1 FORÇA ENTRE CARGAS ELÉTRICAS E O CAMPO ELETROSTÁTICO

Ao final deste capítulo você deverá ser capaz de:

- Entender o comportamento da força de origem eletrostática entre cargas elétricas pontuais.
- Expressar a força eletrostática entre cargas pontuais como uma grandeza vetorial.
- Calcular forças sobre uma carga elétrica pontual, devido a outras cargas pontuais.
- Demonstrar a existência de campos elétricos em torno de cargas pontuais.
- Expressar vetorialmente o campo elétrico devido a cargas pontuais.
- Calcular o valor da intensidade de campo elétrico em um ponto do espaço, devido a um conjunto discreto de cargas elétricas pontuais.
- Explicar de forma conceitual o comportamento do campo elétrico devido a uma distribuição linear de cargas.
- Explicar de forma conceitual o comportamento do campo elétrico devido a uma distribuição superficial de cargas.

Os primeiros fenômenos de origem eletrostática foram observados pelos gregos, 5 séculos antes de Cristo. Eles descobriram que pedaços de uma resina fóssil chamada âmbar (elektra), quando atritados com tecidos adquiriam a capacidade de atrair pequenas partículas de outros materiais (palha, por exemplo). Como a ciência experimental e dedutiva ainda estava muito longe de ser desenvolvida, o interesse nesse fenômeno sempre permaneceu no campo da lógica e da filosofia. A interação entre objetos eletricamente carregados (força eletrostática) só foi quantificada e equacionada no século 18 (1746), por um cientista francês chamado C. Coulomb.

1.1 - FORÇA ENTRE CARGAS ELÉTRICAS - LEI DE COULOMB

O trabalho de Coulomb consistiu em medir a força de atração (ou repulsão) entre dois corpos eletricamente carregados, em função da distância entre eles. A conclusão a que ele chegou foi:

Este documento é propriedade intelectual do prof. Dr. Naasson Pereira de Alcantara Jr. Proibida reprodução sem autorização. Documento não revisado.

A força entre dois objetos pequenos, separados pelo vácuo ou pelo espaço livre, sendo a distância entre eles muito maior que os seus raios, é diretamente proporcional ao produto entre suas cargas, e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.

Matematicamente :

$$F = k\frac{Q_1.Q_2}{R^2} \quad (N) \qquad (1.1)$$

Onde:

F	(N)	Força de origem eletrostática, de repulsão (cargas de mesmo sinal) ou atração (cargas de sinais opostos)
Q_1, Q_2	(C)	Cargas elétricas, positivas ou negativas
R	(m)	Distância entre os centros das cargas
k		Constante de proporcionalidade

Fixando e Memorizando ...

Antes de prosseguir, tome o seu caderno de estudos e execute sequencialmente as seguintes atividades:

1. Descreva a experiência de Coulomb.
2. Descreva conceitualmente a Lei de Coulomb.
3. Enuncie matematicamente a Lei de Coulomb (conforme 1.1).
4. Defina as grandezas F, Q_1, Q_2, R e k.

A constante k vale:

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

A constante ε_0 é a **permissividade** (ou **rigidez dielétrica**) do espaço livre, e não é adimensional. No S. I. seu valor é: $\varepsilon_0 = 8{,}854\text{x}10^{-12}\,(F/m)$

A força eletrostática é uma grandeza **vetorial**: possui **intensidade**, **direção** e **sentido**. Ela age ao longo da linha que une as duas cargas. Também é uma força mútua. Cada carga sofre a

Este documento é propriedade intelectual do prof. Dr. Naasson Pereira de Alcantara Jr. Proibida reprodução sem autorização. Documento não revisado.

ação de uma força de mesma magnitude, porém, de sentido contrário. A força será de repulsão, se as duas cargas forem de mesma natureza (mesmo sinal), ou de atração, se de sinais contrários. Escrevendo a força sobre a carga 2 vetorialmente, teremos:

$$\vec{F}_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1.Q_2}{|R_{12}|^2}\hat{a}_{r12} \quad (N) \tag{1.2}$$

$$\hat{a}_{r12} = \frac{\vec{R}_{12}}{|R_{12}|} \tag{1.3}$$

$\vec{R}_{12}$	(m)	Vetor que vai da carga Q_1 à carga Q_2
$\hat{a}_{r12}$		Vetor unitário indicando a direção do vetor $\vec{R}_{12}$

