FÍSICA

FRENTE: FÍSICA III

PROFESSOR(A): MARCOS HAROLDO

ASSUNTO: CORRENTE ELÉTRICA

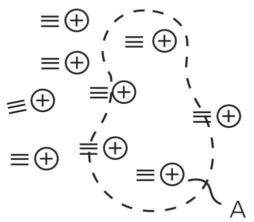
EAD – ITA/IME

AULAS 22 E 23

Introdução

Consideramos uma região do espaço em que exista uma distribuição de cargas em movimento. Seja uma superfície de área A, real ou imaginária, nesta região.

Definimos a corrente elétrica média como sendo a razão entre a carga líquida que atravessa a superfície num determinado sentido, e o intervalo de tempo transcorrido.



Movimento de cargas ordenado

É evidente que, se o movimento de cargas é aleatório, com portadores de carga se movendo em todas as direções, devemos ter uma corrente elétrica média nula, pois a cada portador que atravessa a superfície num sentido, corresponde a outro que a atravessa no sentido contrário. Neste caso:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = 0$$

Porém, se existe um sentido preferencial de movimento dos portadores, o que acontece é bem diferente, pois a contagem dos portadores indica que um número maior deles atravessa a superfície nesse sentido. Isto nos dá uma carga total (líquida) Δq não nula e uma corrente elétrica média dada por:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

Podemos também definir a corrente **elétrica instantânea** na forma:

$$I = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$$

Aqui, **q(t)** e **i(t)** são funções do tempo. A partir da representação gráfica da corrente elétrica, ou seja, da forma de ondas da corrente elétrica, podemos calcular a carga que atravessa a superfície de referência, num intervalo de tempo Δt. Basta calcular a integral (ou seja, a "área" sob o gráfico) da corrente elétrica no tempo:

$$\Delta q = \int_{t_1}^{t_2} i(t)\, dt$$

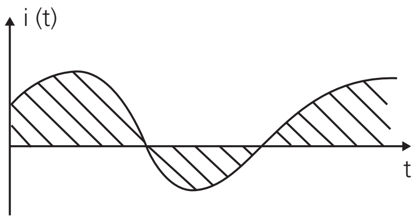
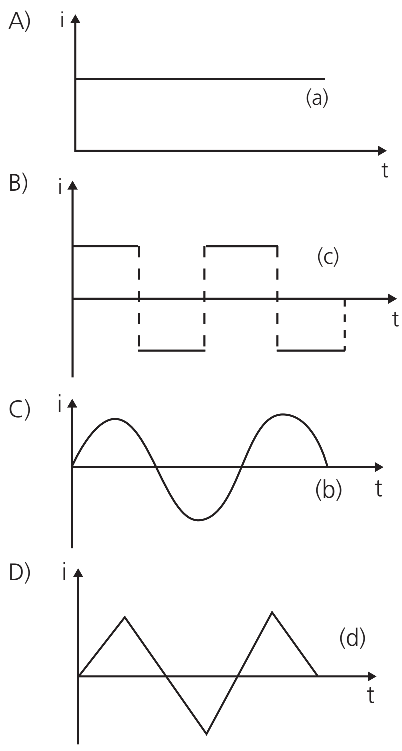


Gráfico de corrente elétrica contra o tempo

Costumamos classificar a corrente elétrica de acordo com a situação a que corresponde o movimento de cargas. Uma corrente elétrica de convecção ocorre quando se verifica a translação de uma nuvem de elétrons (como em tubos catódicos) ou de íons, ou ainda quando observamos as cargas estáticas de um corpo carregado em movimento. Uma corrente elétrica de condução se dá quando os portadores se movem num material estacionário, como num metal; em que os elétrons de valência atravessam uma rede cristalina com íons positivos em posições fixas.

Quanto ao sentido da corrente, costumamos classificá-la como contínua quando o campo elétrico externo possui sempre o mesmo sentido e alternada quando o sentido do campo externo é invertido periodicamente.



