

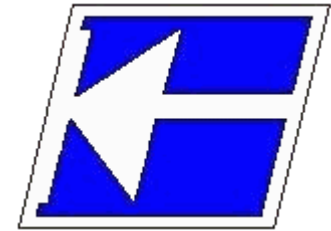
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina



Departamento Acadêmico de Eletrônica

CST em Eletrônica Industrial

Circuitos Elétricos I

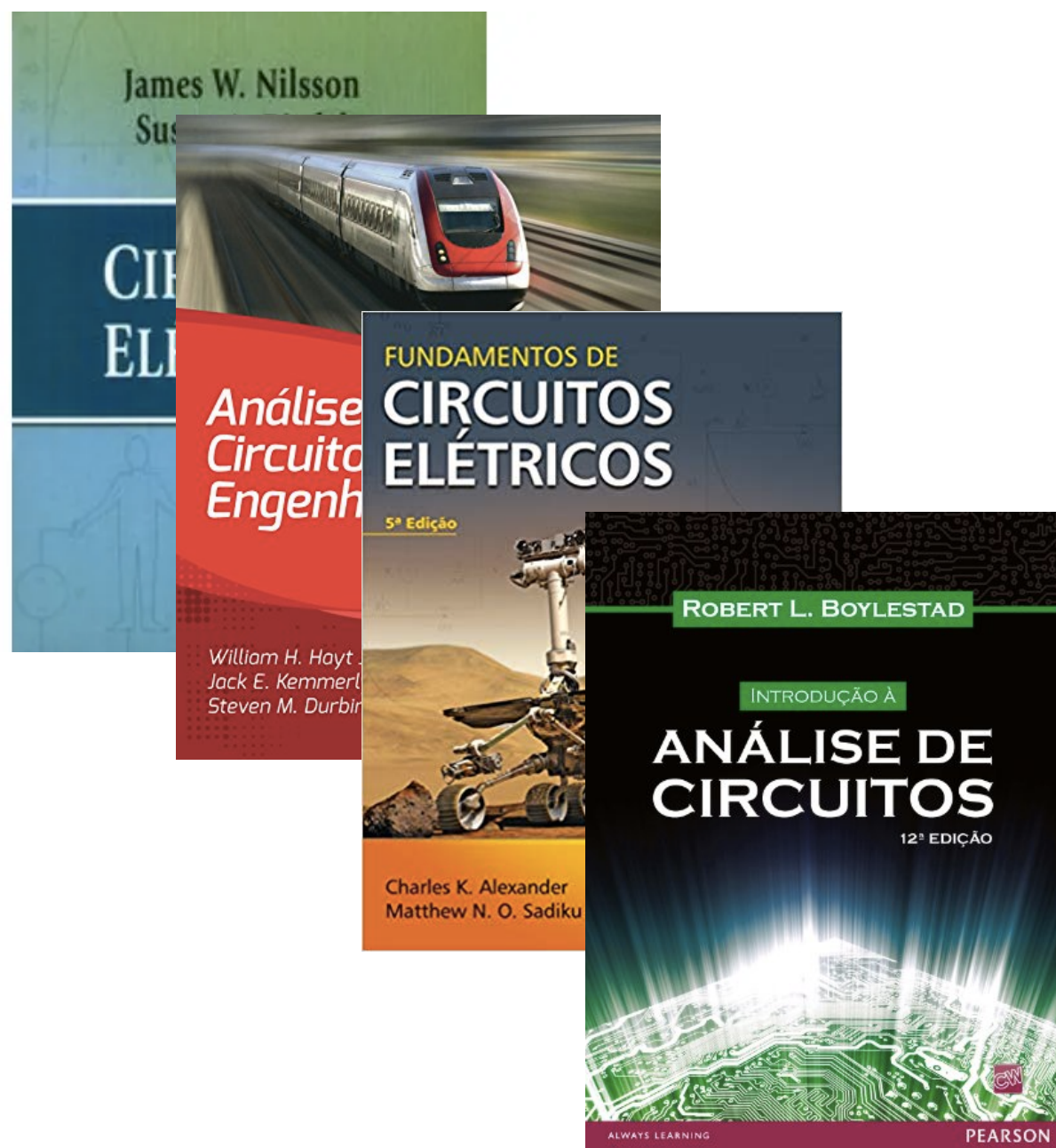


Resistência

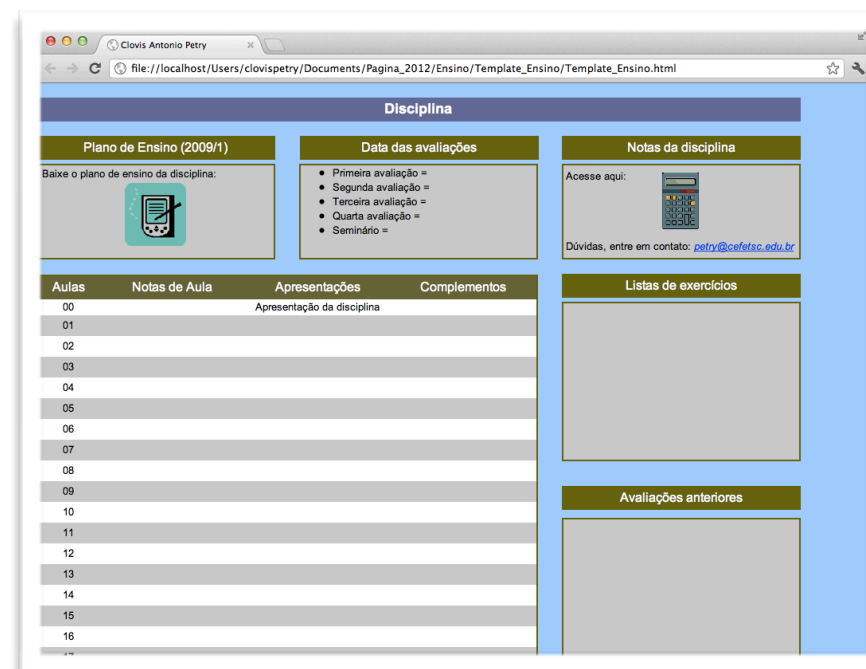