A força sobre a carga 1 terá a mesma magnitude, porém sentido inverso. Vetorialmente é expressa como:

$$\vec{F}_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1.Q_2}{|R_{21}|^2}\hat{a}_{r21} \quad (N) \tag{1.2}$$

$$\hat{a}_{r21} = \frac{\vec{R}_{21}}{|R_{21}|} \tag{1.3}$$

$\vec{R}_{21}$	(m)	Vetor que vai da carga Q_2 à carga Q_1
$\hat{a}_{r21}$		Vetor unitário indicando a direção do vetor $\vec{R}_{21}$

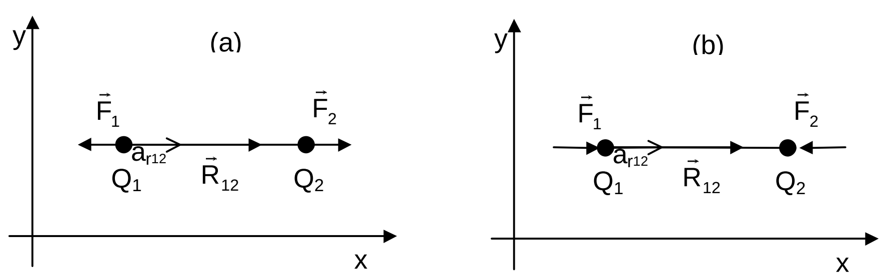

fig. 1.1- força entre duas cargas (a) -de mesmo sinal - (b) - de sinais contrários

Fixando e Memorizando ...

Este documento é propriedade intelectual do prof. Dr. Naasson Pereira de Alcantara Jr. Proibida reprodução sem autorização. Documento não revisado.

Antes de prosseguir, tome o seu caderno de estudos e execute sequencialmente as seguintes atividades:

1. Descreva a natureza vetorial da força eletrostática.
2. Faça uma figura com duas cargas pontuais de mesmo sinal, representando a força eletrostática entre elas, o vetor que as une, bem como o vetor unitário.
3. Expresse a força eletrostática vetorialmente.
4. Defina a constante ε_0.
5. Defina o que é o vetor unitário.

Exemplo 1.1

Uma carga $Q_1 = 3x10^{-4}$ C está colocada no ponto $P_1(1,2,3)$ m. Uma outra carga $Q_2 = -10^{-4}$ C está colocada no ponto $P_2(2,0,5)$ m. Encontrar a força $\vec{F}$ sobre cada carga.

Solução

Vetor que vai da carga 1 à carga 2

$$\vec{R}_{12} = P_2 - P_1$$

$$\vec{R}_{12} = (2-1).\hat{a}_x + (0-2).\hat{a}_y + (5-3).\hat{a}_z$$

$$\vec{R}_{12} = \hat{a}_x - 2.\hat{a}_y + 2.\hat{a}_z$$

$$\left|\vec{R}_{12}\right| = \sqrt{1^2 + (-2)^2 + 2^2} = 3$$

Vetor unitário com a direção de $\vec{R}_{12}$

$$\hat{a}_{r12} = \frac{1}{3}(\hat{a}_x - 2.\hat{a}_y + 2.\hat{a}_z)$$

Força sobre a carga 2:

$$\vec{F}_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1.Q_2}{\left|\vec{R}_{12}\right|^2}.\hat{a}_{r12}$$

$$\vec{F}_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{3x10^{-4}.(-10^{-4})}{9}\frac{1}{3}(\hat{a}_x - 2.\hat{a}_y - 2.\hat{a}_z)\ (N)$$

Este documento é propriedade intelectual do prof. Dr. Naasson Pereira de Alcantara Jr. Proibida reprodução sem autorização. Documento não revisado.

