

Halliday & Resnick
Fundamentos de Física
Eletromagnetismo
Volume 3



LTC
EDITORA



www.grupogen.com.br
<http://gen-io.grupogen.com.br>



Conteúdos editoriais



ROCA

LTC

atlas



O **GEN | Grupo Editorial Nacional** reúne as editoras Guanabara Koogan, Santos, Roca, AC Farmacêutica, LTC, Forense, Método, EPU, Atlas e Forense Universitária



O **GEN-IO | GEN – Informação Online** é o repositório de material suplementar dos livros dessas editoras

www.grupogen.com.br

<http://gen-io.grupogen.com.br>



Capítulo 26

Corrente e Resistência



26-1 Corrente Elétrica



Objetivos do Aprendizado

26.01 Usar a definição de corrente elétrica como a carga que passa por um ponto por unidade de tempo para calcular a quantidade de carga que passa por um ponto em um dado intervalo de tempo.

26.02 Saber que a corrente elétrica em geral se deve a elétrons de condução colocados em movimento por campos elétricos (como, por exemplo, os que são produzidos em um fio por uma bateria).

26.03 Saber o que é um nó de um circuito e que, de acordo com a lei de conservação da carga, a corrente total que entra em um nó é igual à corrente total que sai do nó.

26.04 Saber o que significam as setas nos desenhos esquemáticos do circuito e saber que, mesmo que seja representada com uma seta, a corrente elétrica não é um vetor.



Como mostra a figura (a), em um circuito fechado feito de um material condutor, tenha ou não um excesso de carga, todos os pontos estão ao mesmo potencial; não pode existir um campo elétrico no interior do material.

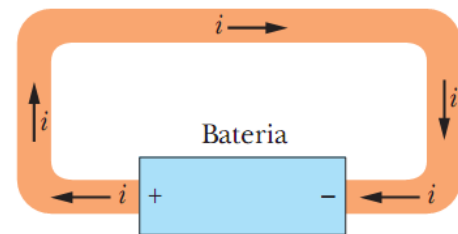
Quando uma bateria é introduzida no circuito, como na figura (b), os pontos do material deixam de estar ao mesmo potencial, e são criados campos elétricos que exercem forças sobre os elétrons livres, fazendo com que se movam e estabelecendo uma **corrente elétrica**. (A figura foi desenhada supondo que cargas positivas se movem no sentido horário.)

A figura (c) mostra uma seção reta de um condutor percorrido por uma corrente elétrica. Se uma carga dq passa por um plano imaginário como aa') em um intervalo de tempo dt , a corrente i que atravessa esse plano é definida pela equação

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (\text{definição de corrente})$$

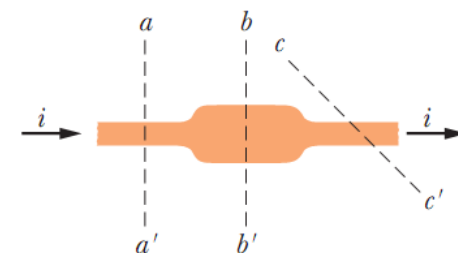


(a)



(b)

A corrente é a mesma em qualquer seção reta.



(c)

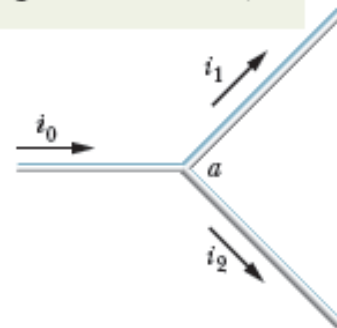


A figura (a) mostra um condutor percorrido por uma corrente i_0 que se divide em duas ao chegar a uma bifurcação. Como a carga é conservada, a soma das correntes nos dois ramos é igual à corrente inicial:

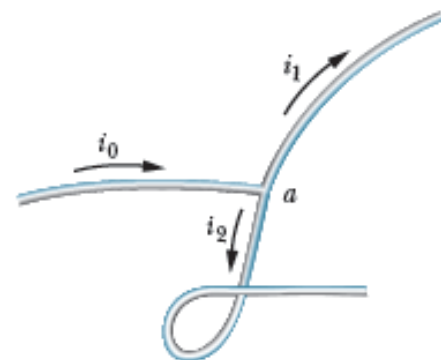
$$i_0 = i_1 + i_2$$

Como mostra a figura (b), a equação acima continua a ser válida, mesmo que os fios sejam retorcidos. No caso da corrente, as setas indicam apenas o sentido em que as cargas estão se movendo em um condutor e não uma

A corrente que entra no nó é igual à corrente que sai do nó (a carga é conservada).



