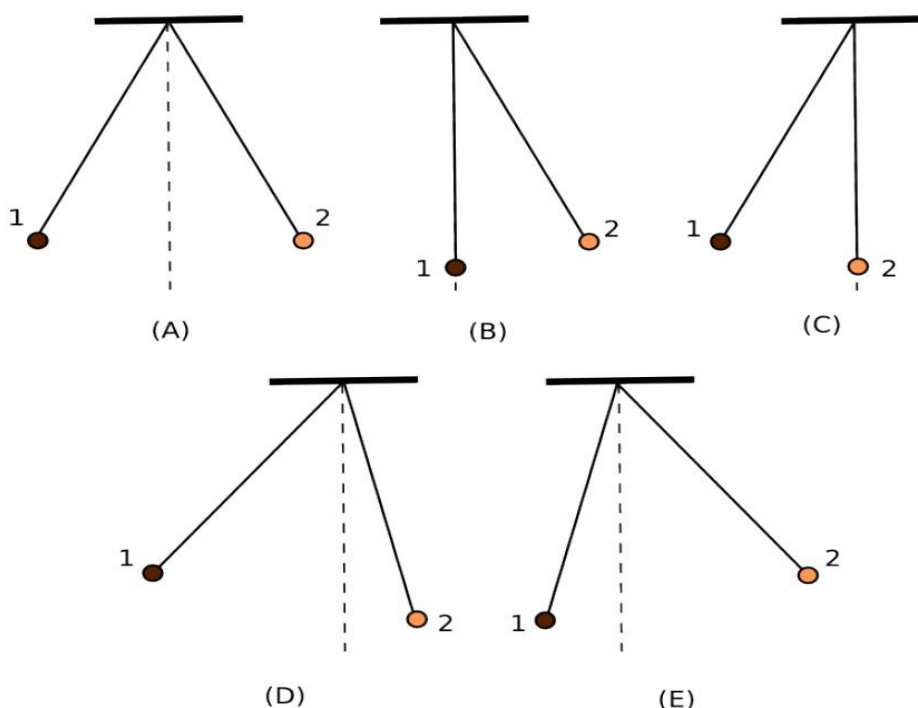


**1ª Questão**

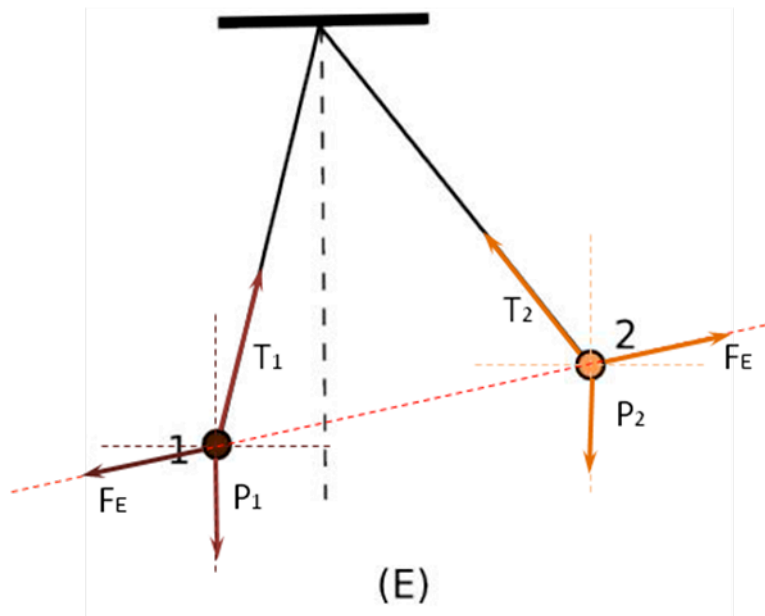
(1,5 pontos) Duas pequenas bolinhas, 1 e 2, de massas  $m_1$  e  $m_2$ , estão carregadas com cargas elétricas  $q_1$  e  $q_2$  respectivamente. Sabe-se que  $m_1$  é um pouco maior que  $m_2$ , enquanto  $q_1$  é menor que  $q_2$ . As duas bolinhas estão penduradas de um mesmo ponto no teto por dois fios iguais e de massas desprezíveis. Qual das configurações a seguir pode representar a posição de equilíbrio das bolinhas? (a linha tracejada tem a direção vertical). Explique a sua conclusão, e faça um diagrama das forças que agem sobre as bolinhas. O que mudaria se  $q_1$  fosse igual a  $q_2$ ?



