depois à esfera **B** e então removida.

Experiência 2: Partindo da situação inicial descrita no enunciado da questão, procede-se de forma inversa, isto é: a esfera **C** é tocada à esfera **B** e depois à esfera **A** e então removida.

Determine a razão entre as forças eletrostáticas entre **A** e **B** no final da **experiência 2** em relação ao final da **experiência 1**.

47. Um cubo metálico é carregado ao entrar em contato com uma placa metálica carregada. Após cada contato, a placa é recarregada ficando sempre com uma carga Q . Sabe-se que após o primeiro contato a carga adquirida pelo cubo é $\frac{Q}{6}$. Encontre a máxima carga do cubo.

48. Coulomb propôs a seguinte experiência para medir K (constante eletrostática) e n na equação $F = K \frac{qq'}{r^n}$.

"Uma pequena esfera de massa m e com carga q se situa no extremo de um fio de comprimento L . O outro extremo do fio se fixa ao ponto O de uma mesa horizontal lisa (atrito desprezível). Se sobre a mesa situa outra pequena esfera com carga q' de sinal oposto, ambas as cargas se atraem, de forma que, no equilíbrio, o fio estará tracionado e alinhado com as duas cargas. Proporciona um pequeno empurro lateral à carga q , a qual passa a oscilar em torno da posição de equilíbrio, como um pêndulo. Daí Coulomb mediu o período T para diversos valores de r , obtendo os resultados de acordo com a tabela abaixo."

r (cm)	60	65	70	75	80	85	90	95	100
T (s)	0,84	0,94	1,00	1,08	1,12	1,22	1,30	1,38	1,43

A partir dos dados experimentais, Coulomb estimou os valores de K e n .

Determine a equação do período de oscilação em função de m , L , K , q , q' , r e n .

49. Considere duas esferas condutoras idênticas carregadas com cargas positivas φ_1 e φ_2 , com $\varphi_1 \neq \varphi_2$. Desprezando os efeitos da indução, demonstre que a força de repulsão entre as esferas após o contato é maior que a força de repulsão entre as esferas antes do contato. A distância entre as esferas e o meio permanecem os mesmos.

50. Nos vértices de um triângulo isósceles existem três cargas puntiformes fixas e iguais entre si. Calcular a relação entre a base **b** e a altura **h** do triângulo para que qualquer carga colocada no ponto médio da altura fique em equilíbrio sob a ação das forças elétricas.

Gabarito – Exercícios Propostos

01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
–	A	C	D	C	B	–	*	*	B
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
*	*	B	D	*	–	C	E	*	*
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
*	*	A	C	E	*	*	*	D	C
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
E	E	C	C	*	*	*	B	E	B
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
C	*	E	*	*	*	*	*	–	*

– 01: Demonstração

07: Demonstração

* 08: A) $7\sqrt{33}\text{Hz}$ B) $2\sqrt{293}\text{Hz}$

09: $\frac{q}{(2+n)(2)^{\frac{n}{2}-1}}$

11: 10^{25}N

12: A) $\frac{QR^N}{(R_1+R)(R_2+R)\dots(R_N+R)}$ B) $\frac{QR}{R+\sum_{i=1}^N R_i}$

15: $V = \sqrt{\frac{Ke^2}{mR} \left(\frac{3\sqrt{2}-2}{2} \right)}$

16: Demonstração

19: $m = \frac{ne}{2} \sqrt{\frac{1}{G\pi\epsilon_0}}$

20: Demonstração

21: $T = 8,8 \frac{kq^2}{L^2}$

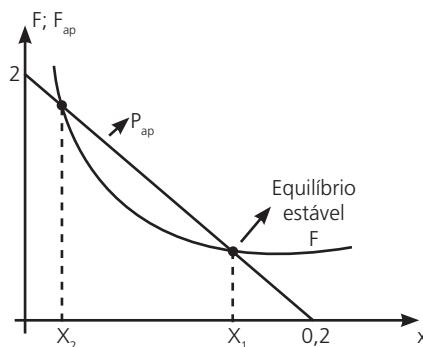
22: A) $r = \sqrt[3]{\frac{KQ^2R}{P}}$ B) $N = \frac{KQ^2}{4R^2} - P$

26:

$T = 8\pi \sqrt{\frac{2\pi\epsilon_0 m R^3}{q \cdot 10^3 q}}$

27: A) $F = \frac{q \cdot 10^3 q}{x^2}$; peso aparente = $2 - 10x$

B)



C) Imaginemos o sistema em equilíbrio na configuração x_1 : perturbemos ligeiramente o equilíbrio e abandonamos o sistema. Sistema para baixo é $x > x_1 \Rightarrow F > P_{ap}$, portanto o sistema retorna a x_1 . Sistema para cima é $x < x_1 \Rightarrow P_{ap} > F$, sistema retorna a x_1 . Por outro lado em $x = x_2 \rightarrow$ equilíbrio instável.

28: A) 57cm B) $T = \frac{27\sqrt{2} \cdot 10^{-5}}{4}\text{N}$

35: $Q = \frac{121mg\pi\epsilon_0 a^2}{q}$

36: A) $\frac{5}{2}d$, $T = \frac{qkQ^2}{125d^2}$ B) Retorna C) Nova posição

37: A) $+4e$ B) $-2e$ C) $-12e$

42: $T = 2\pi \sqrt{\frac{m\ell\sqrt{2}}{(2mg\ell^2 + kq^2)}}$

44: $T = 8\pi \sqrt{\frac{2\pi m\epsilon_0 R^3}{qQ}}$

45: $q = \frac{e}{2} \sec^3 \theta$

46: $\frac{3}{8}$

47: $\frac{Q}{5}$

48: $T = 2\pi \sqrt{\frac{mLr^n}{Kqq'}}$

49: Demonstração

50: $\sqrt[3]{4-1}$

☆☆ IME - INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA - 2009/2010 ☆☆

RESULTADO CEARÁ

FARIAS BRITO

CAMPEÃO DO IME. DE NOVO

1º

LUGAR
DO CEARÁ
CATEGORIA ATIVA



Ivan Guilhon

2º

LUGAR
DO BRASIL
CATEGORIA ATIVA

O MAIOR NÚMERO DE APROVADOS:

23



Farias Brito. O campeão do ITA e do IME (Vestibulares mais difíceis do Brasil) agora com preparação ITA/IME a partir do 1º ano do Ensino Médio.



ORGANIZAÇÃO EDUCACIONAL
FARIAS BRITO
Lições para toda a vida.

www.fariasbrito.com.br