Questão 1

Uma carga positiva Q está fixada e o ponto P está a uma distância r dela. O campo elétrico é definido como a força elétrica por unidade de carga de prova positiva. A partir disso:

$$E = k \cdot Q / r^2$$

E - intensidade do campo elétrico (N/C)
k = $9{,}0 \times 10^9$ $N \cdot m^2/C^2$
Q - carga fonte (C)
r - distância até o ponto (m)

a) O campo elétrico de uma carga positiva aponta para fora dela, afastando-se radialmente. A direção é a reta que une Q a P e o sentido é de Q em direção a P (para longe da carga).

a) Direcao: reta que une Q a P.
Sentido: de Q para P (afastando-se da carga positiva).

b) Se a distância for dobrada, r' = 2r, o novo campo E' será:

$$E' = k \cdot Q / (2r)^2$$

$$E' = k \cdot Q / (4 \cdot r^2)$$

$$E' = (1/4) \cdot k \cdot Q / r^2$$

$$E' = E / 4$$

Atencao: E depende de r^2, nao de r. Dobrar a distancia nao divide o campo por 2, mas por 4. Exemplo: se E = 100 N/C com r = 1 m, com r = 2 m teremos E' = 25 N/C, nao 50 N/C.

b) A intensidade cai para 1/4 do valor original.

c) A intensidade do campo depende apenas do módulo de Q e da distância r. Trocar por uma carga negativa de mesma magnitude não altera E. O sentido, porém, inverte: o campo de uma carga negativa aponta em direção à carga (de P para Q).

c) Intensidade: nao muda.
Sentido: inverte (passa a apontar de P em direcao a Q).

Questão 2

A carga é Q = 400 μC e o ponto P está a r = 0,2 m. Primeiro convertemos Q para coulombs:

$$Q = 400\ \mu C$$

$$Q = 400 \times 10^{-6}\ C$$

$$Q = 4{,}0 \times 10^{-4}\ C$$

Para evitar ambiguidade com a vírgula, expressamos r em notação científica antes de elevar ao quadrado:

$$r = 0{,}2\ m$$

$$r = 2{,}0 \times 10^{-1}\ m$$

$$r^2 = (2{,}0 \times 10^{-1})^2$$

$$r^2 = 4{,}0 \times 10^{-2}\ m^2$$

Aplicando a equação do campo elétrico:

$$E = k \cdot Q / r^2$$

$$E = (9{,}0 \times 10^9) \cdot (4{,}0 \times 10^{-4}) / (4{,}0 \times 10^{-2})$$

$$E = (36 \times 10^5) / (4{,}0 \times 10^{-2})$$

$$E = 9{,}0 \times 10^7\ N/C$$

E = $9{,}0 \times 10^7$ N/C

Questão 3

A partícula tem carga q = 2×10^{-6} C e está em uma região de campo E = 3×10^4 N/C. O campo E é definido como força por unidade de carga, portanto a força sobre a partícula vem diretamente da definição:

$$F = q \cdot E$$

F - força elétrica (N)
q - carga elétrica (C)
E - intensidade do campo elétrico (N/C)

a) Calculando a força:

$$F = q \cdot E$$

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

$$F = 6 \times 10^{-2}\ N$$

a) $F = 6 \times 10^{-2}$ N = 0,06 N

b) Se a carga fosse negativa de mesmo módulo, $q' = -2 \times 10^{-6}$ C:

$$|F'| = |q'| \cdot E$$

$$|F'| = (2 \times 10^{-6}) \cdot (3 \times 10^{4})$$

$$|F'| = 6 \times 10^{-2} \text{ N}$$

O módulo não muda — depende apenas de |q|. O sentido, porém, inverte: a força sobre uma carga negativa é oposta à direção do campo.

b) Modulo: nao muda (F = 0,06 N).
Sentido: inverte (oposto ao campo E).

Questão 4

Analisamos o esquema de linhas de campo. As regras fundamentais são: linhas emergem de cargas positivas e convergem para cargas negativas; regiões com linhas mais densas indicam campo mais intenso; e o número de linhas associadas a uma carga é proporcional ao seu módulo.

a) As linhas de campo emergem da carga da esquerda (campo aponta para fora) e convergem para a carga da direita (campo aponta para dentro).

a) Carga da esquerda: positiva.
Carga da direita: negativa.

b) O campo é mais intenso onde as linhas estão mais próximas entre si. Observando o esquema, as linhas ficam mais agrupadas na região entre as cargas próxima à carga de maior módulo.

b) O campo e mais intenso na regiao entre as cargas onde as linhas sao mais densas (mais proximas entre si).

c) O número de linhas de campo que emergem ou convergem para uma carga é proporcional ao seu módulo. A carga com mais linhas associadas tem maior módulo.

c) A carga com mais linhas de campo associadas possui maior modulo (carga da esquerda, no esquema).

d) Uma carga de prova positiva no ponto médio sofre dois efeitos que apontam para o mesmo sentido: é repelida pela carga positiva (para longe dela) e atraída pela carga negativa (em direção a ela). As duas forças empurram a carga de prova na mesma direção.

d) A carga de prova acelera em direcao a carga negativa (da esquerda para a direita, no esquema).