Forma de onda de uma corrente contínua (**a**) e corrente alternada em forma de onda harmônica (**b**), quadrada (C) e triangular (D)

Quanto à duração da corrente elétrica ela pode ser classificada como transiente, se for curta duração, como a que surge no processo de redistribuição de cargas num condutor até atingir o equilíbrio eletrostático; ou estacionária se é produzida por uma diferença de potencial mantida por um agente externo (como veremos mais adiante, uma corrente estacionária deve ser produzida por uma fonte ou gerador – de tensão ou corrente).

Unidade de corrente

A unidade de corrente elétrica no SI é o ampère. O ampère é definido originalmente como segue:

"Quando dois condutores retilíneos paralelos, afastados um metro, interagem com uma força por unidade de comprimento de 2×10^{-7} N/m, a corrente elétrica que os atravessa vale um ampère (1 A)."

Esta definição, decorrente do eletromagnetismo equivale exatamente ao fluxo de uma carga de 1C na superfície de referência após 1 s:

$$1\,\text{A} = \frac{1\,\text{C}}{1\,\text{s}}$$

Por vezes usaremos submúltiplos do ampère como miliampère ($1\text{mA} = 10^{-3}$ A) e o microampère ($1\text{mA} = 10^{-6}$ A).

No sistema CGS (ES) a unidade é o statAmpère, tal que: 2997924536,8431 statA, ou seja: $1\text{A} \approx 3{,}0 \cdot 10^{9}$ statA.

O vetor densidade de corrente elétrica

A definição da corrente elétrica como razão entre carga e tempo nos leva a concluir que ela se trata de uma grandeza escalar.

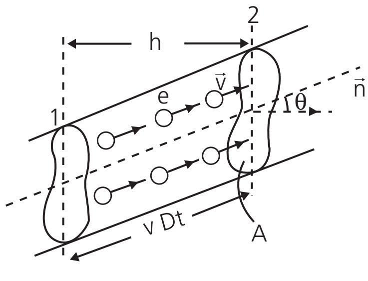
Não obstante, o movimento de cargas deve conter uma informação de direção e sentido, que só pode ser descrito por uma grandeza vetorial.

Tal grandeza é a densidade de corrente $\left(\vec{J}\right)$ cujo caráter vetorial ficará evidente na definição a seguir. Consideremos um meio condutor com uma densidade de portadores (número de portadores por unidade de volume) dada por:

$$\eta = \frac{N}{V}$$

N → números de portadores
V → volume

Suporemos que a carga dos portadores é igual a **e** e que eles se movem pelo condutor com um vetor velocidade média igual a $\vec{v}$. Consideremos uma seção plana de área A, um versor $\vec{\mathbf{n}}$, perpendicular a ela, outra seção, de igual área, paralela e anterior a ela conforme a figura:



Definindo como Δt o tempo necessário para um portador; inicialmente na seção 1 chegar à seção 2, geramos um cilindro, de base A em altura $h = v\,\Delta t \cos\theta = \vec{v} \cdot \vec{n}\,\Delta t$.

O volume deste cilindro é dado por: V = Ah e a carga total de todos eles é: $\Delta q = \eta\ e\ A\vec{v} \cdot \vec{n}\ \ \Delta t$.

Podemos dizer que:

$$I = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} = \eta\ e\ A\vec{v} \cdot \vec{n}$$

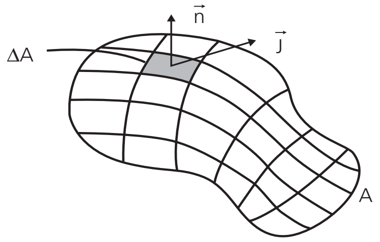
Quando a secção é perpendicular à velocidade, temos:

$$I = \eta A v e$$

Para definirmos o vetor densidade de corrente basta formarmos:

$$\vec{J} = \eta\ e\ \vec{v} \rightarrow I = \eta\ \ e\,\vec{v} \cdot A\,\vec{n}$$

Considerando uma superfície de referência que possa ser dividida em várias pequenas áreas ΔA, temos:



Partição de uma superfície de referência num conjunto de pequenas superfícies ΔA, tais que o vetor $\vec{J}$ seja praticamente constante.