*Figura 1*

**Solução**

A letra E é a configuração mais adequada para representar a posição de equilíbrio das bolinhas. Como as bolinhas têm massas diferentes, com  $m_1 > m_2$ , o peso da bolinha 1 será maior do que o peso da bolinha 2; mas as cargas são de mesmo sinal, o que causa repulsão das bolinhas. O módulo da força de repulsão que ocorre sobre uma delas é o mesmo que ocorre sobre a outra, já que a força elétrica depende do produto das duas cargas envolvidas (as forças tem sentidos contrários). Então, para as duas ficarem em equilíbrio, o fio que suporta a bolinha 1 se deslocará menos em relação à vertical do que o que suporta a bolinha 2. Portanto, o ângulo formado entre o fio da bolinha 1 e a linha tracejada deverá ser menor, para que a componente vertical seja proporcionalmente maior e para que a componente horizontal esteja em equilíbrio. A figura a seguir ilustra as forças que atuam no sistema.



No caso em que as duas bolinhas possuam cargas iguais, isto não afetará a posição de equilíbrio correspondente às componentes horizontal e vertical, desde que o produto das cargas seja igual a  $q_1 q_2$ .

## 2ª Questão

(1,0 ponto) Duas barras metálicas “A” e “B” possuem a mesma resistividade. A barra “A” tem comprimento  $L_A$  e diâmetro  $D_A$ . A barra “B” tem comprimento  $L_B$  e diâmetro  $D_B$ . Além disso, observa-se que  $L_B = 2L_A$  e  $D_B = 2D_A$ . Determinar a relação entre suas resistividades.

### Solução

A resistência elétrica de um fio condutor (nosso caso as barras metálicas), depende diretamente da resistividade do material e das características geométricas do condutor, ou seja  $R = \rho \frac{L}{A}$ . A resistividade, que é uma característica específica do material, indica se o material é condutor, semicondutor ou isolante elétrico. Os condutores feitos do mesmo material, mas que diferem pelos comprimentos e pelas áreas das seções transversais possuem diferentes resistências ao movimento dos elétrons. Nesse sentido, para cada barra teremos o seguinte:

- Para a barra “A”:  $R_A = \rho_A \frac{L_A}{\frac{\pi D_A^2}{4}}$ .
- Para a barra “B” observamos que  $L_B = 2L_A$ , então a resistência elétrica da barra “B” será maior do que “A”, substituindo teremos:  $R_B = \rho_B \frac{2L_A}{\frac{\pi (2D_A)^2}{4}}$ .
- Relacionando as duas resistências:  $\frac{4\rho_A L_A}{\pi D_A^2} = \frac{2\rho_B L_A}{\pi D_A^2} \Rightarrow \rho_B = 2\rho_A$

Portanto, pode-se concluir que a resistividade da barra “B” é maior (é o dobro) da resistividade da barra “A”. Ou seja, o material de que é feita a barra “A” conduz melhor corrente elétrica do que o material de que é feita a barra “B”.

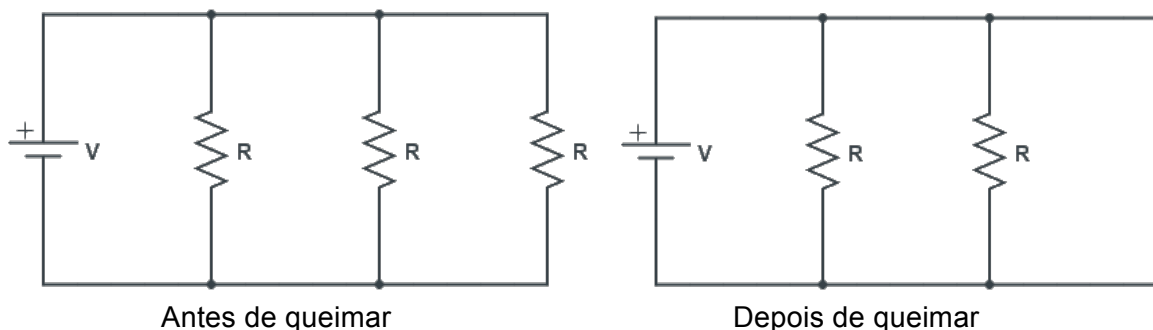
## 3ª Questão

Considere um chuveiro que funciona com corrente contínua, com três resistores idênticos dispostos em paralelo para aquecer a água que passa por ele.

