

Lista 02 – Campo Elétrico

Sequência didática proposta para os exercícios:

8, 10, 11, 12, 13, 16, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 27, 43 e 45 (Halliday)

EXERCÍCIOS E PROBLEMAS

SEÇÃO 23.3 Linhas de Campo Elétrico

1E. Na Fig. 23.26, as linhas de campo elétrico na esquerda possuem uma separação que é o dobro da separação à direita. (a) Se a intensidade do campo em A for de 40 N/C, que força atua sobre um próton em A? (b) Qual a intensidade do campo em B?

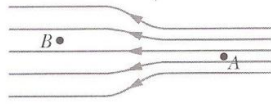


Fig. 23.26 Exercício 1.

2E. Esboce qualitativamente as linhas de campo elétrico tanto entre quanto fora de duas cascas esféricas condutoras concêntricas quando uma carga positiva uniforme q_1 estiver sobre a casca interna e uma carga negativa uniforme $-q_2$ estiver sobre a casca externa. Considere os casos em que $q_1 > q_2$, $q_1 = q_2$ e $q_1 < q_2$.

3E. Esboce qualitativamente as linhas de campo elétrico para um disco delgado circular uniformemente carregado de raio R . (Dica: Considere como casos limites pontos bem próximos ao disco, onde o campo elétrico está dirigido perpendicularmente à superfície, e pontos bem afastados dele, onde o campo elétrico é semelhante ao de uma carga pontual.)

SEÇÃO 23.4 O Campo Elétrico devido a uma Carga Pontual

4E. Qual a intensidade de uma carga pontual que criaria um campo elétrico de 1,00 N/C em pontos afastados de 1,00 m?

5E. Qual a intensidade de uma carga pontual cujo campo elétrico a uma distância de 50 cm possui a intensidade de 2,0 N/C?

6E. Duas partículas de mesma intensidade de carga $2,0 \times 10^{-7}$ C, mas de sinais contrários, são mantidas a 15 cm uma da outra. Quais a intensidade, a direção e o sentido de \vec{E} no ponto localizado no ponto médio entre as cargas?

7E. Um átomo de plutônio-239 possui um núcleo com raio de 6,64 fm e número atômico $Z = 94$. Supondo que a carga positiva está distribuída uniformemente no interior do núcleo, quais a intensidade, a direção e o sentido do campo elétrico na superfície do núcleo devidos à carga positiva?

8P. Na Fig. 23.27, duas cargas pontuais fixas $q_1 = +1,0 \times 10^{-6}$ C e $q_2 = +3,0 \times 10^{-6}$ C estão separadas por uma distância $d = 10$ cm. Faça o gráfico do campo elétrico resultante destas cargas $E(x)$ em função de x tanto para valores positivos quanto para valores negativos de x , considerando E como positivo quando o vetor \vec{E} aponta para a direita e negativo quando \vec{E} aponta para a esquerda.

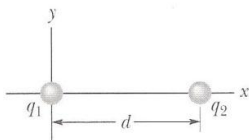


Fig. 23.27 Problemas 8 e 10.

9P. Duas cargas pontuais, $q_1 = 2,1 \times 10^{-8}$ C e $q_2 = -4,0q_1$, são fixadas com uma separação de 50 cm. Encontre o ponto ao longo da linha reta que passa pelas duas cargas no qual o campo elétrico se anula.

10P. (a) Na Fig. 23.27, duas cargas pontuais fixas $q_1 = -5q$ e $q_2 = +2q$ estão separadas por uma distância d . Localize o ponto (ou pontos) onde

o campo elétrico resultante devido às duas cargas se anula. (b) Esboce as linhas do campo elétrico resultante qualitativamente.

11P. Na Fig. 23.28, qual a intensidade do campo elétrico no ponto P devida às quatro cargas pontuais mostradas?

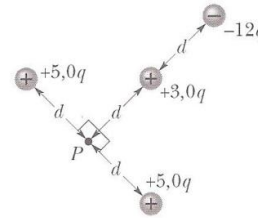


Fig. 23.28 Problema 11.

12P. Calcule a direção, o sentido e a intensidade do campo elétrico no ponto P da Fig. 23.29 devidos às três cargas pontuais.

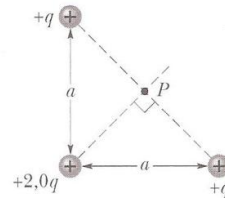


Fig. 23.29 Problema 12.