Prof. Clovis Antonio Petry.

Florianópolis, março de 2020.

Biografia para Esta Aula



www.ProfessorPetry.com.br



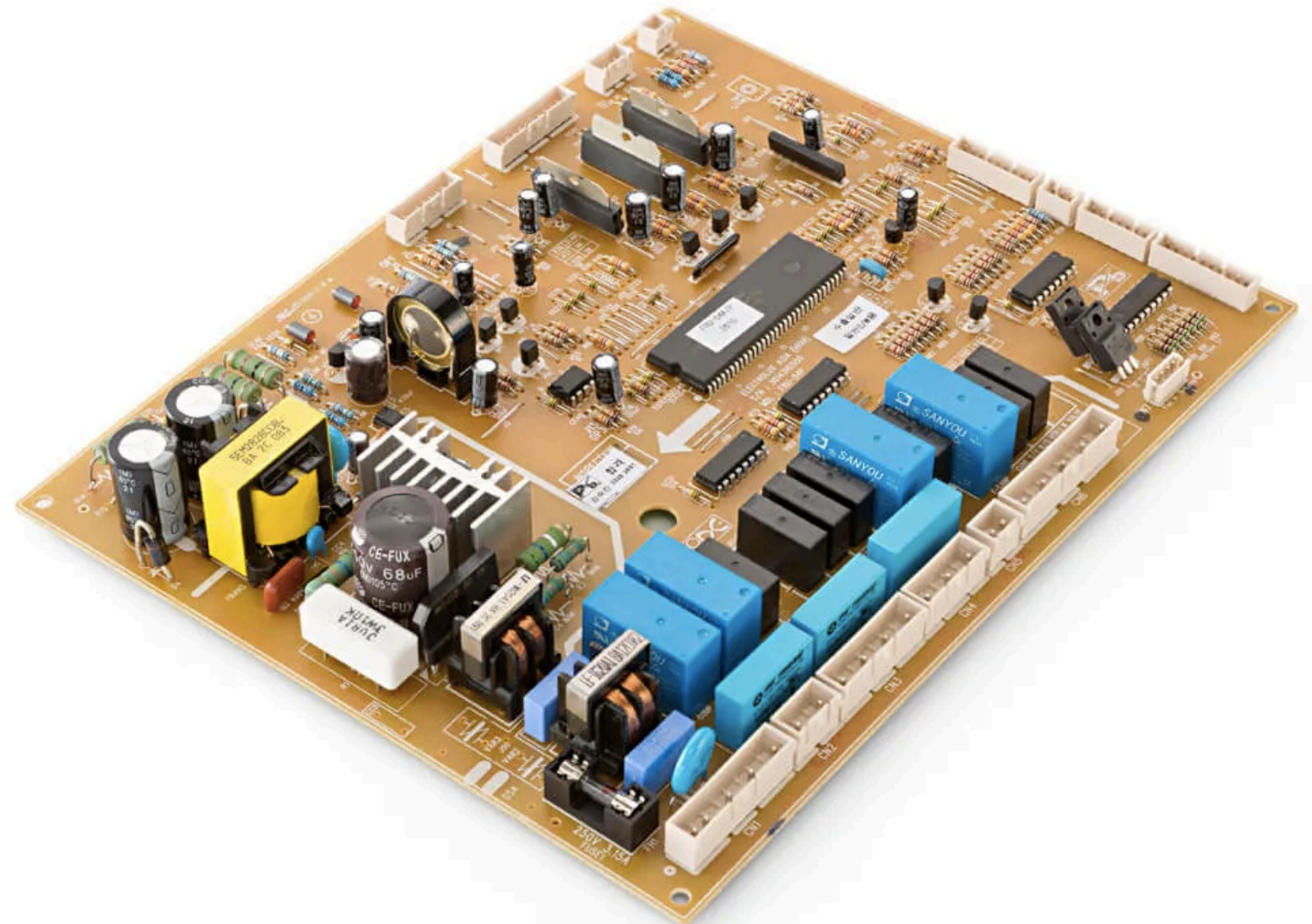
Nesta Aula

Introdução

Resistência elétrica:

- Definição;
- Unidade de medida;
- Medição de resistência elétrica.