$$\vec{F}_2 = -10(\hat{a}_x - 2.\hat{a}_y + 2.\hat{a}_z) \quad (N)$$

Força sobre a carga 1:

$$\vec{F}_1 = 10(\hat{a}_x - 2.\hat{a}_y + 2.\hat{a}_z) \quad (N)$$

Exemplo 1.2

Uma carga positiva Q_1 de 2 μC encontra-se na posição $P_1(1,2,1)$ m, uma carga negativa Q_2 de 4 μC encontra-se na posição $P_2(-1,0,2)$ m e uma carga negativa Q_3 de 3 μC encontra-se na posição $P_3(2,1,3)$ m. Encontre a força sobre a carga Q_3.

Solução:

Vetor que vai do ponto 1 ao ponto 3:

$$\vec{R}_{13} = P_3 - P_1$$

$$\vec{R}_{13} = (2-1)\hat{a}_x + (1-2)\hat{a}_y + (3-1)\hat{a}_z$$

$$\vec{R}_{13} = \hat{a}_x - \hat{a}_y + 2\hat{a}_z$$

Vetor unitário de $\vec{R}_{13}$:

$$\hat{a}_{r13} = \frac{\vec{R}_{13}}{\left|\vec{R}_{13}\right|} = \frac{\hat{a}_x - \hat{a}_y + 2\hat{a}_z}{\sqrt{6}}$$

Força sobre a carga 3, devido à carga 1:

$$\vec{F}_{3,1} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{(2\times10^{-6})(-3\times10^{-6})}{6} \frac{\hat{a}_x - \hat{a}_y + 2\hat{a}_z}{\sqrt{6}}$$

$$\vec{F}_{3,1} = -3{,}67(\hat{a}_x - \hat{a}_y + 2\hat{a}_z)\times10^{-3} \text{ (N)}$$

Vetor que vai do ponto 2 ao ponto 3:

$$\vec{R}_{23} = P_3 - P_2$$

Este documento é propriedade intelectual do prof. Dr. Naasson Pereira de Alcantara Jr. Proibida reprodução sem autorização. Documento não revisado.

$$\vec{R}_{23} = (2-(-1))\hat{a}_x + (1-0)\hat{a}_y + (3-2)\hat{a}_z$$

$$\vec{R}_{23} = 3\hat{a}_x + \hat{a}_y + \hat{a}_z$$

Vetor unitário de $\vec{R}_{23}$:

$$\hat{a}_{r23} = \frac{\vec{R}_{23}}{\left|\vec{R}_{23}\right|} = \frac{3\hat{a}_x + \hat{a}_y + \hat{a}_z}{\sqrt{11}}$$

Força sobre a carga 3, devido à carga 2:

$$\vec{F}_{3,2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(-4\times10^{-6})(-3\times10^{-6})}{11}\frac{3\hat{a}_x + \hat{a}_y + \hat{a}_z}{\sqrt{11}}$$

$$\vec{F}_{3,2} = 2{,}96(3\hat{a}_x + \hat{a}_y + \hat{a}_z)\times10^{-3}\ \text{(N)}$$

Força total sobre a carga 3:

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{3,1} + \vec{F}_{3,2} = (5{,}2\vec{a}_x - 0{,}71\hat{a}_y - 4{,}4\hat{a}_z)\times10^{-3}\ \text{(N)}$$

Neste exemplo pode ser observado que, em um sistema discreto de cargas pontuais, a força total sobre uma carga deste sistema é a soma (vetorial) das forças individuais sobre esta carga devido às demais cargas do sistema.

Refaça este exemplo ...

Em seu caderno de estudos refaça este exemplo, seguindo os seguintes passos:

1. Expresse o vetor que vai do ponto 1 ao ponto 3.
2. Expresse o seu vetor unitário.
3. Calcule a força sobre a carga 3, devido à carga 1.
4. Expresse o vetor que vai do ponto 2 ao ponto 3.
5. Expresse o seu vetor unitário.
6. Calcule a força sobre a carga 3, devido à carga 2.
7. Calcule a força total sobre a carga 3.