A corrente elétrica total será a soma de todas as correntes elementares que atravessam cada uma das superfícies ΔA_k:

$$I = \sum_k i_k = \sum_k \vec{J} \cdot \vec{n}_k \Delta A_k$$

Transformando-se em integral quando fazemos o limite:

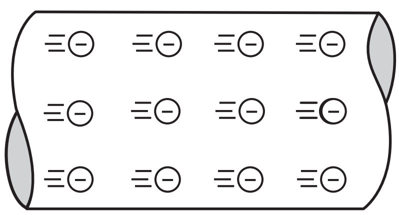
$$I = \int \vec{J} \cdot \vec{n}\ dA$$

A corrente elétrica, portanto, pode ser considerada como o fluxo do vetor $\vec{J}$, ou seja, a integral de superfície da densidade de corrente.

Ou seja, a densidade da corrente é a corrente elétrica por unidade de área. É evidente que a unidade de densidade de corrente no SI é o ampère por metro quadrado (A/m²).

É importante observar que, da expressão $\vec{J} = \eta\ e\vec{v}$, decorre que o sentido da densidade de corrente (e, portanto, o "sentido" atribuído da corrente) só coincide com o sentido do vetor velocidade, no caso em que os portadores de carga são positivos.

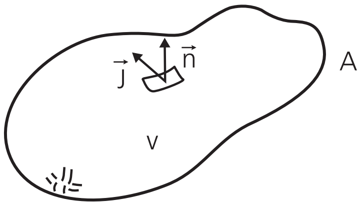
Entretanto, o principal caso que estudaremos será o da condução em metais, que têm como portadores de cargas livres os elétrons, de carga negativa. No caso dos metais o "sentido" da corrente é contrário ao sentido do movimento real de cargas (comumente denomina-se o primeiro sentido convencional e o segundo sentido real da corrente).



→ sentido real da corrente
← sentido convencional da corrente
Amostra de um condutor metálico representando os sentidos real e convencional da corrente elétrica.

Continuidade da corrente elétrica

Consideremos uma superfície fechada A, definindo o volume finito V, numa dada região do espaço:



Superfície fechada ("gaussiana")

Através da superfície sai (o versor aponta para fora da superfície) uma corrente elétrica total:

$$I = \int \vec{J} \cdot \vec{n}\, dA$$

É evidente que a superfície A envolve todas as cargas distribuídas pelo volume **v**. A carga total em questão vale:

$$q = \int_V \rho dV$$

Em que ρ é a densidade volumétrica de cargas. De acordo com o princípio de conservação da carga total deve conservar-se. Seja a carga total denotada por Q, a carga contida no volume **q** e a carga que deixa o volume **q'**, temos:

$Q = q + q' =$ constante

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dq}{dt} + \frac{dq'}{dt}$$

Mas a derivada da carga que deixa o volume V nada mais é do que a corrente que sai através da superfície A, ou seja:

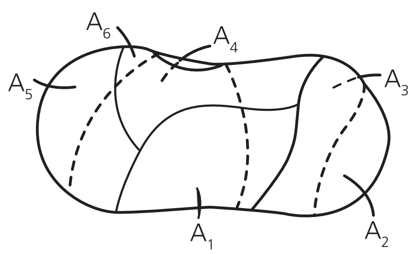
$$\frac{d\int_V \rho dV}{dt} + \int_A \vec{J} \cdot \vec{n}\, dA = 0$$

Esta é a forma integral da equação da continuidade da carga elétrica. Quando a carga contida no volume permanece constante, ou seja, quando não há acúmulo de cargas, esta equação reduz-se simplesmente a:

$$\int_A \vec{J} \cdot \vec{n}\, dA = 0$$

Se dividirmos a superfície fechada A num conjunto de superfícies abertas ΔA_k, e associarmos a cada uma delas uma corrente $\mathbf{i_k}$, podemos chegar ao resultado:

$$I = \sum_k ik = 0$$



Superfície A, submetida à partição em **k** superfície ΔA_k.

Se o volume envolvido pela superfície A for pequeno, de modo a poder tratá-lo como um ponto de conjunção ou ramificação no condutor (o que conheceremos como "nó" do circuito elétrico) podemos chegar à primeira Lei de Kirchoff, que admite os enunciados:

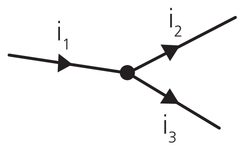
"A soma algébrica das correntes que fluem de um nó é nula".

ou

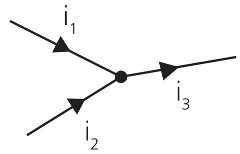
"A soma das correntes que 'entram' em um nó é igual à soma das correntes que 'saem' do mesmo nó".