13P. Quais a intensidade, a direção e o sentido do campo elétrico no centro do quadrado da Fig. 23.30 se $q = 1,0 \times 10^{-8}$ C e $a = 5,0$ cm?

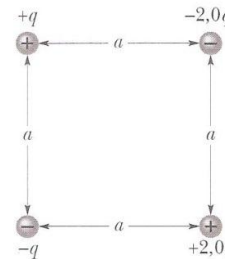


Fig. 23.30 Problema 13.

SEÇÃO 23.5 O Campo Elétrico devido a um Dipolo Elétrico

14E. Na Fig. 23.8, considere que as duas cargas são positivas. Supondo que $z \gg d$, mostre que E no ponto P nessa figura é então dado por

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q}{z^2}$$

15E. Calcule o momento de dipolo elétrico de um elétron e um próton distantes 4,30 nm um do outro.

16P. Determine a intensidade, a direção e o sentido do campo elétrico no ponto P devidos ao dipolo elétrico da Fig. 23.31. P está localizado a uma distância $r \gg d$ ao longo da bissetriz perpendicular à linha que une

as cargas. Expresse a sua resposta em termos da intensidade, da direção e do sentido do momento de dipolo elétrico \vec{p} .

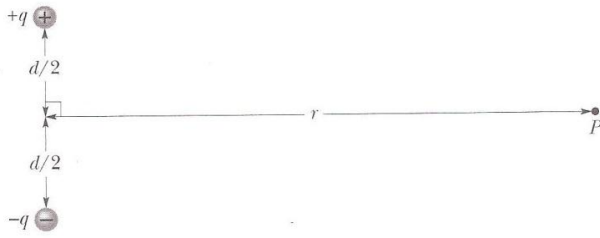


Fig. 23.31 Problema 16.

17P*. *Quadrípolo elétrico.* A Fig. 23.32 mostra um quadrípolo elétrico. Ele é formado por dois dipolos com momentos de dipolo que são iguais em módulo, de mesma direção, mas com sentidos contrários. Mostre que o valor de E sobre o eixo do quadrípolo para um ponto P a uma distância z do seu centro (suponha que $z \gg d$) é dado por

$$E = \frac{3Q}{4\pi\epsilon_0 z^4},$$

onde $Q(=2qd^2)$ é conhecido como o *momento de quadrípolo* da distribuição de cargas.

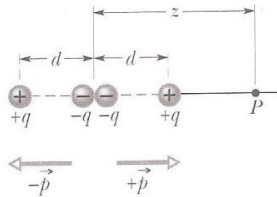


Fig. 23.32 Problema 17.

SEÇÃO 23.6 O Campo Elétrico devido a uma Linha de Carga

18E. A Fig. 23.33 mostra dois anéis paralelos não-condutores dispostos com seus eixos centrais ao longo de uma mesma linha. O anel 1 possui carga uniforme q_1 e raio R ; o anel 2 possui carga uniforme q_2 e o mesmo raio R . Os anéis estão separados por uma distância $3R$. O campo elétrico resultante no ponto P sobre a linha comum, a uma distância R do anel 1, é nulo. Qual o valor da razão q_1/q_2 ?

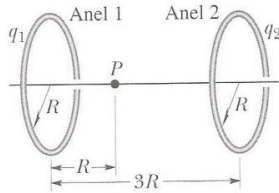


Fig. 23.33 Exercício 18.

19P. Um elétron tem seu movimento restrito ao eixo central do anel de carga de raio R discutido na Seção 23.6. Mostre que a força eletrostática sobre o elétron pode fazer com que ele oscile atravessando o centro do anel com uma frequência angular

$$\omega = \sqrt{\frac{eq}{4\pi\epsilon_0 mR^3}},$$

onde q é a carga do anel e m é a massa do elétron.

20P. Na Fig. 23.34a, duas hastes plásticas curvas, uma com carga $+q$ e a outra com carga $-q$, formam um círculo de raio R em um plano xy . O eixo x passa pelos seus pontos de contato, e a carga está distribuída uniformemente nas duas hastes. Quais a intensidade, a direção e o sentido do campo elétrico \vec{E} produzido em P , o centro do círculo?

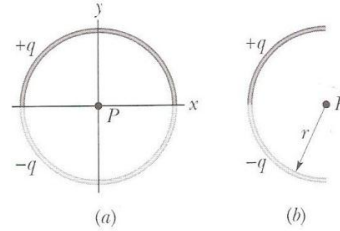


Fig. 23.34 Problemas 20 e 21.