Agora calcule a força sobre as outras duas cargas. As respostas deverão ser: $\vec{F}_1 = \left(-1{,}65\ddot{a}_x - 8{,}99\hat{a}_y + 10\hat{a}_z\right)\times10^{-3}$ (N) e $\vec{F}_2 = \left(-3{,}56\hat{a}_x + 2{,}36\hat{a}_y - 5{,}62\hat{a}_z\right)\times10^{-3}$ (N)

Este documento é propriedade intelectual do prof. Dr. Naasson Pereira de Alcantara Jr. Proibida reprodução sem autorização. Documento não revisado.

1.2 - O CAMPO ELÉTRICO

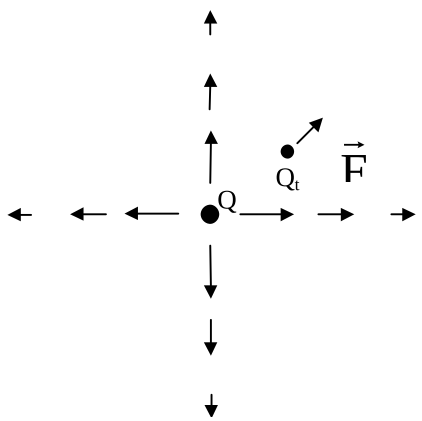

Figura 1.2 - configuração com carga fixa e carga móvel

Considere duas cargas, uma carga Q em uma posição fixa, e uma carga de teste Q_t. Movendo-se a carga de teste Q_t lentamente em torno da carga fixa Q, ela sofrerá a ação de uma força $\vec{F}$. Como essa força atuará sempre ao longo da linha que une as duas cargas, o seu comportamento será sempre radial, considerando a posição da carga Q como origem. Além do mais, essa força aumentará de intensidade se aproximarmos a carga de teste da carga Q, e diminuirá se a afastarmos.

A partir dessas considerações pode-se perceber a existência de um **campo de força** em torno da carga **Q**, que pode ser visualizado pela figura 1.2.

Expressando a força sobre Q_t pela lei de Coulomb:

$$\vec{F}_t = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q.Q_t}{\left|\vec{R}_t\right|^2}.\hat{a}_{rt} \ \ (N) \tag{1.4}$$

Dividindo a equação (1.4) por Q_t :

$$\frac{\vec{F}_t}{Q_t} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{\left|\vec{R}_t\right|^2}.\hat{a}_{rt} \ \ (N/C) \tag{1.5}$$

Percebe-se facilmente que a quantidade à direita na equação acima é função apenas de Q, e está dirigida ao longo do segmento de reta que vai de Q até à posição da carga de teste. Definindo a relação $\vec{F}_t / Q_t$ como sendo $\vec{E}$, **vetor intensidade de campo elétrico**, e dispensando o uso de índices, pode-se escrever:

Este documento é propriedade intelectual do prof. Dr. Naasson Pereira de Alcantara Jr. Proibida reprodução sem autorização. Documento não revisado.

$$\vec{E}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{\left|\vec{R}\right|^2}.\hat{a}_r \ \ (N/C) \tag{1.6}$$

Fixando e memorizando ...

1. Relembrando a configuração de uma carga elétrica fixa e uma carga de teste móvel, explique a existência de um campo de força em torno da carga fixa.
2. Faça um esboço, mostrando o comportamento radial para o campo elétrico produzido por uma carga elétrica
3. Equacione a força eletrostática entre as duas cargas
4. A partir desta equação, Escreva a equação para o vetor intensidade de campo elétrico devido à carga fixa.

`Exemplo 1.3`

Uma carga Q = -10^{-8} C está situada na origem de um sistema de coordenadas retangulares. Escreva uma expressão para o campo elétrico em função das coordenadas x, y e z, considerando-se que a carga Q estaria na origem desse sistema de coordenadas. Qual é o valor do campo no ponto P(1,1,2) m ?