Ambas correspondem à expressão $\sum_k i_k = 0$, em que as correntes que "saem" são consideradas positivas e as que "entram" são consideradas negativas. A 1ª Lei de Kirchoff aparece exemplificada a seguir:

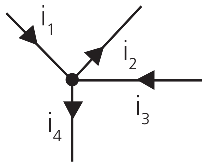
A)



B)

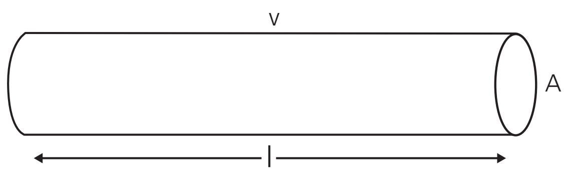


C)



Teoria microscópica da condução

Consideremos um condutor metálico filiforme (em forma de fio), de dimensões L (comprimento) e A (área de seção transversal), sobre o qual se aplica uma ddp de valor **v**:

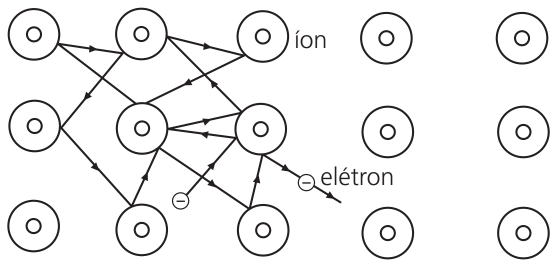


Representação de um condutor filiforme.

A diferença de potencial aplicada faz surgir um campo elétrico que, suposto uniforme e na direção do fio, tem módulo dado por:

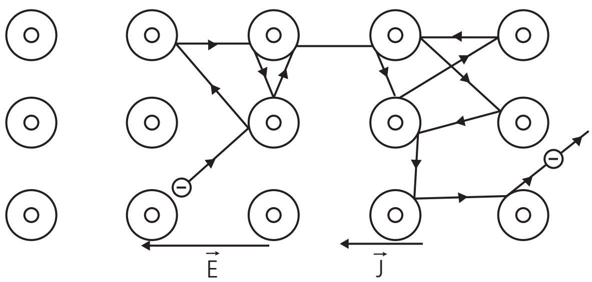
$$E = \frac{V}{L}$$

Como vimos anteriormente, devido à estrutura eletrônica dos metais, que possuem um ou dois elétrons na última camada por átomo, estes elétrons tornam-se "livres" compondo a "banda de condução" do metal. Tais elétrons, enquanto não há campo elétrico no metal, possuem um movimento completamente aleatório. Este movimento é permeado de colisões com os íons de rede cristalina do metal, (na realidade eles são repelidos pelos elétrons de valência que compõem a eletrosfera do íon), conforme a figura abaixo. O resultado é um movimento de cargas inteiramente caótico, correspondendo a uma corrente elétrica média nula.



Trecho de um condutor metálico mostrando 6 comportamentos de um elétron livre quando não há ddp aplicada. O movimento é aleatório e a corrente elétrica média é nula.

Ao se aplicar uma ddp (e, portanto, um campo externo, surge uma força elétrica que tende a acelerar os elétrons na direção oposta. Porém, a característica aleatória do movimento eletrônico não desaparece completamente, e as colisões com os íons da rede cristalina persistem. No resultado final é que aparece uma corrente elétrica média não nula, correspondendo a um vetor densidade de corrente na direção e sentido do campo, ou seja, do maior para o menor potencial. Esta corrente elétrica sofre uma resistência tanto maior quanto maior for o número de colisões dos elétrons como os íons. O fenômeno é ilustrado na figura a seguir:



Trecho de um condutor metálico, mostrando o comportamento de um elétron livre quando há ddp aplicada. O movimento não deixa de ser caótico, mas há uma corrente elétrica média não nula no sentido do campo elétrico.