(a)



(b)

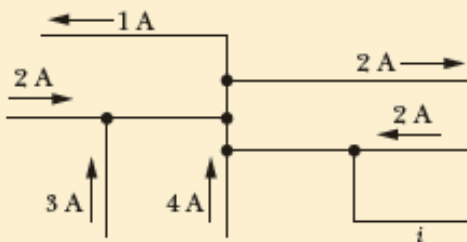


A seta da corrente é desenhada no sentido em que portadores de carga positivos se moveriam, mesmo que os portadores sejam negativos e se movam no sentido oposto.



Teste 1

A figura mostra parte de um circuito. Quais são o valor absoluto e o sentido da corrente i no fio da extremidade inferior direita?



Resposta: 8A;
para a direita



26-2 Densidade de Corrente



Objetivos do Aprendizado

26.05 Saber o que é o vetor densidade de corrente.

26.06 Saber o que é o vetor elemento de área de um fio.

26.07 Calcular a corrente em um fio integrando o produto escalar do vetor densidade de corrente pelo vetor elemento de área para toda a seção reta do fio.

26.08 Conhecer a relação entre corrente i , o módulo da densidade de corrente J e a área A no caso em que a corrente é uniforme ao longo da seção reta de um fio.

26.09 Saber o que são linhas de corrente.

26.10 Explicar o movimento dos elétrons de condução em termos da velocidade de deriva.



26.11 Saber a diferença entre velocidade de deriva e velocidade térmica dos elétrons de condução.

26.12 Saber o que é a densidade de portadores.

26.13 Conhecer a relação entre a densidade de corrente J , a densidade de portadores n e a velocidade de deriva v_d .

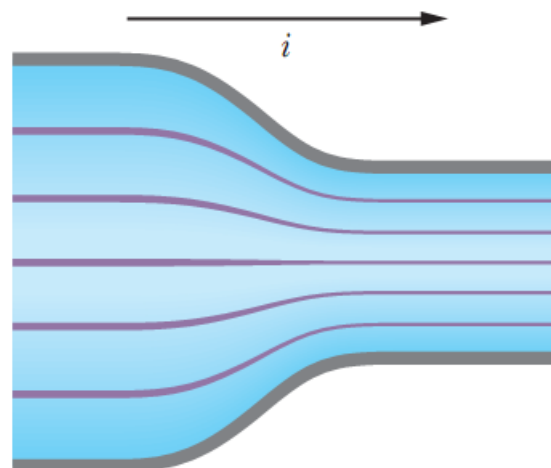


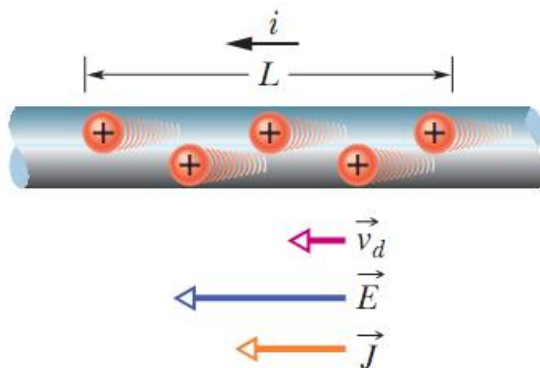
A corrente i (uma grandeza escalar) está relacionada à **densidade de corrente \mathbf{J}** (uma grandeza vetorial) pela equação

$$i = \int \vec{J} \cdot d\vec{A}$$

em que $d\vec{A}$ é um vetor perpendicular a um elemento de superfície de área dA e a integral é calculada para qualquer plano que intercepte totalmente o condutor. A densidade de corrente \mathbf{J} tem a mesma direção que a velocidade das cargas se as cargas forem positivas e a direção oposta se as cargas forem negativas.

A densidade de corrente pode ser representada por linhas de corrente cujo espaçamento é inversamente proporcional à densidade de corrente.





Os elétrons estão se movendo para a direita, mas o sentido convencional da corrente i é para a esquerda.