Solução

$$\vec{E}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{\left|\vec{R}\right|^2}.\hat{a}_r \ \ (N/C)$$

$$\vec{R}=x.\hat{a}_x+y.\hat{a}_y+z.\hat{a}_z$$

$$\left|\vec{R}\right|=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$$

$$\hat{a}_r=\frac{\vec{R}}{\left|\vec{R}\right|}$$

$$\vec{E}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{x^2+y^2+z^2}\frac{x.\hat{a}_x+y.\hat{a}_y+z.\hat{a}_z}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}} \ \ (N/C)$$

Este documento é propriedade intelectual do prof. Dr. Naasson Pereira de Alcantara Jr. Proibida reprodução sem autorização. Documento não revisado.

$$\vec{E} = \frac{-10^{-8}}{4\pi\varepsilon_0} \frac{x.\hat{a}_x + y.\hat{a}_y + z.\hat{a}_z}{\left(x^2 + y^2 + z^2\right)^{\frac{3}{2}}} \ (N/C)$$

Para o ponto (1,1,2):

$$\vec{E} = \frac{-10^4}{4\pi \times 8{,}85 \times 6\sqrt{6}} (\hat{a}_x + \hat{a}_y + 2.\hat{a}_z) \ (N/C)$$

O campo elétrico produzido por uma carga pontualcx é sempre orientado radialmente à carga que o gera. Portanto, a solução do problema acima pode ser grandemente simplificada se, ao invés de se utilizar um *sistema de coordenadas cartesianas*, utilizar-se um *sistema de coordenadas esféricas*. A expressão para o vetor intensidade de campo elétrico será:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{\left|\vec{R}\right|^2} .\hat{a}_r \ (N/C)$$

O vetor unitário $\hat{a}_r$ terá apenas a componente na direção do raio radial. Para o ponto (1,1,2), o módulo de $\vec{R}$ é:

$$\left|\vec{R}\right| = \sqrt{1^2 + 1^2 + 2^2} = \sqrt{6}$$

Portanto:

$$\vec{E} = \frac{-10^4}{4\pi \times 8{,}85 \times 6} \hat{a}_r \ (N/C)$$

O exemplo que acabamos de resolver mostra que muitas vezes, ao tentarmos resolver um problema de uma maneira que julgamos ser a "mais fácil" (no caso, o uso de um sistema de coordenadas mais "conhecido"), estamos fazendo-o da maneira mais complicada. A exploração de simetrias, e o uso de sistemas de coordenadas adequados à cada caso são fortemente incentivados em eletromagnetismo.

Exemplo 1.4

Uma carga $Q_1 = 4x10^{-9}$ C está localizada no ponto P_1(1,1,3) m. Uma outra carga Q_2 = $2x10^{-9}$ C está localizada no ponto P_2(1,1,5) m. Calcule o valor da intensidade de campo elétrico no ponto P(4,-1,2) m.

Solução

Este documento é propriedade intelectual do prof. Dr. Naasson Pereira de Alcantara Jr. Proibida reprodução sem autorização. Documento não revisado.

Vetor que vai de P_1 a P:

$$\vec{R}_1 = (4-1)\hat{a}_x + (-1-1).\hat{a}_y + (2-3).\hat{a}_z$$

$$\vec{R}_1 = 3\hat{a}_x - 2\hat{a}_y - \hat{a}_z$$

Vetor unitário $\hat{a}_{r1}$:

$$\hat{a}_{r1} = \frac{3\hat{a}_x - 2\hat{a}_y - \hat{a}_z}{\sqrt{14}}$$

Vetor que vai de P_2 a P:

$$\vec{R}_2 = (4-1).\hat{a}_x + (-1-1).\hat{a}_y + (2-5).\hat{a}_z$$

$$\vec{R}_2 = 3\hat{a}_x - 2\hat{a}_y - 3\hat{a}_z$$

Vetor unitário $\hat{a}_{r2}$:

$$\hat{a}_{r2} = \frac{3.\hat{a}_x - 2\hat{a}_y - 3.\hat{a}_z}{\sqrt{22}}$$

Intensidade de campo elétrico em P:

$$\vec{E} = \frac{4x10^{-9}}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{14}\frac{3.\hat{a}_x - 2\hat{a}_y - \hat{a}_z}{\sqrt{14}} + \frac{2x10^{-9}}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{22}\frac{3.\hat{a}_x - 2\hat{a}_y - 3.\hat{a}_z}{\sqrt{22}}$$

$$\vec{E} = \frac{10^{-9}}{4\pi\varepsilon_0}(0{,}171.\hat{a}_x - 0{,}191\hat{a}_y - 0{,}134.\hat{a}_z) \quad (N/C)$$