21P. Uma haste fina de vidro é curvada em forma de semicírculo de raio r . Uma carga $+q$ está uniformemente distribuída ao longo da metade superior e uma carga $-q$ está uniformemente distribuída ao longo da metade inferior, como mostrado na Fig. 23.34b. Determine a intensidade, a direção e o sentido do campo elétrico \vec{E} no ponto P , o centro do semicírculo.

22P. A que distância ao longo do eixo central de um anel de raio R e carga uniforme a intensidade do campo elétrico devida à carga do anel é máxima?

23P. Na Fig. 23.35, uma haste não-condutora de comprimento L possui uma carga $-q$ uniformemente distribuída ao longo do seu comprimento. (a) Qual a densidade de carga linear da haste? (b) Qual o campo elétrico no ponto P , a uma distância a da extremidade da haste? (c) Se P estivesse a uma distância muito grande da haste comparada com L , a haste se pareceria com uma carga pontual. Mostre que a sua resposta ao item (b) se reduz ao campo elétrico de uma carga pontual para $a \gg L$.

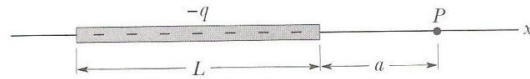


Fig. 23.35 Problema 23.

24P. Uma haste fina não-condutora de comprimento finito L possui uma carga q distribuída uniformemente ao longo deste comprimento. Mostre que

$$E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 y} \frac{1}{(L^2 + 4y^2)^{1/2}}$$

fornece a intensidade E do campo elétrico no ponto P sobre a bissetriz do segmento formado pela haste (Fig. 23.36).

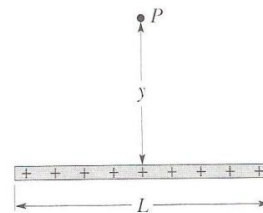


Fig. 23.36 Problema 24.

25P*. Na Fig. 23.37, uma haste não-condutora “semi-infinita” (ou seja, infinita apenas em um sentido) possui densidade de carga linear uniforme λ . Mostre que o campo elétrico no ponto P faz um ângulo de 45°

com a haste e que este resultado independe da distância R . (Dica: Encontre separadamente as componentes paralela e perpendicular (à haste) do campo elétrico em P , e depois compare essas componentes.)

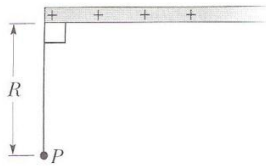


Fig. 23.37 Problema 25.

SEÇÃO 23.7 O Campo Elétrico devido a um Disco Carregado

26E. Um disco com 2,5 cm de raio possui uma densidade superficial de carga de $5,3 \mu\text{C}/\text{m}^2$ na sua face superior. Qual a intensidade do campo elétrico produzido pelo disco em um ponto sobre o seu eixo central a uma distância $z = 12$ cm do disco?

27P. A que distância ao longo do eixo central de um disco de plástico uniformemente carregado de raio R a intensidade do campo elétrico é igual à metade da intensidade do campo no centro da superfície do disco?

SEÇÃO 23.8 Uma Carga Pontual em um Campo Elétrico

28E. Um elétron é acelerado em direção ao leste a $1,80 \times 10^9 \text{ m/s}^2$ por um campo elétrico. Determine a intensidade, a direção e o sentido do campo elétrico.

29E. Um elétron é solto do repouso em um campo elétrico uniforme de intensidade igual a $2,00 \times 10^4 \text{ N/C}$. Calcule a aceleração do elétron. (Ignore a força de gravidade.)

30E. Uma partícula alfa (o núcleo de um átomo de hélio) possui uma massa de $6,64 \times 10^{-27} \text{ kg}$ e uma carga de $+2e$. Quais a intensidade, a direção e o sentido do campo elétrico que equilibrará a força gravitacional que age sobre ela?

31E. Calcule a intensidade da força, devida a um dipolo elétrico com momento de dipolo de $3,6 \times 10^{-29} \text{ C}\cdot\text{m}$, sobre um elétron localizado a 25 nm do centro do dipolo, ao longo do eixo do dipolo. Suponha que esta distância é grande quando comparada com a separação entre as cargas do dipolo.