É evidente que as colisões sofridas pelo elétron têm, sobre ele, o efeito de uma força de retardamento. A suposição mais simples que se pode fazer acerca do comportamento médio desta força é do tipo:

$$\vec{f} = -b\vec{v}$$

Isto é bastante razoável, na medida em que se trata de uma força de oposição ao movimento eletrônico e que o número de choques, e, portanto, a força média, deve ser proporcional à velocidade com que o elétron se desloca no meio.

O comportamento dessa força média é equivalente ao de uma "força viscosa" exercida por um fluido sobre um corpo que nele se desloca. Assim como a resistência do ar, o atrito, e outras, esta força é claramente dissipativa. (Basta verificar que a integral de linha desta força, ou seja, o trabalho por ela realizado, é sempre negativo). Como o efeito mais imediato da ação de uma força dissipativa é a transformação de energia mecânica em energia interna (térmica), a condução de corrente elétrica num condutor deve-se dar às custas do aquecimento do meio, da mesma forma que duas superfícies se aquecem ao serem atritadas ou que um corpo se aquece ao se mover na atmosfera terrestre. A dissipação de energia por um meio condutor ao conduzir uma corrente elétrica denomina-se efeito Joule e será estudado em maiores detalhes na seção VIII.

Podemos mostrar que, ao estabelecermos uma ddp no condutor da Figura, os elétrons são acelerados até atingirem uma velocidade média limite, que corresponde à corrente estacionária. Neste caso, a força de resistência equilibra a força elétrica, conforme o esquema a seguir:

Elétron submetido à ação da força elétrica e de força de resistência.

$$bv = eE \rightarrow v = \frac{eV}{bL}$$

Considerando que há η elétrons por unidade de volume no condutor, a densidade de corrente é dada por:

$$J = \eta\ e\ v$$

Logo:

$$I = \frac{N\ e^2\ A}{bL}\ V$$

A corrente elétrica que surge no condutor é, portanto, proporcional à ddp que lhe é aplicada. O fator de proporcionalidade é dito condutância (G)[1], tal que:

$$I = GV \Rightarrow G = \frac{N\ e^2\ A}{bL}$$

A equação que relaciona corrente e ddp pode ser invertida, resultando:

$$V = \frac{b\ L}{N\ e^2\ A} I$$

O fator de proporcionalidade é identificado como a resistência do condutor (R), tal que:

$$R = \frac{bL}{N\ e^2\ A}$$

Dessa forma, escrevemos que:

$$\boxed{V = RI}$$

A equação destacada é dita 1ª Lei de Ohm, proposta inicialmente de um ponto de vista empírico.

Percebemos que tanto a condutância como a resistência, contêm, nas suas expressões, parâmetros que dependem do tipo de material condutor em questão (**b** e N) e medidas das dimensões do condutor (L e A). É conveniente agruparmos a dependência do material em duas novas grandezas: a condutividade **(**σ**)** e a resistividade **(**ρ**)**, tais que:

$$\boxed{\sigma = \frac{1}{\rho}}$$

Em que $\rho = \dfrac{b}{Ne^2}$

Assim, podemos obter a seguinte relação:

$$\boxed{R = \rho\frac{L}{A}}$$

A equação destacada é a 2ª Lei de Ohm que estabelece a dependência da resistência de um condutor filiforme em função do material de que é constituído e de suas dimensões.

Agora que você está entrosado com essas grandezas, é fácil mostrar que:

$$\boxed{\vec{J} = \sigma\vec{E}}$$

Unidade de resistência

A unidade de resistência elétrica no Sistema Internacional é o Ohm **(Ω)**, dado por:

$$V = RI$$

$$1\ \text{Ohm} = \frac{1\ \text{volt}}{1\ \text{ampère}}$$

Ou seja, o Ohm é a resistência de um elemento passivo de circuito tal que uma diferença de potencial constante é igual a um volt, aplicada em seus terminais, faça circular nele uma corrente elétrica invariável, igual a um ampère.