A exemplo do que foi feito para se calcular forças em um sistema discreto de cargas, o campo elétrico devido a uma distribuição de cargas pontuais é calculado somando-se a contribuição de cada carga individualmente, no ponto onde se deseja conhecer o valor do campo elétrico

Refaça este exemplo ...

Em seu caderno de estudos refaça este exemplo, seguindo os seguintes passos:

1. Encontre o vetor que vai de P_1 a P.
2. Encontre o seu vetor unitário.

3. Encontre o vetor que vai de P_2 a P.
4. Encontre o seu vetor unitário.
5. Encontre a intensidade de campo elétrico em P, devido à carga que está em P1.
6. Encontre a intensidade de campo elétrico em P, devido à carga que está em P2.
7. Encontre a intensidade de campo elétrico total em P, somando vetorialmente as duas expressões.

1.3 - Distribuições Especiais de Cargas

Vimos até agora o comportamento do campo elétrico produzido por uma carga pontuais discretas. Além de cargas pontuais, podem existir outras configurações (distribuições) de carga, a saber: distribuição linear de cargas, distribuição superficial de cargas e distribuição volumétrica de cargas.

1.3.1- Distribuição linear de cargas - Uma distribuição linear de cargas pode ser considerada como sendo um número infinitamente grande de cargas pontuais, dispostas ao longo de uma linha, como pode ser visto na figura 1.3. Assim, podemos definir uma densidade linear de cargas ρ_l C/m.

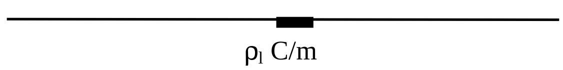

figura 1 .3 - distribuição linear de cargas

Como exemplo de distribuição linear de cargas, podemos citar os elétrons em um condutor elétrico. Apesar de estarem em movimento uniforme, para efeitos de campo elétrico podem ser considerados como estáticos.
Vamos agora analisar comportamento do campo elétrico produzido por uma distribuição linear infinita de cargas (sem ainda equacioná-lo). Vamos tomar duas cargas incrementais $\rho_l dl$, que é o produto da densidade linear de cargas por um incremento de comprimento dl, em uma distribuição linear de cargas, como mostrado na figura 1.4.

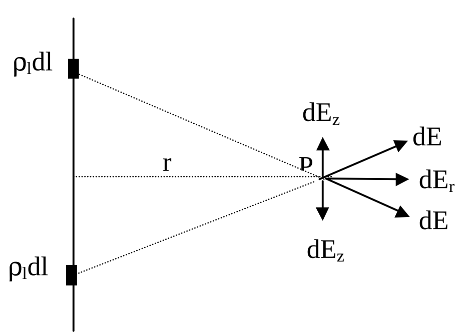

Fig. 1.4 - arranjo para analizar o comportamento do campo elétrico produzido por uma distribuição linear infinita de cargas

Este documento é propriedade intelectual do prof. Dr. Naasson Pereira de Alcantara Jr. Proibida reprodução sem autorização. Documento não revisado.