Exemplos de resistores.



Introdução

Principais grandezas elétricas:

- Tensão;
- Corrente;
- Resistência;
- Potência.

Equipamentos eletrônicos;

Aplicações de resistências e resistores.



Introdução

Resistências elétricas:

- Resistências - propriedades dos elementos;
- Resistores - elementos de circuitos;
- Oposição ao fluxo de carga através de um circuito elétrico, chamada resistência, tem as unidades de ohms, e usa a letra grega omega (Ω) como símbolo.



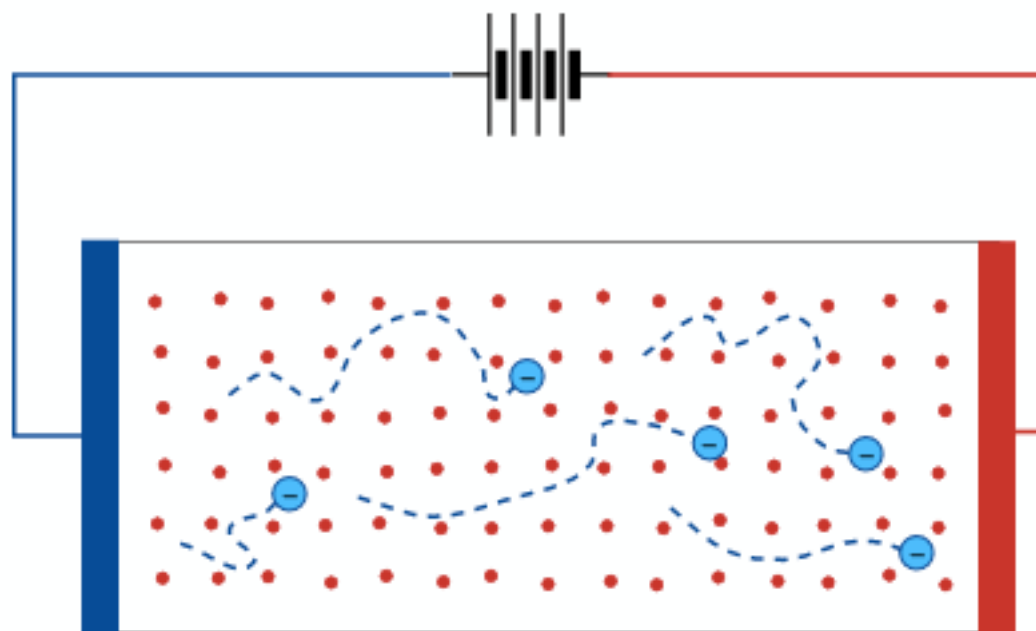
Figura 3.1 Símbolo da resistência e sua abreviação.

Fonte: Capítulo 3 - Resistência do livro *Análise de Circuitos* de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.

Resistência Elétrica

Origem:

- Oposição, devido fundamentalmente a colisões e fricção entre os elétrons livres e outros elétrons, íons e átomos no curso do movimento, converte a energia elétrica fornecida em calor, que aumenta a temperatura do componente elétrico e do meio circundante.
- O calor que você sente vindo de um aquecedor elétrico é simplesmente o resultado da corrente que passa por um material de alta resistência.



Resistência Elétrica

Resistência elétrica de materiais:

- A resistência de qualquer material é devida fundamentalmente a quatro fatores:
 - Material;
 - Comprimento;
 - Área do corte transversal;
 - Temperatura do material.

$$R = \rho \frac{l}{A} [\text{ohm}, \Omega]$$

onde:

- ρ é a resistividade do material em $\Omega \cdot m$ com temperatura em 20°;
- l é o comprimento do material em metros;
- A é a área do material em m^2 .

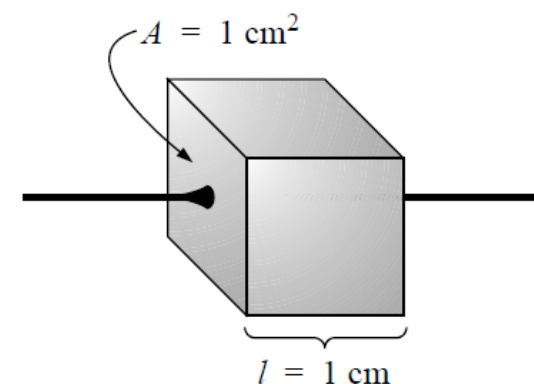


Figura 3.31 Definição de ρ em ohm-centímetros.