É fácil deduzir que, no SI, a unidade de resistividade é tal que:

$$\rho = R\,\frac{A}{\ell} \Rightarrow \text{unid.}\,(\rho) = \text{unid.}\,(R) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\text{unid}\,(A)}{\text{unid}\,(\ell)} \Rightarrow \text{unid.}\,(\rho) = \Omega\ .\ m$$

A unidade de condutância no SI, evidentemente ao inverso do Ohm, é o sistema **(S)**, tal que:

$$1S = 1\Omega^{-1}$$

A condutividade é medida em siemens por metro, como verificamos facilmente:

$$\sigma = G\,\frac{\ell}{A} \Rightarrow \text{unid.}\,(\sigma) = \text{unid.}\,(G)\,\frac{\text{unid.}\,(\ell)}{\text{unid.}\,(A)} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{unid.}\,(\sigma) = S/m$$

A seguir, apresentamos alguns valores de condutividade para materiais condutores e dielétricos:

Material	Condutividade (S/m)
Cobre	$5{,}8 \times 10^{7}$
Ferro	$1{,}0 \times 10^{7}$
Água do Mar	$5{,}0 \times 10^{0}$
Areia	$2{,}0 \times 10^{-3}$
Quartzo	$8{,}3 \times 10^{-13}$

Comparação entre valores de condutividade elétrica.

O efeito da temperatura na resistência

As variações de temperatura provocam, em geral, modificações nas características de condução dos materiais.

Consideremos inicialmente o caso dos metais. Ao se elevar a temperatura de um metal, aumenta a amplitude de oscilação dos íons da rede cristalina. Isto faz com que os choques dos elétrons de condução com os íons se tornem mais frequentes. A consequência imediata é que a condução de corrente elétrica se torna mais penosa. A condutividade do metal se reduz e a resistividade aumenta com o aumento da temperatura.

Nos semicondutores, o efeito é completamente oposto. Como sabemos, a elevação da temperatura faz crescer o número de portadores, com a promoção de elétrons à banda de condução. A condutividade cresce e a resistividade diminui ao aumentarmos a temperatura.

As soluções eletrolíticas também conduzem mais facilmente quando a temperatura cresce. Como sabemos, temos uma corrente de convecção, e não de condução. Não existe o confronto com átomos praticamente fixos, como nas correntes de condução. O efeito preponderante é o aumento da velocidade com que se deslocam os portadores.

Outros exemplos importantes são o de grafite, cuja resistividade cai com o aumento da temperatura e ligas metálicas como a manganina e a constantan, cujas resistividades são praticamente constantes com a temperatura.

A dependência da resistência de um condutor em função da temperatura pode ser representada pela expansão em série abaixo:

$$R = R_0\left[1 + \alpha\Delta t + \ldots\right]$$

Como a variação da resistência com a temperatura é pequena, o que se faz comumente é considerar a aproximação linear:

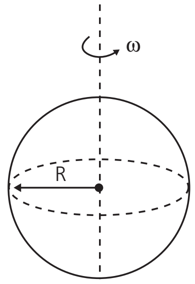
$$R = R_0\,(1 + \alpha\Delta T)$$

A seguir apresentamos a resistividade de vários materiais a 20 °C e o coeficiente α. Como se espera, α é positivo para metais e negativo para semicondutores, soluções e a grafite.

	MATERIAL	RESISTIVIDADE A 70 °c	COEFICIENTE DE TEMPERATURA (°C)
Metais	Prata	$1{,}59 \times 10^{-8}$	0,0041
	Cobre	$1{,}67 \times 10^{-8}$	0,0068
	Ouro	$2{,}35 \times 10^{-8}$	0,0040
	Alumínio	$2{,}65 \times 10^{-8}$	0,0043
	Tungstênio	$5{,}51 \times 10^{-8}$	0,0045
	Níquel	$6{,}84 \times 10^{-8}$	0,0069
	Ferro	$9{,}71 \times 10^{-8}$	0,0065
	Platina	$1{,}10 \times 10^{-7}$	0,0039
	Chumbo	$2{,}10 \times 10^{-7}$	0,0042
	Mercúrio	$9{,}58 \times 10^{-7}$	0,0009
Ligas Metálicas	Latão	$8{,}00 \times 10^{-8}$	0,0015
	Niquelina	$4{,}20 \times 10^{-7}$	0,0002
	Manganina	$4{,}20 \times 10^{-7}$	0,0000
	Constantan	$4{,}90 \times 10^{-7}$	0,0000
	Nicromo	$1{,}00 \times 10^{-6}$	0,0004
Semicondutores	Germânio (puro)	0,46	– 0,0480
	Germânio (+ As a 5×10^{-6} %)	0,011	---
Outros Condutores	Grafite	$1{,}40 \times 10^{-5}$	– 0,0007
	Solução (saturada) de NaII	0,044	– 0,0050
Dielétricos	Iodo	$1{,}30 \times 10^{7}$	----
	Madeira	$108 – 10^{11}$	----
	Vidro	$1010 – 10^{14}$	----
	Quartzo	$1{,}30 \times 10^{13}$	----
	Óxido de alumínio	$1{,}0 \times 10^{14}$	----
	Enxofre	$2{,}0 \times 10^{15}$	----