- (1,0 ponto) O que ocorre com a temperatura da água se a vazão for aumentada em 50%?
- (1,0 ponto) Se um dos resistores internos se romper, o que ocorre com a temperatura da água após passar pelo chuveiro, considerando que a vazão permaneça constante? Explique qualitativamente como manter a temperatura da água, neste caso.
- (1,0 ponto) Desenhe o esquema do circuito antes e depois de queimar a resistência e mostre as fórmulas que justificam suas respostas.

### Solução

- A temperatura final da água diminui, pois a potência (energia dissipada por unidade de tempo) fornecida permanece a mesma, mas agora passa mais água em um mesmo intervalo de tempo. Essa energia dividida por uma maior quantidade de água gera um aumento de temperatura menor do que antes. A temperatura final da água depende da temperatura na qual ela estava antes de entrar no chuveiro.
- Visto que os resistores estão em paralelo, se um deles se rompe, a resistência equivalente do circuito aumenta. Efetivamente, se os 3 resistores tem resistência  $R$ , a resistência do conjunto equivalente é  $R/3$  (basta aplicar duas vezes a estratégia de achar resistência equivalente para resistores em paralelo). Com um resistor rompido, tem-se a resistência equivalente  $R/2$  (que é maior que  $R/3$ ). Para resistores em paralelo, a DDP ( $V$ ) é constante. Isso faz com que a maneira mais adequada de identificar o que sucede seja estudar a potência dissipada expressando-a, por exemplo, como  $V^2/R$ , uma vez que  $R$  (resistência) e  $I$  (corrente) mudaram (portanto, usar  $R \cdot I^2$  é mais complexo). Portanto, com menos potência, devido a uma resistência maior, a água esquentará menos. Assim, para manter a mesma temperatura da água será necessário diminuir a vazão de água para que a menor quantidade de calor consiga levá-la à temperatura que era atingida antes.
- As seguintes figuras ilustram o circuito antes e depois de um resistor queimar.



As fórmulas utilizadas são:  $P = V \cdot i$ ;  $V = i \cdot R$ ;  $P = \frac{V^2}{R}$  ;  $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$  ,  
onde  $R_1=R_2=R_3=R$ .

#### 4ª Questão

Uma espira metálica em forma de elipse é movimentada em translação retilínea, da posição A à posição E, em duas situações distintas. Na primeira, o eixo maior da espira, que é o triplo do eixo menor, está alinhado com a direção AE; na segunda o eixo menor é que está alinhado com a direção do movimento. Em ambos os casos a velocidade de translação é a mesma e a espira encontra uma região de campo magnético uniforme, perpendicular ao plano do papel e saindo dele conforme a figura:

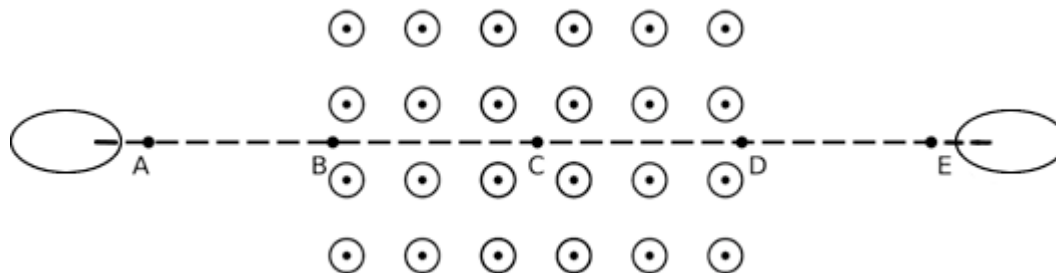


Figura 2

- (a) (0,5 ponto) Em que partes do percurso aparece uma corrente elétrica na espira? Explique.
- (b) (1,0 ponto) Qual é o sentido da corrente nessas partes? Justifique.
- (c) (1,0 ponto) Compare os gráficos de corrente elétrica em função do tempo para as duas translações e explique as eventuais diferenças.