Resistência Elétrica

Resistência elétrica de materiais:

- A estrutura atômica determina quão facilmente um elétron livre passará por um material;
- Quanto maior o comprimento do caminho que o elétron livre tem de percorrer, maior o fator de resistência;
- Elétrons livres passam mais facilmente através de condutores com áreas de corte transversal maiores;
- Além disso, quanto mais alta a temperatura dos materiais condutivos, maiores a vibração interna e o movimento dos componentes que formam a estrutura atômica do fio, e mais difícil os elétrons livres encontrarem um caminho pelo material.

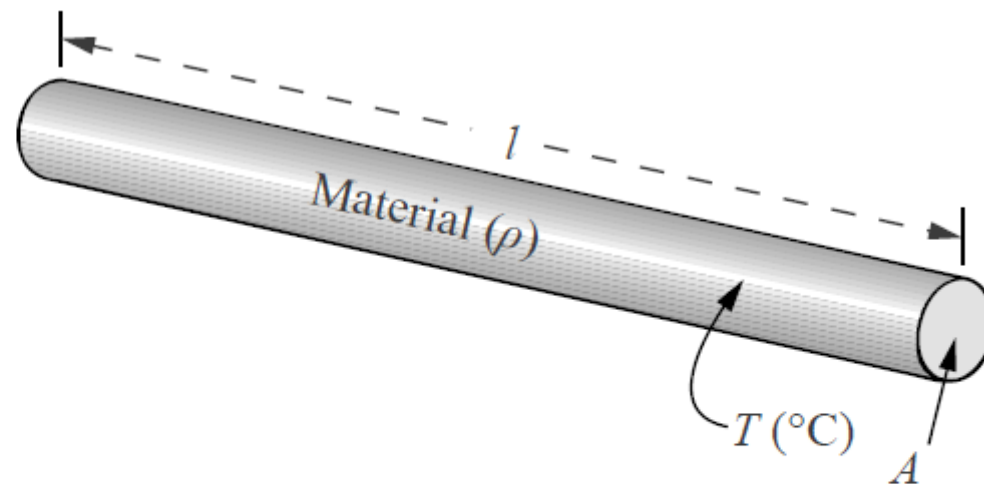


Figura 3.2 Fatores que afetam a resistência de um condutor.

Resistência Elétrica

Material	(ρ) em $\Omega \cdot m$ a 20 °C
Prata	1.59×10^{-8}
Cobre	1.72×10^{-8}
Ouro	2.44×10^{-8}
Alumínio	2.82×10^{-8}
Tungstênio	5.60×10^{-8}
Niquel	6.99×10^{-8}
Latão	0.8×10^{-7}
Ferro	1.0×10^{-7}
Estanho	1.09×10^{-7}
Platina	1.1×10^{-7}
Chumbo	2.2×10^{-7}
Manganin	4.82×10^{-7}
Constantan	4.9×10^{-7}
Mercúrio	9.8×10^{-7}
Nicromo	1.10×10^{-6}
Carbono	3.5×10^{-5}
Germânio	4.6×10^{-1}
Silício	6.40×10^2
Vidro	10^{10} a 10^{14}
Ebonite	approx. 10^{13}
Enxofre	10^{15}
Parafina	10^{17}
Quartzo (fundido)	7.5×10^{17}
PET	10^{20}
Teflon	10^{22} a 10^{24}

