## Exemplo 21.5

**MÓDULO DO CAMPO ELÉTRICO DE UMA CARGA PUNTIFORME**

Calcule o módulo do campo elétrico de uma carga puntiforme $q = 4{,}0$ nC em um ponto do campo situado a uma distância de 2,0 m da carga. (A carga puntiforme pode ser qualquer objeto pequeno carregado com a carga $q$, desde que as dimensões do objeto sejam muito pequenas em comparação à distância entre o objeto e o ponto do campo.)

**SOLUÇÃO**

**IDENTIFICAR:** este problema usa a expressão para o campo elétrico em função de uma carga puntiforme.

**PREPARAR:** como conhecemos o módulo da carga e a distância entre o objeto e o ponto do campo, usamos a Equação (21.6) para calcular o módulo do campo $E$.

**EXECUTAR:** de acordo com a Equação (21.6),

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{|q|}{r^2} = (9{,}0 \times 10^9\ \mathrm{N \cdot m^2/C^2})\frac{4{,}0 \times 10^{-9}\ \mathrm{C}}{(2{,}0\ \mathrm{m})^2}$$
$$= 9{,}0\ \mathrm{N/C}$$

**AVALIAR:** para conferir nosso resultado, usamos a definição de campo elétrico como a força elétrica por unidade de carga. Podemos inicialmente usar a lei de Coulomb, Equação (21.2), para calcular o módulo $F_0$ da força sobre uma carga de teste $q_0$ colocada a uma distância de 2,0 m de $q$:

$$F_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{|qq_0|}{r^2} = (9{,}0 \times 10^9\ \mathrm{N \cdot m^2/C^2})\frac{4{,}0 \times 10^{-9}\ \mathrm{C}|q_0|}{(2{,}0\ \mathrm{m})^2}$$
$$= (9{,}0\ \mathrm{N/C})|q_0|$$

Então, de acordo com a Equação (21.3), o módulo de $\vec{E}$ é dado por

$$E = \frac{F_0}{|q_0|} = 9{,}0\ \mathrm{N/C}$$

Como $q$ é positiva, a *direção* do campo $\vec{E}$ nesse ponto segue ao

Então, de acordo com a Equação (21.3), o módulo de $\vec{E}$ é dado por

$$E = \frac{F_0}{|q_0|} = 9{,}0 \text{ N/C}$$

Como $q$ é positiva, a *direção* do campo $\vec{E}$ nesse ponto segue ao longo da reta que une as cargas de $q$ para a carga $q_0$, como indica a Figura 21.17b. Contudo, o módulo, a direção e o sentido de $\vec{E}$ não dependem do sinal de $q_0$. Você sabe por quê?

## Exemplo 21.6

**VETOR DO CAMPO ELÉTRICO DE UMA CARGA PUNTIFORME**

Uma carga puntiforme $q = -8{,}0$ nC está localizada na origem. Determine o vetor do campo elétrico para o ponto do campo $x = 1{,}2$ m, $y = -1{,}6$ m.

**SOLUÇÃO**

**IDENTIFICAR:** neste problema devemos encontrar o *vetor* $\vec{E}$ do campo elétrico em função de uma carga puntiforme. Logo, precisamos obter os componentes de $\vec{E}$ ou seu módulo, direção e sentido.

**PREPARAR:** a Figura 21.19 mostra a situação. A forma vetorial do campo elétrico é dada pela Equação (21.7). Para usar essa equação, primeiro achamos a distância $r$ entre o ponto do campo $P$ e o ponto da fonte $S$ (a posição da carga $q$), bem como o vetor unitário $\hat{r}$ que aponta no sentido de $S$ para $P$.

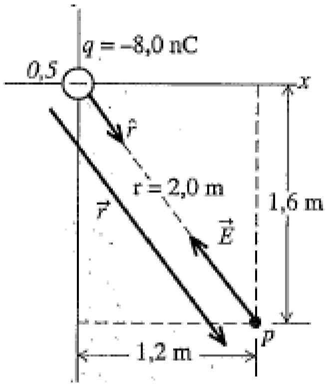


**Figura 21.19** Nossa esquematização do problema.

**EXECUTAR:** a distância da carga no ponto da fonte $S$ (que neste caso está na origem $O$) para o ponto do campo $P$ é

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(1{,}2 \text{ m})^2 + (-1{,}6 \text{ m})^2} = 2{,}0 \text{ m}$$

O vetor unitário $\hat{r}$ está orientado do ponto da fonte para o ponto do campo. Ele equivale ao deslocamento do $\vec{r}$ desde o ponto da fonte até o ponto do campo (na Figura 21.19, foi deslocado para o lado, para não ocultar os demais vetores), dividido por seu módulo $r$:

$$\hat{r} = \frac{\vec{r}}{r} = \frac{x\hat{\imath} + y\hat{\jmath}}{r}$$

$$= \frac{(1{,}2\text{ m})\hat{\imath} + (-1{,}6\text{ m})\hat{\imath}}{2{,}0\text{ m}} = 0{,}60\hat{\imath} - 0{,}80\hat{\jmath}$$