#### Solução

- a) Considerando as duas situações da espira metálica, aparecerá uma corrente elétrica enquanto a espira estiver passando pelos pontos B e D, porque nesses pontos o campo magnético varia (e o fluxo através da espira começa a variar com a exposição gradual da área da espira ao campo magnético). No ponto C existirá um fluxo diferente de zero, mas ele não varia e, portanto, a corrente na espira se mantém. Nos pontos A e E o fluxo é zero e permanece zero, não há variação do fluxo do campo magnético através da área da espira.
- b) No ponto B o fluxo magnético através da espira começa a aumentar; por isto, de acordo com a Lei de Lenz, a corrente induzida é no sentido que gera um fluxo que se opõe à variação. Nesse caso, a corrente induzida tem que gerar um campo que aponta para dentro do papel e para isso a corrente deve ser no sentido horário. No ponto D o fluxo passa a diminuir; então, pelo mesmo argumento, a corrente induzida deve gerar um fluxo que se opõe à variação. Nesse caso a corrente deve ser no sentido anti-horário (como havia a corrente no sentido horário gerada a partir do ponto B, ela vai ser reduzida gradativamente a zero). Esta argumentação é válida nas duas situações da espira metálica.
- c) Para relacionar a corrente elétrica em função do tempo, deve-se considerar o deslocamento da espira nas duas situações seguintes: na primeira, o eixo maior está alinhado com a direção AE (Espira<sub>Horizontal</sub>); na segunda, o eixo menor está alinhado com a direção AE (Espira<sub>Vertical</sub>). À medida que a Espira<sub>Horizontal</sub> se desloca, uma porção da área da espira começará a ser submetida ao campo magnético (no ponto B) e devido ao fluxo por esta porção da área total da espira, começará a aparecer uma corrente induzida pela variação do fluxo magnético ( $\Delta\Phi$ ); a espira segue se movendo e, então, para a espira toda estar submetida ao campo levará um período de tempo  $\Delta t$ , que depende da velocidade e do eixo maior da espira. Quando se considerar o segundo caso, como a velocidade da espira é a mesma, o intervalo de tempo

para toda a espira estar submetida ao campo será menor; isto porque maiores porções da área da Espira<sub>Vertical</sub> passarão pelo ponto B por unidade de tempo. Esta argumentação também é válida no ponto D, quando as espiras começam a sair do campo. No restante dos pontos não existirá variação da corrente na espira, porque não há variação do fluxo magnético através da espira.

Portanto, como em ambos os casos a velocidade de deslocamento é a mesma, a corrente induzida máxima na Espira<sub>Horizontal</sub>, será menor do que na Espira<sub>Vertical</sub>. Isto porque ela demorará mais tempo para ter sua área totalmente submetida ao fluxo do campo do que a Espira<sub>Vertical</sub>. A partir desta comparação podemos afirmar que, para que as espiras, nas duas situações, possuíssem a mesma corrente induzida, seria necessário que a velocidade de deslocamento da Espira<sub>Horizontal</sub> fosse maior do que a velocidade da Espira<sub>Vertical</sub>.

### 5ª Questão

(2,0 pontos) Uma carga elétrica  $q = 10^{-4} \text{ C}$  é lançada com uma velocidade  $v = 5 \times 10^3 \text{ m/s}$  em uma região tridimensional em que o campo magnético é uniforme, e cujo valor é  $B = 8 \times 10^{-6} \text{ T}$ . Determine a força magnética que a carga experimenta.

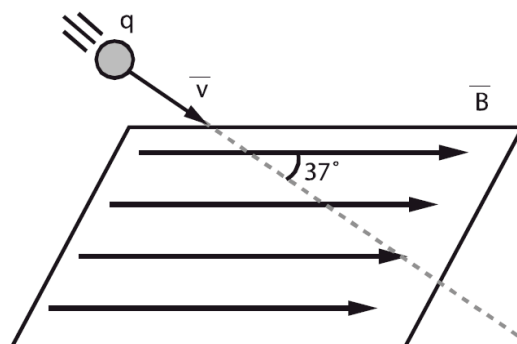


Figura 3

### Solução

A força magnética sobre qualquer partícula com carga  $q$  é dada pela expressão:

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

O resultado do produto vetorial de dois vetores é um vetor com módulo igual ao produto dos módulos dos dois vetores e do seno do ângulo entre os dois vetores. E o sentido pode ser identificado através da “regra da mão direita”. Nesse sentido, na expressão acima  $\vec{v}$  é a velocidade da partícula e  $\vec{B}$  é o campo magnético no ponto onde se encontra a partícula. Se a velocidade for paralela ao campo, a força será nula, e se a velocidade for perpendicular ao campo, o módulo da força será máximo. Porém, de acordo com o enunciado, vemos que a velocidade da carga forma um ângulo de  $37^\circ$  com o campo, então teremos a seguinte expressão:

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin(37) = (10^{-4} \text{ C}) (8 \times 10^{-6} \text{ T}) (5 \times 10^3 \text{ m/s}) \sin(37) = 24 \times 10^{-7} \text{ N}.$$

Finalmente, sob a ação dessa força magnética, a trajetória da partícula carregada será modificada gradualmente e a intensidade (módulo) da força que a carga experimenta na região tridimensional também variará, tendo inicialmente o valor de  $24 \times 10^{-7} \text{ N}$ .