Resistência Elétrica

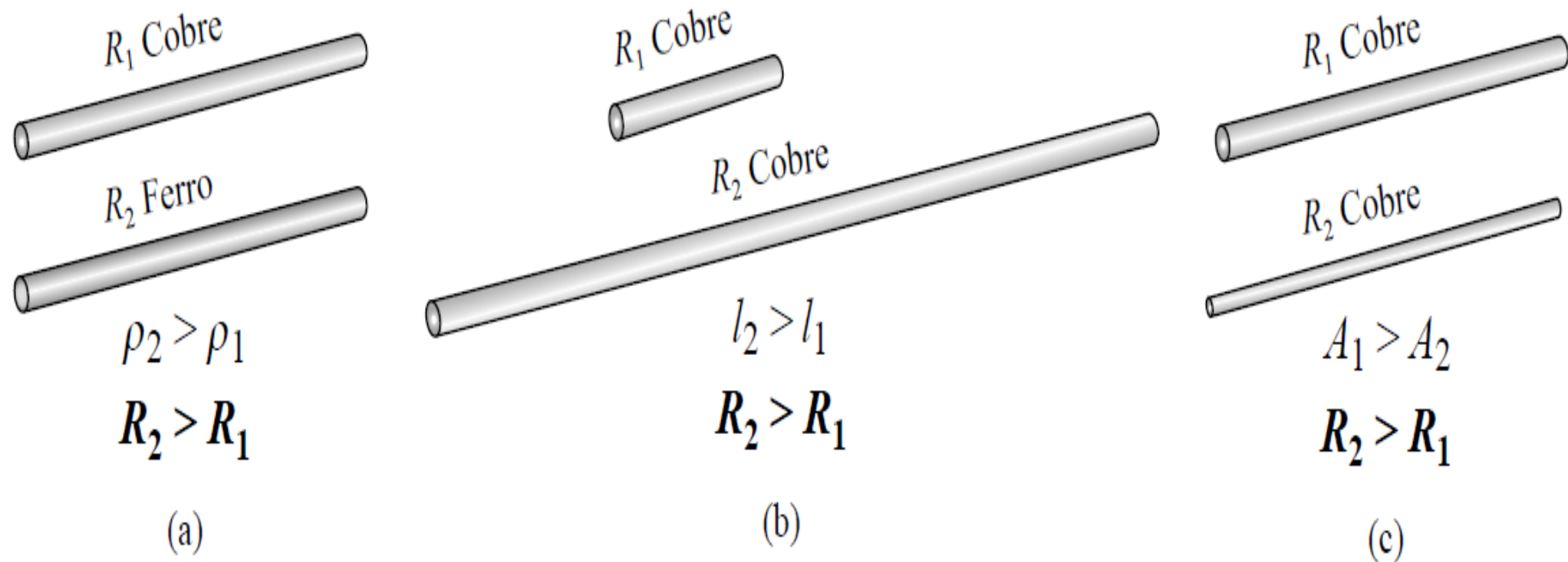


Figura 3.3 Casos em que $R_2 > R_1$. Em todos os casos, todos os outros parâmetros que influenciam a resistência são os mesmos.

Resistência Elétrica

TABELA DE FIOS ESMALTADOS

AWG	Diâmetro Cobre (cm)	Área Cobre (cm ²)	Diâmetro Isolamento (cm)	Área Isolamento (cm ²)	OHMS/CM 20 °C	OHMS/CM 100 °C	AMP. para 450A/cm ²
10	0,259	0,052620	0,273	0,058572	0,000033	0,000044	23,679
11	0,231	0,041729	0,244	0,046738	0,000041	0,000055	18,778
12	0,205	0,033092	0,218	0,037309	0,000052	0,000070	14,892
13	0,183	0,026243	0,195	0,029793	0,000066	0,000080	11,809
14	0,163	0,020811	0,174	0,023800	0,000083	0,000111	9,365
15	0,145	0,016504	0,156	0,019021	0,000104	0,000140	7,427

16	0,129	0,013088	0,139	0,015207	0,000132	0,000176	5,890
17	0,115	0,010379	0,124	0,012164	0,000166	0,000222	4,671
18	0,102	0,008231	0,111	0,009735	0,000209	0,000280	3,704
19	0,091	0,006527	0,100	0,007794	0,000264	0,000353	2,937
20	0,081	0,005176	0,089	0,006244	0,000333	0,000445	2,329
21	0,072	0,004105	0,080	0,005004	0,000420	0,000561	1,847

22	0,064	0,003255	0,071	0,004013	0,000530	0,000708	1,465
23	0,057	0,002582	0,064	0,003221	0,000668	0,000892	1,162
24	0,051	0,002047	0,057	0,002586	0,000842	0,001125	0,921
25	0,045	0,001624	0,051	0,002078	0,001062	0,001419	0,731
26	0,040	0,001287	0,046	0,001671	0,001339	0,001789	0,579
27	0,036	0,001021	0,041	0,001344	0,001689	0,002256	0,459

Fonte: Livro Eletrônica de Potência do Prof. Ivo Barbi. Acesso em <https://ivobarbi.com.br/ivo-barbi-official-website/>.

Resistência Elétrica

Efeito da temperatura na resistência elétrica:

- A temperatura tem um efeito significativo sobre as resistências de condutores, semicondutores e isolantes.
- Condutores - aumento de temperatura resulta em aumento da resistência. Os bons **condutores** em coeficiente **positivo** de variação da resistência com a temperatura.
- Semicondutores - aumento de temperatura resulta em diminuição da resistência. Os **semicondutores** em coeficiente **negativo** de variação da resistência com a temperatura.
- Isolantes - aumento de temperatura resulta em diminuição da resistência. Os **isolantes** em coeficiente **negativo** de variação da resistência com a temperatura.