Exercícios

01. Uma esfera de raio R condutora tem carga **q** e gira em torno de um fio isolante com velocidade angular ω. Determine a corrente média representada por esta carga em rotação.



A) $\frac{\omega q}{2\pi}$
B) $\frac{2\omega q}{\pi}$
C) $\frac{3\omega q}{\pi}$
D) $\frac{\omega q}{\pi}$
E) n.r.a.

02. Um condutor é atravessado por uma corrente cuja intensidade varia com o tempo, segundo a lei:
$i = 12 + 2t$ (SL)
Determine:
A) a carga elétrica que passa por uma seção reta do condutor nos 10 primeiros segundos.
B) a corrente elétrica média nesse intervalo de tempo.

03. Uma haste muito longa é carregada com uma densidade linear de carga λ e se move com velocidade **v** na direção do seu eixo. Prove que a corrente elétrica estabelecida é dada por $i = \lambda v$.

04. Ao acionar um interruptor de uma lâmpada elétrica, esta se acende quase instantaneamente, embora possa estar a centenas de metros de distância. Isto vem provar que:
A) a velocidade dos elétrons na corrente elétrica é igual à velocidade da luz.
B) os elétrons se põem em movimento quase imediatamente em todo circuito embora sua velocidade seja relativamente baixa.
C) a velocidade dos elétrons na corrente elétrica é muito elevada.
D) não é necessário que os elétrons se movimentem, para que a lâmpada acenda.

05. Duas lâmpadas incandescentes têm filamento de mesmo comprimento, feitos do mesmo material. Uma delas obedece às especificações 220 V, 100 W e a outra 220 V, 50 W. A razão m_{50}/m_{100} da massa do filamento da segunda para a massa do filamento da primeira é:
A) 1,5
B) 2
C) $\sqrt{2}$
D) $\frac{\sqrt{2}}{2}$
E) 0,5

06. Um resistor ôhmico tem uma resistência constante e igual a 100 Ω. Aplica-se em seus terminais uma ddp variável com o tempo, segundo a lei $V = 2t$ (SI). Determine:
A) a carga que atravessa o condutor entre os instantes **zero** e **t**.
B) a potência dissipada no resistor em função do tempo.
C) a energia dissipada no primeiro minuto de funcionamento do circuito.

07. Um cilindro isolante de seção transversal de raio a = 1,0 cm carregado uniformemente em sua superfície, move-se ao longo do seu eixo com uma velocidade constante v = 10 m/s. A intensidade do campo elétrico diretamente sobre a superfície do cilindro, E = 0,9 kV/cm. Quanto vale a corrente de convecção surgida por translação mecânica de carga?

08. Prove que um condutor percorrido por uma corrente elétrica produz na sua vizinhança, um campo elétrico, cuja componente é igual ao campo no seu interior.

09. A densidade de corrente elétrica, num condutor de seção circular de raio R varia de acordo com $J = J_0 r$, em que J_0 é uma constante. Calcule a corrente total que passa pelo condutor.

10. Uma corrente de 10A passa através de um fio cuja seção é $1\,mm^2$. Sendo a densidade eletrônica do fio $10^{27} m^{-3}$, determine a velocidade média dos elétrons.