Por convenção, dizemos que a corrente é produzida por cargas positivas sob a ação de um campo elétrico. Na figura, cargas positivas se movem para a esquerda, com velocidade de deriva v_d , no mesmo sentido que o campo elétrico \vec{E} . Também por convenção, a densidade de corrente \vec{J} e a corrente i têm o mesmo sentido que v_d .

A velocidade de deriva e a densidade de corrente estão relacionadas pela equação

$$\vec{J} = (ne)\vec{v}_d$$

em que o produto ne , cuja unidade do SI é o coulomb por metro cúbico (C/m^3), é a **densidade de portadores**.



26-3 Resistência e Resistividade



Objetivos do Aprendizado

26.14 Conhecer a relação entre a diferença de potencial V aplicada entre dois pontos de um objeto, a resistência R do objeto e a corrente i que atravessa o objeto.

26.15 Saber o que é um resistor.

26.16 Conhecer a relação entre o módulo E do campo elétrico em um ponto de um material, a resistividade ρ do material e o módulo J da densidade de corrente nesse ponto.

26.17 No caso de um campo elétrico uniforme em um fio, conhecer a relação entre o módulo E do campo elétrico, a diferença de potencial V entre as extremidades do fio e o comprimento L do fio.

26.18 Conhecer a relação entre a resistividade ρ e a condutividade σ .

26.19 Conhecer a relação entre a resistência R , a resistividade ρ , o comprimento L e a área A da seção reta do objeto.



26.20 Conhecer a equação que expressa, de forma aproximada, a variação da resistividade ρ de um metal com a temperatura T .

26.21 Desenhar um gráfico da resistividade ρ de um metal em função da temperatura T .



Quando aplicamos a mesma diferença de potencial às extremidades de barras de mesmas dimensões feitas de cobre e de vidro, os resultados são muito diferentes. A característica do material que determina a diferença é a **resistência elétrica**. A resistência R de um condutor é dada por

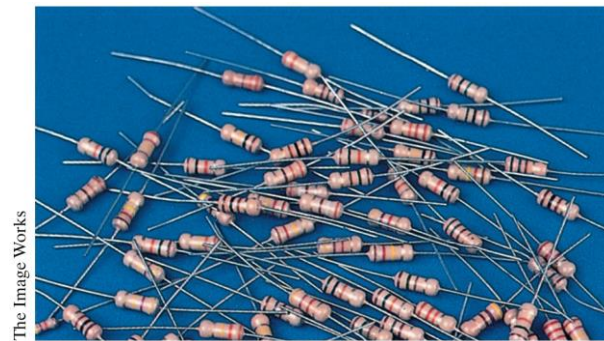
$$R = \frac{V}{i} \quad (\text{definição de } R)$$

em que V é a diferença de potencial entre as extremidades do condutor e i é a corrente que atravessa o condutor. Em vez da resistência R de um objeto, podemos trabalhar com a **resistividade** ρ do material:

$$\rho = \frac{E}{J} \quad (\text{definição de } \rho)$$

O inverso da resistividade é a **condutividade** σ do material:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (\text{definição de } \sigma)$$



Resistores Variados



A resistência é uma propriedade de um componente; a resistividade é uma propriedade de um material.

A resistência R de um fio condutor de comprimento L e seção reta uniforme é

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

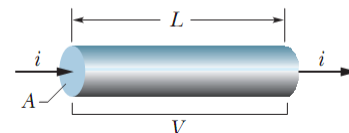
em que A é a área da seção reta.

A resistividade ρ da maioria dos materiais varia com a temperatura. Em muitos materiais, incluindo os metais, a relação entre ρ e a temperatura T é dada aproximadamente pela equação

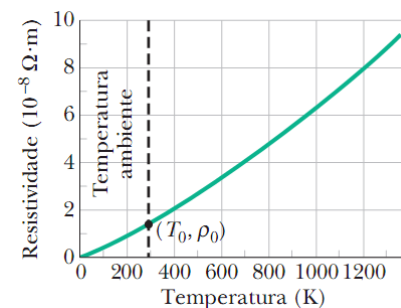
$$\rho - \rho_0 = \rho_0 \alpha (T - T_0)$$

em que T_0 é uma temperatura de referência, ρ_0 é a resistividade na temperatura T_0 e α é o coeficiente de temperatura da resistência do material.

A corrente está relacionada à diferença de potencial.



Uma diferença de potencial V aplicada às extremidades de um fio de comprimento L e seção reta A estabelece uma corrente i .