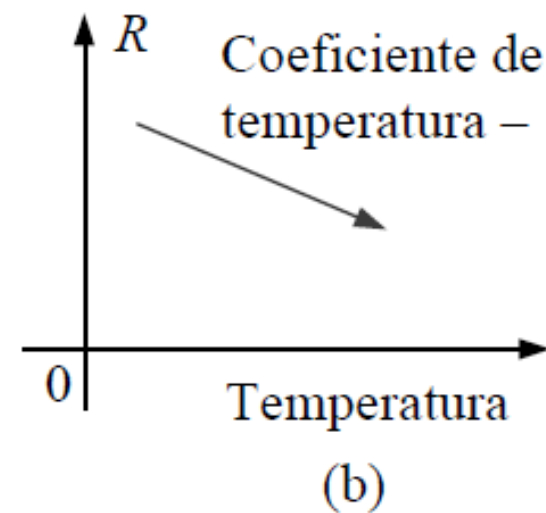
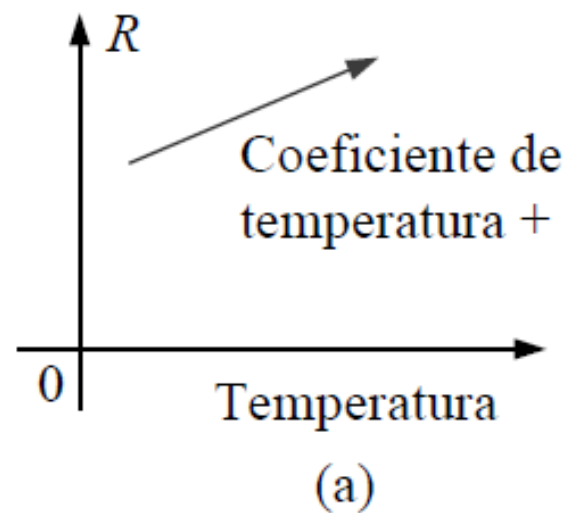


Figura 3.10 Demonstração dos efeitos de coeficientes de temperatura negativo e positivo sobre a resistência de um condutor.

Resistência Elétrica

Efeito da temperatura na resistência elétrica:

Pontos de temperatura onde a resistência é nula

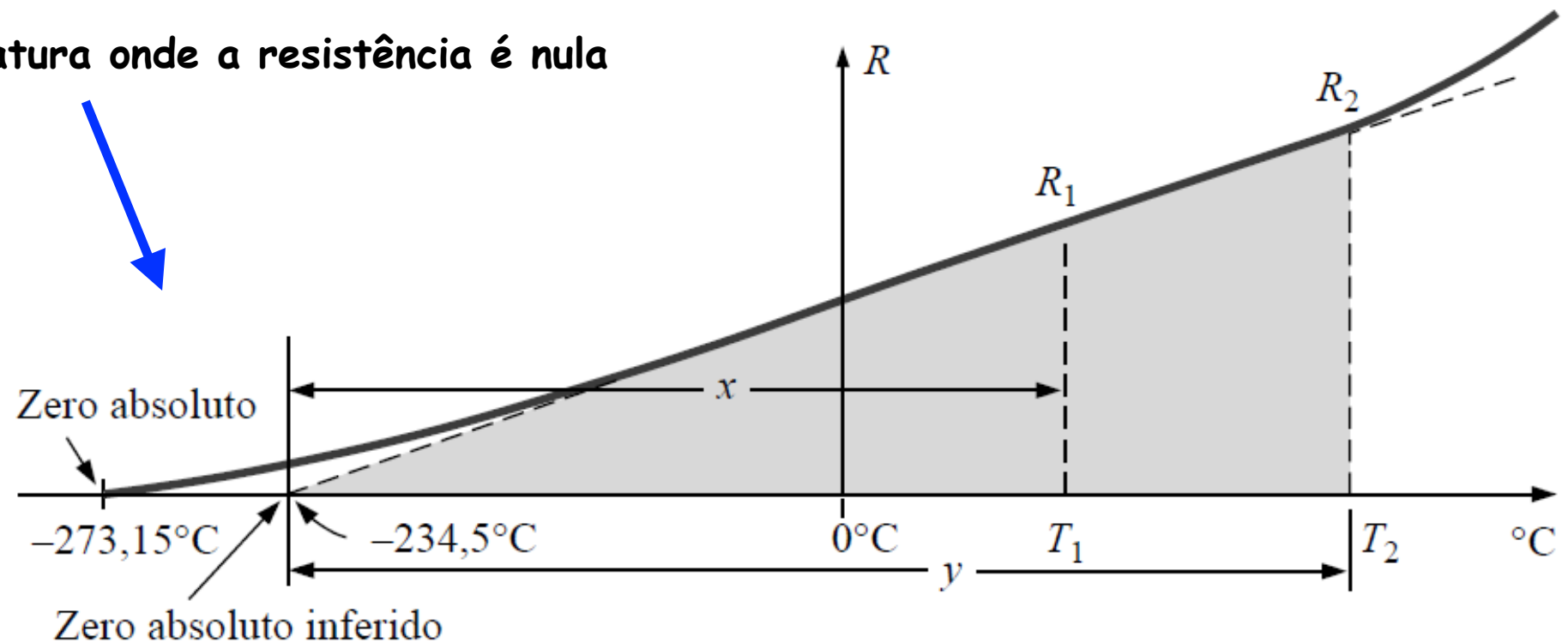


Figura 3.11 Efeito da temperatura sobre a resistência do cobre.

$$\frac{234,5 + T_1}{R_1} = \frac{234,5 + T_2}{R_2}$$

Resistência Elétrica

Efeito da temperatura na resistência elétrica:

Tabela 3.3 Temperaturas absolutas inferidas.