11. Um cilindro oco de comprimento L tem seus raios iguais a R_1 e R_2. Aplicando-se uma d.d.p. entre as suas extremidades, flui uma corrente I paralelamente ao eixo do cilindro. Mostre que, se σ é a condutividade do material, a resistência é $\frac{L}{\pi\sigma\left(R_2^2 - R_1^2\right)}$.

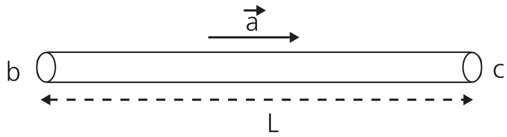
12. Duas pequenas esferas metálicas de raio **a** estão bastante afastadas a uma distância **d** e imersas profundamente no mar de condutividade σ. Aplica-se a elas uma tensão V. Determine a densidade de corrente a meia distância entre elas.
A) $J = \frac{4V\sigma a}{d^2}$
B) $J = \frac{2V\sigma a}{d^2}$
C) $J = \frac{4}{3}\frac{V\sigma a}{d^2}$
D) $J = \frac{2}{3}\frac{V\sigma a}{d^2}$
E) n.r.a.

13. Um feixe de elétrons move-se ao longo de uma órbita circular de raio R com velocidade de módulo V em um acelerador. A corrente média correspondente para esse movimento é I. Determine o número de elétrons N do feixe.
Seja **e** a carga elementar.
A) $\frac{2\pi RI}{3Ve}$
B) $\frac{\pi RI}{Ve}$
C) $\frac{3\pi RI}{Ve}$
D) $\frac{2\pi RI}{Ve}$
E) $\frac{4\pi RI}{Ve}$

14. Se a velocidade de migração dos elétrons livres em um fio de cobre é $8 \cdot 10^{-4}$ m/s, determine o módulo do campo elétrico no condutor.
Dados:
Carga elementar: $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C
Número de elétrons por metros cúbicos no cobre:
$8{,}5 \cdot 10^{28}$

Resistividade do cobre: $1{,}7 \cdot 10^{-8}\ \Omega$ cm.
A) $4 \cdot 10^{-3}$ N/C
B) $4{,}8 \cdot 10^{-3}$ N/C
C) $1{,}8 \cdot 10^{-3}$ N/C
D) $4{,}2 \cdot 10^{-3}$ N/C
E) $2{,}4 \cdot 10^{-3}$ N/C

15. A experiência de Tollamam-Stewart (1916) demonstrou que as cargas livres de um metal são negativas e fornecem um método quantitativo para a determinação da razão $\frac{|q|}{m}$ entre módulo da carga e a massa do portador de carga. A experiência consiste em interromper repentinamente a rotação de um carretel com um fio enrolado e medir a diferença de potencial entre suas extremidades. Em um modelo simplificado dessa experiência, considere uma barra metálica de comprimento L que se desloca com aceleração $\vec{a}$ da esquerda para a direita. Inicialmente, as cargas se deslocam para a parte esquerda da barra produzindo um campo elétrico $\vec{E}$ ao longo da barra. No estado estacionário, esse campo exerce uma força sobre as cargas livres acelerando-as através da barra.



A) Determine $\frac{|q|}{m}$ em termos de $\vec{E}$ e da aceleração $\vec{a}$.
Supondo que todas as cargas livres da barra metálica possuam a mesma aceleração, o campo elétrico é o mesmo em todos os pontos da barra. Calcule a diferença de potencial V_{bc} entre as extremidades da barra.

Gabarito

01	02	03	04	05
A	*	–	B	E
06	**07**	**08**	**09**	**10**
*	*	–	*	*
11	**12**	**13**	**14**	**15**
–	A	D	C	*

***02.** A) 220 C
B) 22 A

03. Demonstração

***06.** A) $\frac{t^2}{100}$ B) $\frac{t^2}{25}$ C) 2.880 J

***07.** 0,5μA

08. Demonstração

09. $\frac{2\pi J_o R^3}{3}$

10. $6{,}25 \times 10^{-2}$ m/s

11. Demonstração

***15.** A) $\frac{a}{E}$ B) EL

SUPERVISOR/DIRETOR: MARCELO PENA – AUTOR: Marcos Haroldo
DIG.: Cl@udi@ – REV.: Amélia