Questão 5

As cargas são $Q_A = 6$ μC (positiva) e $Q_B = -6$ μC (negativa), separadas por 30 cm. O ponto médio M está a r = 15 cm de cada carga.

Convertemos as unidades:

$$Q_A = 6\ \mu\text{C} = 6 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$r = 15 \text{ cm} = 0{,}15 \text{ m} = 1{,}5 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$r^2 = (1{,}5 \times 10^{-1})^2$$

$$r^2 = 2{,}25 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

O campo produzido por A no ponto M aponta de A para M (sentido de A em direção a B), pois Q_A é positiva:

$$E_A = k \cdot Q_A / r^2$$

$$E_A = (9{,}0 \times 10^{9}) \cdot (6 \times 10^{-6}) / (2{,}25 \times 10^{-2})$$

$$E_A = (5{,}4 \times 10^{4}) / (2{,}25 \times 10^{-2})$$

$$E_A = 2{,}4 \times 10^{6} \text{ N/C}$$

O campo produzido por B no ponto M aponta de M em direção a B (em direção a carga negativa) — também no mesmo sentido de A para B:

$$E_B = k \cdot |Q_B| / r^2$$

$$E_B = 2{,}4 \times 10^{6} \text{ N/C}$$

Como ambos os campos apontam no mesmo sentido (de A em direção a B), a resultante é a soma direta:

$$E_{res} = E_A + E_B$$

$$E_{res} = 2{,}4 \times 10^{6} + 2{,}4 \times 10^{6}$$

$$E_{res} = 4{,}8 \times 10^{6} \text{ N/C}$$

$E_{res} = 4{,}8 \times 10^{6}$ N/C
Sentido: de A em direcao a B.

Questão 6

O capacitor tem placas separadas por $d = 4 \text{ cm} = 4 \times 10^{-2}$ m e campo interno $E = 5 \times 10^{3}$ N/C.

a) Dizer que o campo é uniforme significa que em todos os pontos entre as placas o campo elétrico tem a mesma intensidade, a mesma direção (perpendicular às placas) e o mesmo sentido (da placa positiva para a negativa). O campo não varia com a posição dentro do capacitor.

a) Campo uniforme: mesma intensidade, direcao e sentido em todos os pontos entre as placas.

b) A partícula tem carga $q = -3\ \mu C = -3 \times 10^{-6}$ C. Partimos da relação força-campo:

$$F = |q| \cdot E$$

$$F = (3 \times 10^{-6}) \cdot (5 \times 10^{3})$$

$$F = 15 \times 10^{-3}\ N$$

$$F = 1{,}5 \times 10^{-2}\ N$$

O campo aponta da placa positiva (+Q) para a negativa (-Q). A força sobre uma carga negativa é oposta ao campo, portanto aponta da placa negativa em direção à placa positiva. A partícula é atraída pela placa positiva (+Q).

b) $F = 1{,}5 \times 10^{-2}$ N
A particula e atraida pela placa positiva (+Q).

c) A diferença de potencial entre as placas é obtida a partir da definição de campo uniforme: $E = \Delta V / d$. Isolando ΔV:

$$\Delta V = E \cdot d$$

ΔV - diferenca de potencial (V)
E - intensidade do campo (N/C)
d - distancia entre as placas (m)

$$\Delta V = E \cdot d$$

$$\Delta V = (5 \times 10^{3}) \cdot (4 \times 10^{-2})$$

$$\Delta V = 20 \times 10^{1}\ V$$

$$\Delta V = 200\ V$$

c) $\Delta V = 200$ V

d) A partícula tem massa $m = 6 \times 10^{-9}$ kg. Partimos da 2ª Lei de Newton e substituímos a força elétrica:

$$F = m \cdot a$$

F - forca resultante (N)
m - massa (kg)
a - aceleracao (m/s²)