Material	°C
Prata	−243
Cobre	−234,5
Ouro	−274
Alumínio	−236
Tungstênio	−204
Níquel	−147
Ferro	−162
Nicromo	−2.250
Constantan	−125.000

Resistência Elétrica

Efeito da temperatura na resistência elétrica:

Tabela 3.4 Coeficiente de temperatura da resistência para vários condutores a 20°C.

Material	Coeficiente de temperatura (α_{20})
Prata	0,0038
Cobre	0,00393
Ouro	0,0034
Alumínio	0,00391
Tungstênio	0,005
Níquel	0,006
Ferro	0,0055
Constantan	0,000008
Nicromo	0,00044

Resistência Elétrica

Efeito da temperatura na resistência elétrica:

$$R = \rho \frac{l}{A} (1 + \alpha_{20} \cdot \Delta T) [ohm, \Omega]$$

onde:

- ρ é a resistividade do material em $\Omega \cdot m$ com temperatura em 20°;
- l é o comprimento do material em metros;
- A é a área do material em m^2 ;
- ΔT é variação de temperatura em graus Celsius;
- α_{20} é o coeficiente de temperatura para 20° C.

Resistência Elétrica

Efeito da temperatura na resistência elétrica:

$$\Delta R = \frac{R_{nominal}}{10^6} (PPM)(\Delta T)$$

onde:

- ΔR é a variação da resistência;
- $R_{nominal}$ é resistência nominal do resistor;
- PPM é a variação da resistência com a temperatura em partes por milhão (PPM/°C);
- ΔT é variação de temperatura em graus Celsius.

EXEMPLO 3.10

Para um resistor de carbono de 1 kΩ cujo PPM é 2.500, determine a resistência a 60°C.

Solução:

$$\begin{aligned}\Delta R &= \frac{1.000 \, \Omega}{10^6} (2.500)(60^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) \\ &= 100 \, \Omega\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e \quad R &= R_{nominal} + \Delta R = 1.000 \, \Omega + 100 \, \Omega \\ &= \mathbf{1.100 \, \Omega}\end{aligned}$$

Resistência Elétrica

Efeito da temperatura na resistência elétrica:

$$R_1 = R_{20} \left(1 + \alpha_{20} \cdot (T_1 - 20) \right) [ohm, \Omega]$$

onde:

- R_1 é a resistência do material na temperatura desejada, em Ω ;
- R_{20} é a resistência do material na temperatura de $20^\circ C$, em Ω ;
- T_1 é a temperatura em graus Celsius desejada;
- α_{20} é o coeficiente de temperatura para $20^\circ C$;
- $20^\circ C$ é a temperatura de referência.

Resistência Elétrica

Medindo resistência elétrica

Ohm
Escala de Resistência

Valores:

- Menor = $200\ \Omega$;
- Maior $200\ M\Omega$.



Resistência Elétrica

Medindo resistência elétrica

Medindo Resistência

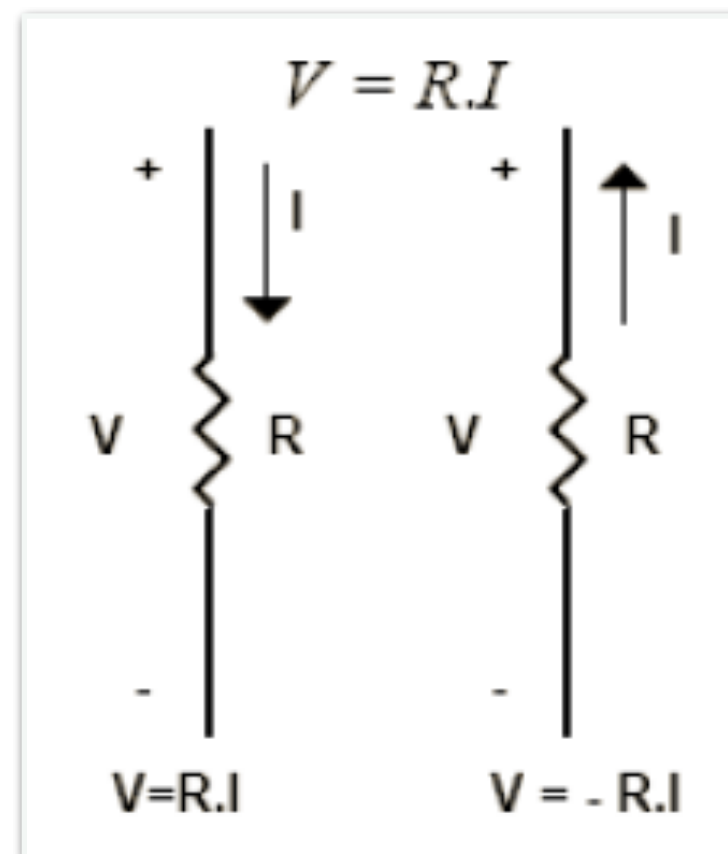
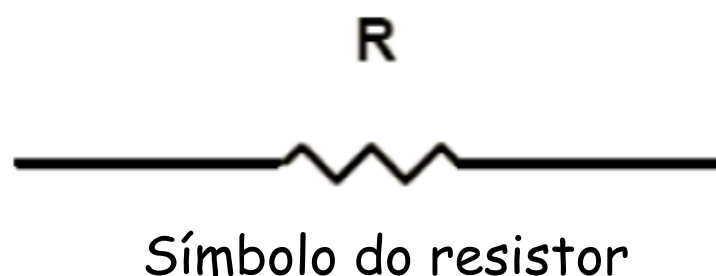
R_1
12 k Ω