32E. Ar úmido sofre ruptura elétrica (suas moléculas se tornam ionizadas) em um campo elétrico de $3,0 \times 10^6 \text{ N/C}$. Nesse campo, qual a intensidade da força eletrostática que age sobre (a) um elétron e (b) um íon no qual está faltando apenas um elétron?

33E. Um sistema de nuvens carregadas produz um campo elétrico no ar próximo à superfície da Terra. Uma partícula com carga de $-2,0 \times 10^{-9} \text{ C}$ sofre a ação de uma força eletrostática de $3,0 \times 10^{-6} \text{ N}$ para baixo quando colocada neste campo. (a) Qual a intensidade do campo elétrico? (b) Qual a intensidade, a direção e o sentido da força eletrostática exercida sobre um próton colocado neste campo? (c) Qual a força gravitacional que age sobre o próton? (d) Qual a razão entre a intensidade da força eletrostática e a intensidade da força gravitacional neste caso?

34E. Um campo elétrico \vec{E} com uma intensidade média de cerca de 150 N/C aponta para baixo na atmosfera próximo à superfície da Terra. Desejamos "fazer flutuar" uma esfera de enxofre que pesa $4,4 \text{ N}$ neste campo, carregando a esfera. (a) Qual carga (tanto o sinal quanto a intensidade) deve ser utilizada? (b) Por que este experimento é impraticável?

35E. Feixes de prótons a altas velocidades podem ser produzidos em "canhões" usando campos elétricos para acelerar os prótons. (a) Que aceleração seria sentida por um próton se o campo elétrico do canhão fosse de $2,00 \times 10^4 \text{ N/C}$? (b) Que velocidade o próton atingiria se o campo acelerasse o próton por uma distância de $1,00 \text{ cm}$?

36E. Um elétron com uma velocidade de $5,00 \times 10^8 \text{ cm/s}$ penetra em um campo elétrico de intensidade $1,00 \times 10^3 \text{ N/C}$, movendo-se paralelamente às linhas de campo, no sentido que retarda o seu movimento. (a) Qual a distância que o elétron percorrerá dentro do campo antes de parar momentaneamente e (b) quanto tempo terá se passado? (c) Se a região com o campo elétrico tiver apenas $8,00 \text{ mm}$ de comprimento (curta demais para que o elétron parasse em seu interior), que fração da energia cinética inicial do elétron será perdida nessa região?

37E. No experimento de Millikan, uma gota de óleo com raio de $1,64 \mu\text{m}$ e massa específica de $0,851 \text{ g/cm}^3$ está suspensa na câmara C (Fig. 23.13) quando um campo elétrico dirigido para baixo de $1,92 \times 10^5 \text{ N/C}$ é aplicado. Determine a carga sobre a gota, em termos de e .

38P. Em um de seus experimentos, Millikan observou que as seguintes cargas medidas, dentre outras, apareceram em diferentes instantes sobre uma gota isolada:

$6,563 \times 10^{-19} \text{ C}$	$13,13 \times 10^{-19} \text{ C}$	$19,71 \times 10^{-19} \text{ C}$
$8,204 \times 10^{-19} \text{ C}$	$16,48 \times 10^{-19} \text{ C}$	$22,89 \times 10^{-19} \text{ C}$
$11,50 \times 10^{-19} \text{ C}$	$18,08 \times 10^{-19} \text{ C}$	$26,13 \times 10^{-19} \text{ C}$

Que valor para a carga elementar e pode ser deduzido a partir destes dados?

39P. Existe um campo elétrico uniforme em uma região entre placas carregadas de sinais contrários. Um elétron é solto do repouso na superfície da placa negativamente carregada e atinge a superfície da placa oposta, a uma distância de $2,0 \text{ cm}$, em um tempo de $1,5 \times 10^{-8} \text{ s}$. (a) Qual a velocidade do elétron quando ele atinge a segunda placa? (b) Qual a intensidade do campo elétrico \vec{E} ?

40P. Em um determinado instante as componentes do vetor velocidade de um elétron que se move entre duas placas carregadas paralelas são $v_x = 1,5 \times 10^5 \text{ m/s}$ e $v_y = 3,0 \times 10^3 \text{ m/s}$. Suponha que o campo elétrico entre as placas seja dado por $\vec{E} = (120 \text{ N/C}) \hat{j}$. (a) Qual a aceleração do elétron? (b) Qual será a velocidade do elétron depois de sua coordenada x ter se alterado de $2,0 \text{ cm}$?