A resistividade do cobre em função da temperatura.



26-4 A Lei de Ohm



Objetivos do Aprendizado

26.22 Saber a diferença entre um *componente* que obedece à lei de Ohm e um componente que não obedece à lei de Ohm.

26.23 Saber a diferença entre um *material* que obedece à lei de Ohm e um material que não obedece à lei de Ohm.

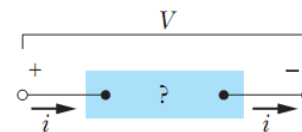
26.24 Descrever o movimento de um elétron de condução sob o efeito de um campo elétrico.

26.25 Conhecer a relação entre o livre caminho médio, a velocidade térmica e a velocidade de deriva dos elétrons de condução.

26.26 Conhecer a relação entre a resistividade ρ , a concentração de elétrons de condução n e o livre caminho médio τ dos elétrons.

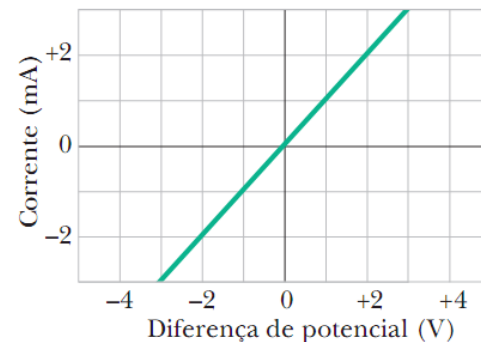


A figura (a) mostra como as propriedades elétricas dos componentes podem ser investigadas. Uma diferença de potencial V é aplicada aos terminais do componente e a corrente resultante i é medida em função de V .



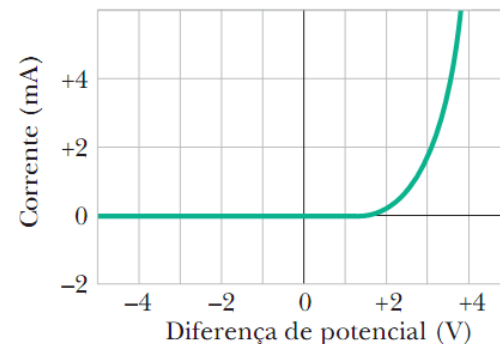
(a)

A figura (b) mostra o gráfico de i em função de V para um componente. Como o gráfico é uma linha reta que passa pela origem, a razão i/V (que corresponde à inclinação da reta) é a mesma para qualquer valor de V . Isso significa que a resistência $R = V/i$ do componente não depende do valor absoluto e da polaridade da diferença de potencial aplicada V .



(b)

A figura (c) mostra o gráfico de i em função de V para outro componente. Nesse caso, só existe corrente quando a polaridade de V é positiva e a diferença de potencial aplicada é maior que 1,5 V. Além disso, no trecho do gráfico em que existe corrente, a razão entre i e V não é constante, mas depende do valor da diferença de potencial aplicada V .



(c)



Um componente obedece à **lei de Ohm** se a corrente que o atravessa varia linearmente com a diferença de potencial aplicada ao componente para *qualquer valor* da diferença de potencial.

$$i \sim V \quad \text{ou} \quad i = V/R$$



Um componente obedece à lei de Ohm se, dentro de certos limites, a resistência do componente não depende do valor absoluto nem da polaridade da diferença de potencial aplicada.



Um material obedece à lei de Ohm se a resistividade do material, dentro de certos limites, não depende do módulo nem do sentido do campo elétrico aplicado.

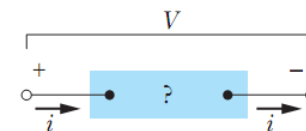


Teste 4

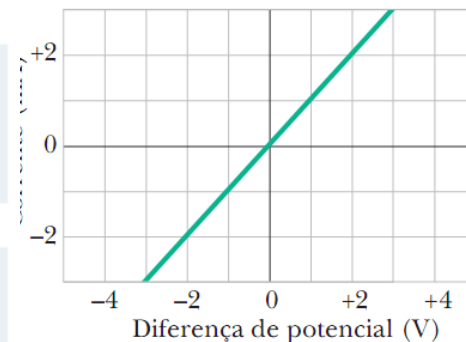
A tabela mostra a corrente i (em ampères) em dois componentes para vários valores da diferença de potencial V (em volts). Determine, a partir desses dados, qual é o componente que não obedece à lei de Ohm.