O campo elétrico em um ponto P situado a uma distância r, perpendicular à linha infinita de cargas provocado por cada carga incremental é dE, orientado na direção da linha que une o incremento de carga e o ponto P. Cada um desses campos incrementais pode ser decomposto em duas componentes: uma paralela à linha r, dE_r, e outra perpendicular a ela, dE_z. Como as cargas incrementais são simétricas em relação à linha r, as componentes dE_z vão se anular, e o campo elétrico resultante será a soma das componentes dE_r. Como se trata de uma linha infinita de cargas, para qualquer ponto z (considerando um sistema de coordenadas cilíndricas), será sempre possível escolher conjuntos de incrementos de cargas simétricos a ele, e o campo elétrico será sempre perpendicular à linha de cargas. Adicionalmente movendo-se o ponto P em um círculo em torno da linha de cargas, o campo elétrico se manterá inalterado, e perpendicular à linha. Movendo-se o ponto P para cima e para baixo, mantendo-se a distância r inalterada, o campo elétrico não apresentará alterações. Finalmente, se a distância r variar, o campo elétrico deverá variar também. Resumindo, o campo elétrico produzido por uma distribuição linear infinita de cargas:

- Possui simetria cilíndrica, e deve ser equacionado utilizando-se um sistema de coordenadas cilíndricas.
- Só possui a componente radial.
- Só varia com a direção radial.

Embora expressões para distribuições lineares de carga possam ser obtidas por integrações diretas, não o faremos aqui (Apresentamos como sugestão o exercício 8 capítulo). Voltaremos a este assunto no capítulo 2, que trata da lei de Gauss.

1.3.2 - Distribuição superficial infinita de cargas - Uma distribuição superficial de cargas pode ser considerada como sendo um número infinitamente grande de cargas pontuais, uniformemente distribuídas em uma superfície. Portanto, podemos definir uma densidade superficial de cargas ρ_s C/m^2 (fig. 1.5) . Para analisar o comportamento do campo elétrico produzido por uma distribuição superficial infinita de cargas, vamos utilizar o arranjo mostrado na figura 1.6. Vamos considerar duas tiras infinitas de espessura dx, simetricamente escolhidas em relação a uma linha de referência (linha pontilhada).

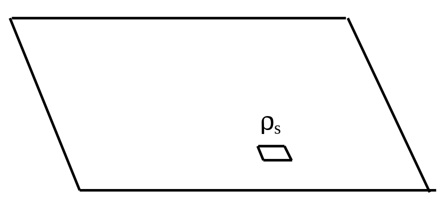

figura 1.5 - distribuição superficial de cargas

Este documento é propriedade intelectual do prof. Dr. Naasson Pereira de Alcantara Jr. Proibida reprodução sem autorização. Documento não revisado.

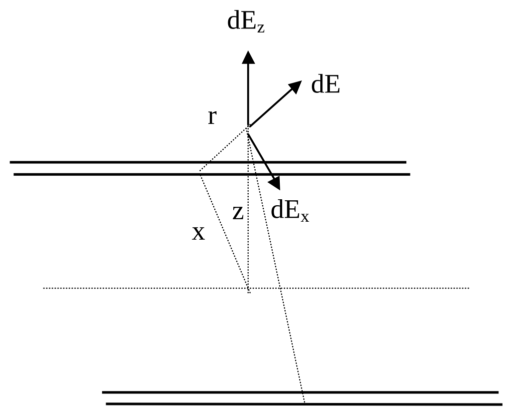

fig. 1.6 - campo elétrico produzido por um elemento de cargas em uma distribuição superficial

Cada "fita" de cargas pode ser considerada com sendo uma distribuição linear de cargas. Portanto, o campo elétrico produzido por ela terá o mesmo comportamento do campo elétrico produzido por uma distribuição linear de cargas. Assim, o campo elétrico dE, em um ponto qualquer z m acima da linha pontilhada, produzido por uma das fitas será orientado radialmente em relação à fita. Esse campo pode ser decomposto em duas componentes: dE_x, paralelo à superfície de cargas, e dE_z, perpendicular À mesma. Como as duas fitas estão simetricamente colocadas em relação ao ponto P, as componentes dE_x deverão se anular, e o campo resultante será a soma das componentes dE_z. Assim, podemos por enquanto concluir que o campo elétrico produzido por uma distribuição superficial infinita de cargas será orientado perpendicularmente a esta superfície. Embora distribuições superficiais infinitas de cargas não existam de fato, podemos considerar como um exemplo prático o caso de um capacitor de placas paralelas.