A força elétrica é a única força horizontal relevante. Isolando a:

$$a = F / m$$

$$a = (1{,}5 \times 10^{-2}) / (6 \times 10^{-9})$$

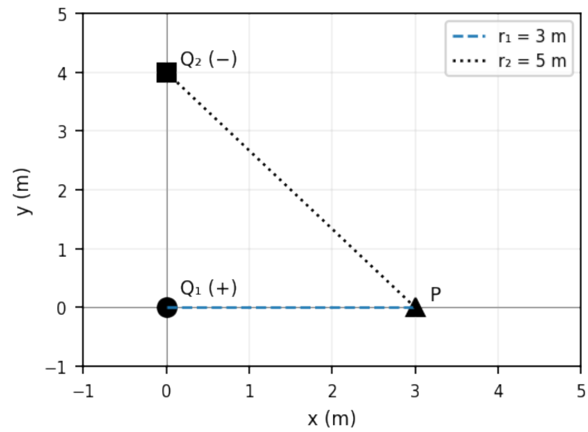
$$a = 0{,}25 \times 10^{7}\ m/s^2$$

$$a = 2{,}5 \times 10^{6}\ m/s^2$$

d) $a = 2{,}5 \times 10^{6}\ m/s^2$

Questão 7

As cargas estão em $Q_1 = 8\ \mu C$ na origem (0, 0) e $Q_2 = -8\ \mu C$ em (0, 4) metros. O ponto P é (3, 0).



Calculamos as distâncias de cada carga até P:

$$r_1 = \text{distancia de } Q_1 \text{ a P}$$

$$r_1 = \sqrt{(3^2 + 0^2)}$$

$$r_1 = \sqrt{9}$$

$$r_1 = 3\ m$$

$$r_2 = \text{distancia de } Q_2 \text{ a P}$$

$$r_2 = \sqrt{(3^2 + 4^2)}$$

$$r_2 = \sqrt{(9 + 16)}$$

$$r_2 = \sqrt{25}$$

$$r_2 = 5\ m$$

Calculamos a intensidade de cada campo em P. Primeiro convertemos as cargas:

$$Q_1 = 8\ \mu C = 8 \times 10^{-6}\ C$$

$$E_1 = k \cdot Q_1 / r_1^{\ 2}$$

$$E_1 = (9{,}0 \times 10^9) \cdot (8 \times 10^{-6}) / 3^2$$

$$E_1 = (72 \times 10^3) / 9$$

$$E_1 = 8{,}0 \times 10^3\ N/C$$

$$E_2 = k \cdot |Q_2| / r_2^{\ 2}$$

$$E_2 = (9{,}0 \times 10^9) \cdot (8 \times 10^{-6}) / 5^2$$

$$E_2 = (72 \times 10^3) / 25$$

$$E_2 = 2{,}88 \times 10^3\ N/C$$

Determinamos as direções. Q_1 é positiva, então E_1 aponta de Q_1 para P — no sentido (+x, 0), ou seja, apenas na direção x:

$$E_{1x} = +8{,}0 \times 10^3\ N/C$$

$$E_{1y} = 0\ N/C$$

Q_2 é negativa, então E_2 aponta de P em direção a Q_2. O vetor de P para Q_2 é (0-3, 4-0) = (-3, 4), com módulo 5. O vetor unitário é (-3/5, +4/5):

$$E_{2x} = 2{,}88 \times 10^3 \cdot (-3/5)$$

$$E_{2x} = -1{,}728 \times 10^3\ N/C$$

$$E_{2y} = 2{,}88 \times 10^3 \cdot (+4/5)$$

$$E_{2y} = +2{,}304 \times 10^3\ N/C$$

Somamos as componentes:

$$E_x = E_{1x} + E_{2x}$$

$$E_x = 8{,}0 \times 10^3 + (-1{,}728 \times 10^3)$$

$$E_x = 6{,}272 \times 10^3\ N/C$$

$$E_y = E_{1y} + E_{2y}$$

$$E_y = 0 + 2{,}304 \times 10^3$$

$$E_y = 2{,}304 \times 10^3\ N/C$$

O módulo da resultante:

$$|E|^2 = E_x^{\ 2} + E_y^{\ 2}$$

$$|E|^2 = (6272)^2 + (2304)^2$$

$$|E|^2 = 39\ 337\ 984 + 5\ 308\ 416$$

$$|E|^2 = 44\ 646\ 400$$

$$|E| = \sqrt{44\ 646\ 400}$$

$$|E| \approx 6{,}68 \times 10^3\ N/C$$

O ângulo com o eixo x positivo:

$$\theta = \arctan(E_y / E_x)$$

$$\theta = \arctan(2304 / 6272)$$

$$\theta = \arctan(0{,}367)$$

$$\theta \approx 20°$$

$|E| \approx 6{,}68 \times 10^3$ N/C
Direcao: ~20° acima do eixo x positivo
(primeiro quadrante, aponta para a direita e ligeiramente para cima).