Logo, o vetor do campo elétrico é dado por

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{q}{r^2}\hat{r}$$

$$= (9{,}0 \times 10^9\text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2)\frac{(-8{,}0 \times 10^{-9}\text{ C})}{(2{,}0\text{ m})^2}(0{,}60\hat{\imath} - 0{,}80\hat{\jmath})$$

$$= (-11\text{ N/C})\hat{\imath} + (14\text{ N/C})\hat{\jmath}$$

**Exemplo 19.3 Campo Elétrico de um Dipolo**

Um **dipolo elétrico** é constituído por uma carga pontual $q$ e por uma carga pontual $-q$ separadas por uma distância de $2a$, como na Figura 19.12. Como veremos em capítulos posteriores, os átomos e as moléculas neutras comportam-se como dipolos quando colocados em um campo elétrico externo. Além disso, muitas moléculas, tais como HCl, são dipolos permanentes. (A molécula de HCl pode ser modelada efetivamente como um íon $H^+$ combinado com um íon $Cl^-$.) O efeito desses dipolos no comportamento dos materiais submetidos a campos elétricos é discutido no Capítulo 20. (a) Encontre o campo elétrico **E** devido ao dipolo ao longo do eixo $y$ no ponto $P$, que está a uma distância $y$ da origem. (b) Encontre o campo elétrico para pontos $y \gg a$ que estão muito afastados do dipolo.

**Solução** (a) Em $P$, os campos $\mathbf{E}_1$ e $\mathbf{E}_2$ devidos às duas partículas têm módulos iguais, pois $P$ está eqüidistante das duas cargas. O campo total em $P$ é $\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$, onde as magnitudes dos campos são

$$E_1 = E_2 = k_e\frac{q}{r^2} = k_e\frac{q}{y^2 + a^2}$$

As componentes $y$ de $\mathbf{E}_1$ e de $\mathbf{E}_2$ são iguais em módulo e opostas no sinal, logo, se anulam. As componentes $x$ são iguais e se adicionam, pois têm o mesmo sinal. O campo total **E**, conseqüentemente, é paralelo ao eixo $x$ e tem uma magnitude

$$E = 2k_e\frac{q}{y^2 + a^2}\cos\theta$$

A partir da Figura 19.12, vemos que $\cos\theta = a/r = a/(y^2 + a^2)^{1/2}$. Conseqüentemente,

$$E = 2k_e\frac{q}{y^2 + a^2}\cos\theta = 2k_e\frac{q}{(y^2 + a^2)}\frac{a}{(y^2 + a^2)^{1/2}}$$

$$= k_e\frac{2qa}{(y^2 + a^2)^{3/2}}$$

(b) A equação precedente fornece o valor do campo elétrico para todos os valores de $y$. Para pontos afastados do dipolo, para os quais $y \gg a$, podemos desprezar $a^2$ no denominador e escrever

$$E \approx k_e\frac{2qa}{y^3}$$

Assim, vemos que ao longo do eixo $y$ o campo de um dipolo em um ponto distante varia como $1/r^3$, enquanto o campo de uma carga pontual varia mais lentamente como $1/r^2$. (*Nota:* Na geometria deste exemplo, $r = y$.) Isso ocorre porque, em pontos distantes, os campos das duas cargas no dipolo quase se anulam. A variação $1/r^3$ em $E$ para o dipolo é obtida também para um ponto distante ao longo do eixo $x$ (Problema 15) e para um ponto distante geral.

**EXERCÍCIO** Um pedaço de folha de alumínio de massa $5{,}0 \times 10^{-2}$ kg é suspenso por um fio em um campo elétrico orientado verticalmente para cima. Se a carga na folha for $3{,}0\ \mu$C, encontre a intensidade do campo que reduzirá a zero a tensão no fio.

*Resposta* $1{,}6 \times 10^5$ N/C

**EXERCÍCIO** O núcleo de um átomo de hidrogênio, um próton, cria um campo elétrico. A distância média entre o próton e o elétron de um átomo de hidrogênio é de aproximadamente $5{,}3 \times 10^{-11}$ m. Qual é a magnitude do campo elétrico a essa distância do próton?

*Resposta* $5{,}1 \times 10^{11}$ N/C

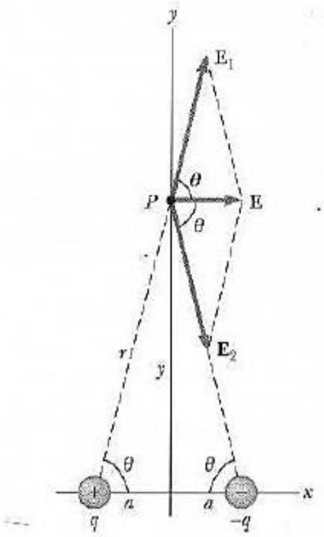


**Figura 19.12**

(Exemplo 19.3) O campo elétrico total **E** em $P$ devido a duas cargas iguais e opostas (um dipolo elétrico) é igual à soma vetorial $\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2$. O campo $\mathbf{E}_1$ é devido à carga positiva $q$, enquanto $\mathbf{E}_2$ é o campo devido à carga negativa $-q$.