Dispositivo 1		Dispositivo 2	
V	i	V	i
2,00	4,50	2,00	1,50
3,00	6,75	3,00	2,20
4,00	9,00	4,00	2,80

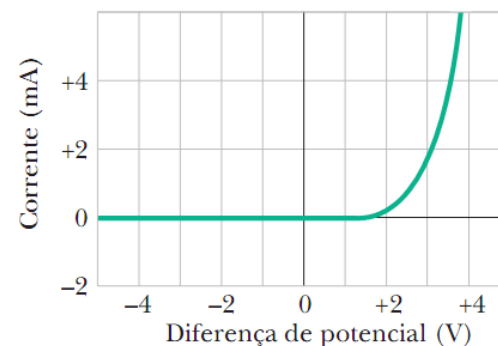
Resposta: O dispositivo 2.



(a)



(b)



(c)

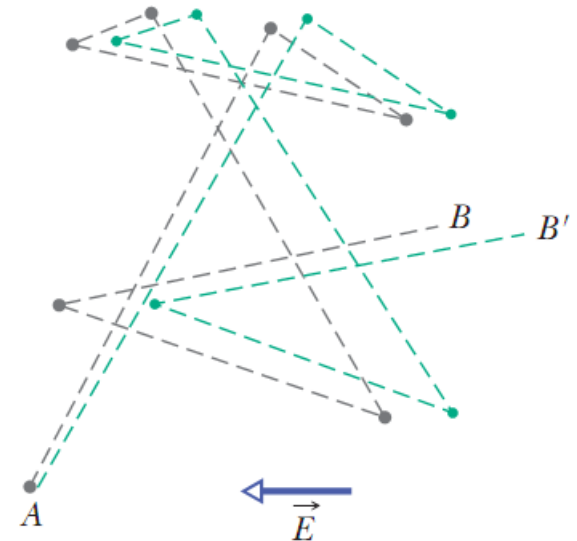
Uma Visão Microscópica

A hipótese de que os elétrons de condução de um metal são tão livres quanto as moléculas de um gás leva a uma expressão para a resistividade da forma

$$\rho = \frac{m}{e^2 n \tau}$$

em que n é o número de elétrons de condução por unidade de volume e τ é o tempo livre médio entre colisões de um elétron com os átomos do metal.

A resistividade dos metais obedece à lei de Ohm porque o tempo livre médio τ quase não varia com o módulo E do campo elétrico aplicado ao metal.



As retas cinzentas mostram um possível caminho aleatório de um elétron de A a B na ausência de um campo elétrico aplicado, sofrendo seis colisões no percurso; as retas verdes mostram qual poderia ser o mesmo caminho na presença de um campo elétrico. Observe o deslocamento para a direita do ponto final da trajetória, no sentido contrário ao do campo elétrico.



26-5 Potência, Semicondutores e Supercondutores



Objetivos do Aprendizado

26.27 Saber por que os elétrons perdem energia ao atravessarem um componente resistivo de um circuito.

26.28 Saber que potência é a taxa de transferência de energia.

26.29 Conhecer a relação entre a potência P , a corrente i , a tensão V e a resistência R de um componente resistivo.

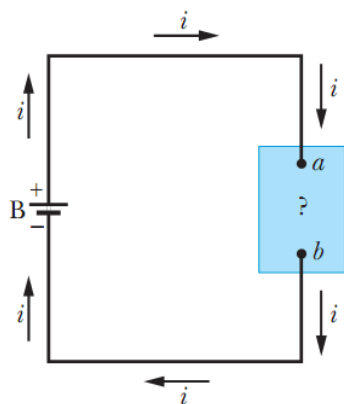
26.30 Conhecer a relação entre a potência P , a corrente i e a diferença de potencial V de uma bateria.

26.31 Aplicar a lei de conservação da energia a um circuito com uma bateria e um componente resistivo para calcular as transferências de energia em um circuito.

26.32 Saber a diferença entre condutores, semicondutores e supercondutores.



A bateria fornece energia para os elétrons de condução, cujo movimento constitui a corrente.



A figura mostra um circuito formado por uma bateria B ligada por fios, de resistência desprezível, a um componente desconhecido. O componente pode ser um resistor, uma bateria recarregável, um motor, ou outro dispositivo elétrico qualquer. A bateria mantém uma diferença de potencial V entre seus terminais e, portanto (já que estamos desprezando a resistência dos fios), entre os terminais do componente desconhecido, com um potencial maior no terminal a do que no terminal b .