Expressões para o campo elétrico produzido para distribuições superficiais de cargas podem ser obtidas por integração direta, partindo de raciocínios como os mostrados acima, mas não o faremos aqui (Como sugestão tente fazer o exercício 9, deste capítulo). Também voltaremos a esse assunto no próximo capítulo..

Distribuições volumétricas de cargas são bastante complicadas de serem analisadas, e praticamente inexistem. Portanto, não serão aqui analisadas.

Fixando e Memorizando ...

Em seu caderno de anotações refaça os raciocínios desenvolvidos para explicar o comportamento da intensidade de campo elétrico produzido por uma distribuição linear de cargas, e por uma distribuição superficial de cargas

Este documento é propriedade intelectual do prof. Dr. Naasson Pereira de Alcantara Jr. Proibida reprodução sem autorização. Documento não revisado.

Atenção !!!
O seu aprendizado dos assuntos apresentados neste capítulo só poderá ser considerado satisfatório se você for (ou foi) capaz de refazer em seu caderno de anotações todas as atividades solicitadas. Caso ainda permaneçam dúvidas você deve voltar às seções correspondentes, reestudá-las, e realizar a contento as atividades solicitadas.

Exercícios

1) -Três cargas pontuais, $Q_1 = 300\mu C$, $Q_2 = 400\ \mu C$ e $Q_3 = 500\ \mu C$ acham-se localizadas nos pontos (6,0,0) m , (0,0,6) m e (0,6,0), respectivamernte. Encontre a força que age sobre cada carga.

2) - A lei da gravidade de Newton pode ser escrita $F = Gm_1m_2 / R^2$, onde m_1 e m_2 são massas, pontuais, separadas por uma distância R e G é a constante gravitacional; 6,664´10^{-11} $m^3/kg.s^2$. Duas partículas, cada uma tendo uma massa de 15 mg estão separadas de 1,5 cm. Quantos elétrons são necessários adicionar a cada partícula de modo a equilibrar a força gravitacional ?

3) - Há quatro cargas pontuais iguais, de 20 μC, localizadas sobre os eixos x e y, em $\pm$ 3 m. Calcule a força que age sobre uma carga de 120 μC, localizada em (0,0,4) m.

4)- Duas pequenas esferas plásticas estão arranjadas de modo que possam se deslocar livremente ao longo de uma fibra isolante que forma um ângulo de 45º, com a horizontal. Se cada esfera contiver uma carga de 2×10^{-8} C, e tiver uma massa de 0,2 g, determine a sua localização na fibra

5) - Prove que a força de repulsão entre duas cargas positivas separadas por uma distância fixa é máxima quando a carga total é igualmente distribuída.

6) - Duas cargas pontuais idênticas de Q C estão separadas por uma distância d m. Calcule o campo elétrico $\vec{E}$ para pontos pertencentes ao segmento que une as duas cargas.

7) - Imagine que a Terra e a Lua possam receber cargas elétricas, de modo a equilibrar a força de atração gravitacional entre elas. (a) Encontre a carga requerida para a Terra, se as cargas estiverem numa razão direta entre as superfícies da Terra e da Lua. (b) Qual é o valor de da intensidade de campo elétrico na superfície da Lua, devido a essas cargas? Note que, uma vez que as forças de origem gravitacional e eletrostática estão relacionadas com inverso do

Este documento é propriedade intelectual do prof. Dr. Naasson Pereira de Alcantara Jr. Proibida reprodução sem autorização. Documento não revisado.

quadrado da distância, não é necessário conhecer a distância Terra-Lua para resolver este problema.

8)- Utilizando a configuração mostrada na figura 1.4, encontre a expressão para o vetor intensidade de campo elétrico, devido a uma distribuição linear infinita de cargas.

9) - Utilizando a configuração mostrada figura 1.6, encontre a expressão para o vetor intensidade de campo elétrico, devido a uma distribuição superficial infinita de cargas. Notou alguma coisa estranha com essa expressão ?

Este documento é propriedade intelectual do prof. Dr. Naasson Pereira de Alcantara Jr. Proibida reprodução sem autorização. Documento não revisado.