41P. Duas grandes placas paralelas de cobre estão distantes $5,0 \text{ cm}$ e possuem um campo elétrico uniforme entre elas, como ilustrado na Fig. 23.38. Um elétron é solto da placa negativa no mesmo instante em que um próton é solto da placa positiva. Despreze a força de uma partícula sobre a outra e encontre a distância delas em relação à placa positiva quando elas passarem uma pela outra. (Você fica surpreso ao saber que não é necessário conhecer o campo elétrico para resolver este problema?)

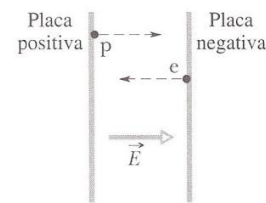


Fig. 23.38 Problema 41.

42P. Um bloco de $10,0 \text{ g}$ com uma carga de $+8,00 \times 10^{-5} \text{ C}$ é colocado em um campo elétrico $\vec{E} = (3,00 \times 10^3) \hat{i} - 600 \hat{j}$, onde \vec{E} é dado em newtons por coulomb. (a) Quais a intensidade, a direção e o sentido da força que age sobre o bloco? (b) Se o bloco for solto do repouso na origem em $t = 0$, quais serão as suas coordenadas em $t = 3,00 \text{ s}$?

43P. Na Fig. 23.39, um campo elétrico uniforme \vec{E} dirigido para cima com intensidade igual a $2,00 \times 10^3 \text{ N/C}$ foi criado entre duas placas horizontais carregando-se a placa inferior positivamente e a placa su-

perior negativamente. As placas possuem comprimento $L = 10,0$ cm e uma separação $d = 2,00$ cm. Depois lança-se um elétron entre as placas a partir da borda esquerda da placa inferior. A velocidade inicial \vec{v}_0 do elétron faz um ângulo $\theta = 45^\circ$ com a placa inferior e possui uma intensidade de $6,00 \times 10^6$ m/s. (a) O elétron atingirá uma das placas? (b) Caso isso aconteça, qual das placas e a que distância horizontal da borda esquerda o elétron irá atingi-la?

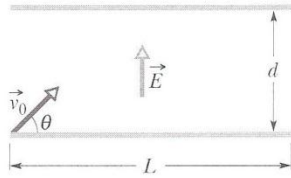


Fig. 23.39 Problema 43.

SEÇÃO 23.9 Um Dipolo em um Campo Elétrico

44E. Um dipolo elétrico, formado por cargas com intensidades de $1,50$ nC separadas de $6,20$ μm , está em um campo elétrico com intensidade de 1100 N/C. (a) Qual a intensidade do momento de dipolo elétrico? (b) Qual a diferença entre as energias potenciais correspondentes às orientações paralela e antiparalela do dipolo em relação ao campo?

45E. Um dipolo elétrico é formado por cargas $+2e$ e $-2e$ separadas de $0,78$ nm. Ele está em um campo elétrico com intensidade de $3,4 \times 10^6$ N/C. Calcule a intensidade do torque que age sobre o dipolo quando o momento de dipolo for (a) paralelo, (b) perpendicular e (c) antiparalelo ao campo elétrico.

46P. Determine o trabalho exigido para girar um dipolo elétrico, invertendo-o, em um campo elétrico uniforme \vec{E} , em termos da intensidade p do momento de dipolo, da intensidade E do campo e do ângulo inicial θ_0 entre \vec{p} e \vec{E} .

47P. Determine a frequência de oscilação de um dipolo elétrico, com momento de dipolo \vec{p} e inércia à rotação I , para pequenas amplitudes de oscilação em torno da sua posição de equilíbrio em um campo elétrico uniforme de intensidade E .

Problema Adicional

48. A reprodução das flores depende de insetos que transportam grãos de pólen de uma flor para outra. Uma maneira pela qual abelhas podem fazer isso é coletando os grãos eletricamente, já que as abelhas estão em geral positivamente carregadas. Quando uma abelha paira próximo à antera de uma flor (Fig. 23.40), que é eletricamente isolada, os grãos de pólen (que são moderadamente condutores) saltam para a abelha, onde eles ficam grudados durante o voo até a próxima flor. Quando a abelha se aproxima do estigma dessa flor, que está eletricamente ligado ao solo passando por dentro da planta, os grãos de pólen saltam da abelha para o estigma, fertilizando a flor.