A potência P fornecida a um componente submetido a uma diferença de potencial V e no qual circula uma corrente i é dada por

$$P = iV$$

Se o componente é um resistor, essa potência também é dada por

$$P = i^2 R \quad (\text{dissipação resistiva})$$

e por

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (\text{dissipação resistiva})$$



Os **semicondutores** são materiais que têm um número relativamente pequeno de elétrons de condução, mas podem se tornar condutores se forem dopados com impurezas que fornecem portadores de carga.

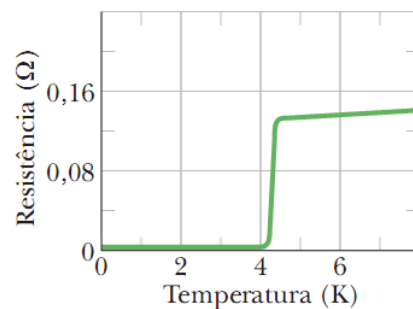
Nos semicondutores, n é pequeno, mas aumenta rapidamente com o aumento da temperatura porque a agitação térmica faz com que haja um maior número de portadores disponíveis. Isso resulta em uma redução da resistividade com o aumento da temperatura, como indica o valor negativo do coeficiente de temperatura da resistividade do silício na Tabela 26-2.

Os **supercondutores** são materiais que perdem toda a resistência elétrica em baixas temperaturas. A maioria desses materiais só se tornam supercondutores em temperaturas muito baixas, próximas do zero absoluto, mas alguns se tornam supercondutores em temperaturas um pouco maiores.

$$\rho = \frac{m}{e^2 n \tau}$$

Tabela 26-2 Algumas Propriedades Elétricas do Cobre e do Silício

Propriedade	Cobre	Silício
Tipo de material	Metal	Semicondutor
Densidade de portadores de carga, m^{-3}	$8,49 \times 10^{28}$	1×10^{16}
Resistividade, $\Omega \cdot \text{m}$	$1,69 \times 10^{-8}$	$2,5 \times 10^3$
Coeficiente de temperatura da resistividade, K^{-1}	$+4,3 \times 10^{-3}$	-70×10^{-3}



A resistência do mercúrio cai bruscamente para zero quando o metal é resfriado abaixo de 4 K.



26 Resumo



Corrente

- A corrente elétrica em um condutor é definida pela equação

$$i = \frac{dq}{dt} \quad \text{Eq. 26-1}$$

Densidade de Corrente

- A densidade de corrente é dada por

$$i = \int \vec{J} \cdot d\vec{A} \quad \text{Eq. 26-4}$$

Velocidade de Deriva

- A velocidade de deriva dos portadores de corrente é dada por

$$\vec{J} = (ne) \vec{v}_d \quad \text{Eq. 26-7}$$

Resistência de um Condutor

- A resistência R de um condutor é definida pela equação

$$R = \frac{V}{i} \quad \text{Eq. 26-8}$$

- A resistividade e a condutividade de um material são definidas por

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{E}{J} \quad \text{Eqs. 26-10, 12}$$

- A resistência de um fio de comprimento L e área da seção reta A é dada por

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \text{Eq. 26-16}$$

Variação de ρ com a Temperatura

- A resistividade da maioria dos materiais varia com a temperatura e é dada por

$$\rho - \rho_0 = \rho_0 \alpha (T - T_0) \quad \text{Eq. 26-17}$$



Lei de Ohm

- Dizemos que um componente (condutor, resistor, ou qualquer outro dispositivo) obedece à lei de Ohm, se a resistência R (definida pela **Eq. 26-8** como V/i) não depende da diferença de potencial aplicada V .

Resistividade de um Metal

- Supondo que os elétrons de condução de um metal são tão livres quanto as moléculas de um gás, obtemos a seguinte expressão para a resistividade:

$$\rho = \frac{m}{e^2 n \tau} \quad \text{Eq. 26-22}$$

Potência

- A potência P fornecida a um componente submetido a uma diferença de potencial V e no qual circula uma corrente i é dada por

$$P = iV \quad \text{Eq. 26-26}$$

- Se o componente é um resistor, temos:

$$P = i^2 R = \frac{V^2}{R} \quad \text{Eqs. 26-27, 28}$$