(a) Supondo que uma abelha com uma carga típica de 45 pC é um condutor esférico, determine a intensidade do campo elétrico da abelha no local de um grão de pólen a $2,0$ cm do centro da abelha. (b) Esse campo é uniforme ou não-uniforme? (c) Dê uma explicação plausível sobre a razão pela qual os grãos de pólen saltam para a abelha, permanecem grudados à abelha durante o voo e depois saltam da abelha para o estigma aterrado. (Dica: Considere a Fig. 22.5.) Quando um grão de pólen alcança a abelha, ele faz contato elétrico com ela, de modo que a carga sobre o grão varie?

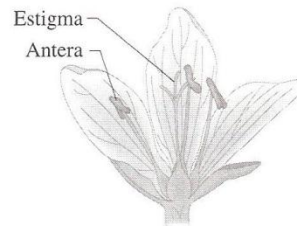


Fig. 23.40 Problema 48.

Respostas

CAPÍTULO 23

PV 1. (a) horizontal para a direita; (b) horizontal para a esquerda; (c) horizontal para a esquerda; (d) horizontal para a direita (p e \vec{E} têm a mesma intensidade de carga e p está mais distante) **2.** todas as intensidades são iguais **3.** (a) direção do sentido positivo do eixo y ; (b) direção do sentido positivo do eixo x ; (c) direção do sentido negativo do eixo y **4.** (a) horizontal para a esquerda; (b) horizontalmente para a esquerda; (c) diminuirá **5.** (a) todas as intensidades são iguais; (b) 1 e 3 são iguais, assim 2 e 4 são iguais **P 1.** (a) direção do sentido positivo do eixo x ; (b) para baixo e para a direita; (c) **A 3.** em dois pontos: um à esquerda das partículas, o outro entre os prótons **5.** (a) são; (b) no sentido da carga; (c) não (os vetores de campo não estão ao longo da mesma linha); (d) se cancelam; (e) se somam; (f) o das componentes que se somam; (g) direção do eixo y no sentido negativo **7.** e , b , depois a e c com o mesmo valor e então d (zero) **9.** (a) para baixo; (b) 2 e 4 para baixo, 3 para cima **11.** (a) 4, 3, 1, 2; (b) 3, depois 1 e 4 iguais e então 2 **EP 1.** (a) $6,4 \times 10^{-18}$ N; (b) 20 N/C **5.** 56 pC **7.** $3,07 \times 10^{21}$ N/C, radialmente para fora **9.** a 50 cm de q_1 e a 100 cm de q_2 **11.** 0 **13.** $1,02 \times 10^5$ N/C, para cima **15.** $6,88 \times 10^{-28}$ C·m **21.** $q/\pi^2 \epsilon_0 r^2$, verticalmente para baixo **23.** (a) $-q/L$; (b) $q/4\pi\epsilon_0(L+a)$ **27.** $R/\sqrt{3}$ **29.** $3,51 \times 10^{15}$ m/s² **31.** $6,6 \times 10^{-15}$ N **33.** (a) $1,5 \times 10^3$ N/C; (b) $2,4 \times 10^{-16}$ N, vertical para cima; (c) $1,6 \times 10^{-26}$ N; (d) $1,5 \times 10^{10}$ **35.** (a) $1,92 \times 10^{12}$ m/s²; (b) $1,96 \times 10^5$ m/s **37.** $-5e$ **39.** (a) $2,7 \times 10^6$ m/s; (b) 1000 N/C **41.** 27 μm **43.** (a) sim; (b) a placa superior, a 2,73 cm da borda **45.** (a) 0; (b) $8,5 \times 10^{-22}$ N·m; (c) 0 **47.** $(1/2\pi)\sqrt{pE/I}$

8. Gráfico;

10. $1,7d$ à direita de q_2 ;

12 $E = k \frac{4q}{a^2}$; Para fora de $+2q$;

16. $E = k \frac{qd}{\left[r^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2\right]^{3/2}}$; $r \gg d$ $E = -k \frac{p}{r^3}$;

18. $q_1/q_2 \approx 0,51$;

19. No enunciado. Dica: analise se o equilíbrio é estável ou instável e lembre-se da força restauradora.

20. $E = k \frac{4q}{\pi R^2} \hat{j}$;

24. No enunciado;

25. $E = -k \lambda/R (\hat{i} + \hat{j})$;