Resistência Elétrica

Resistência elétrica:

- Resistência elétrica é a oposição dos materiais à passagem da corrente elétrica, ou mais precisamente, ao movimento de cargas elétricas. O elemento ideal usado como modelo para este comportamento é o resistor.
- Representa-se a resistência pela letra R .
- A unidade de medida de resistência é o Ohm (Ω), mas é muito freqüente o uso de múltiplos como o kilohm ($k\Omega$) e o megaohm ($M\Omega$) e submúltiplos como o miliohm ($m\Omega$) e microhm ($\mu\Omega$).



Exemplos de Resistores

Resistores fixos

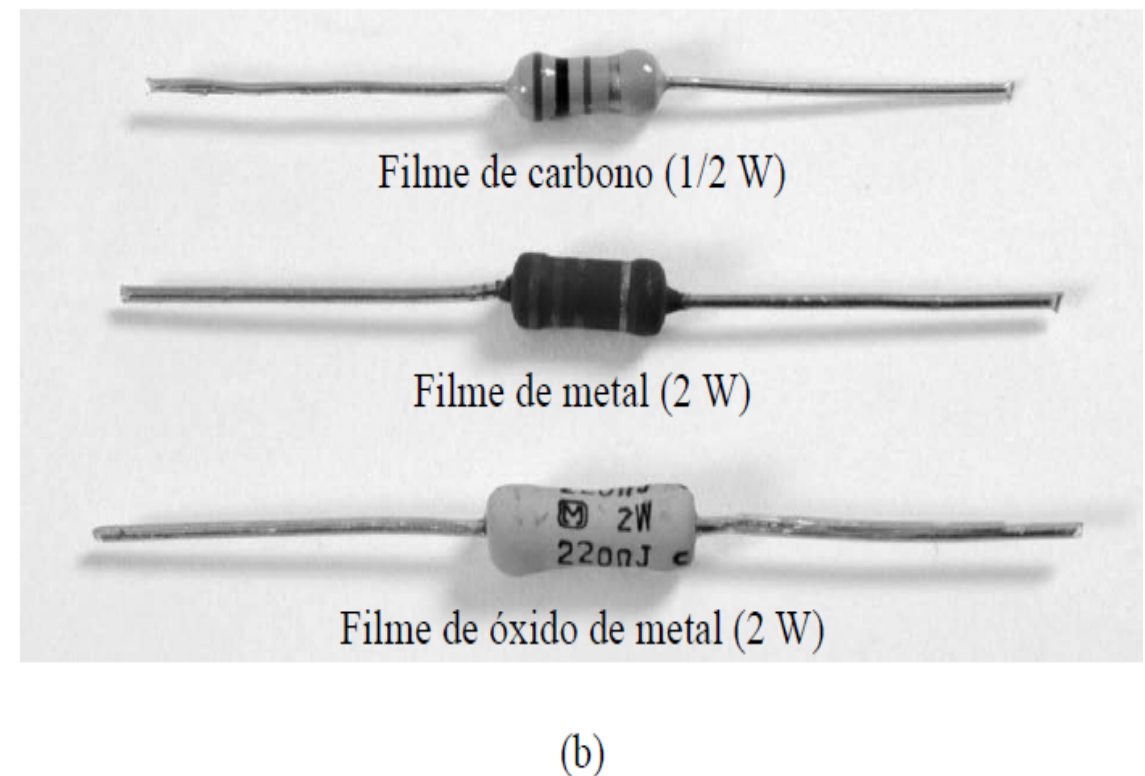
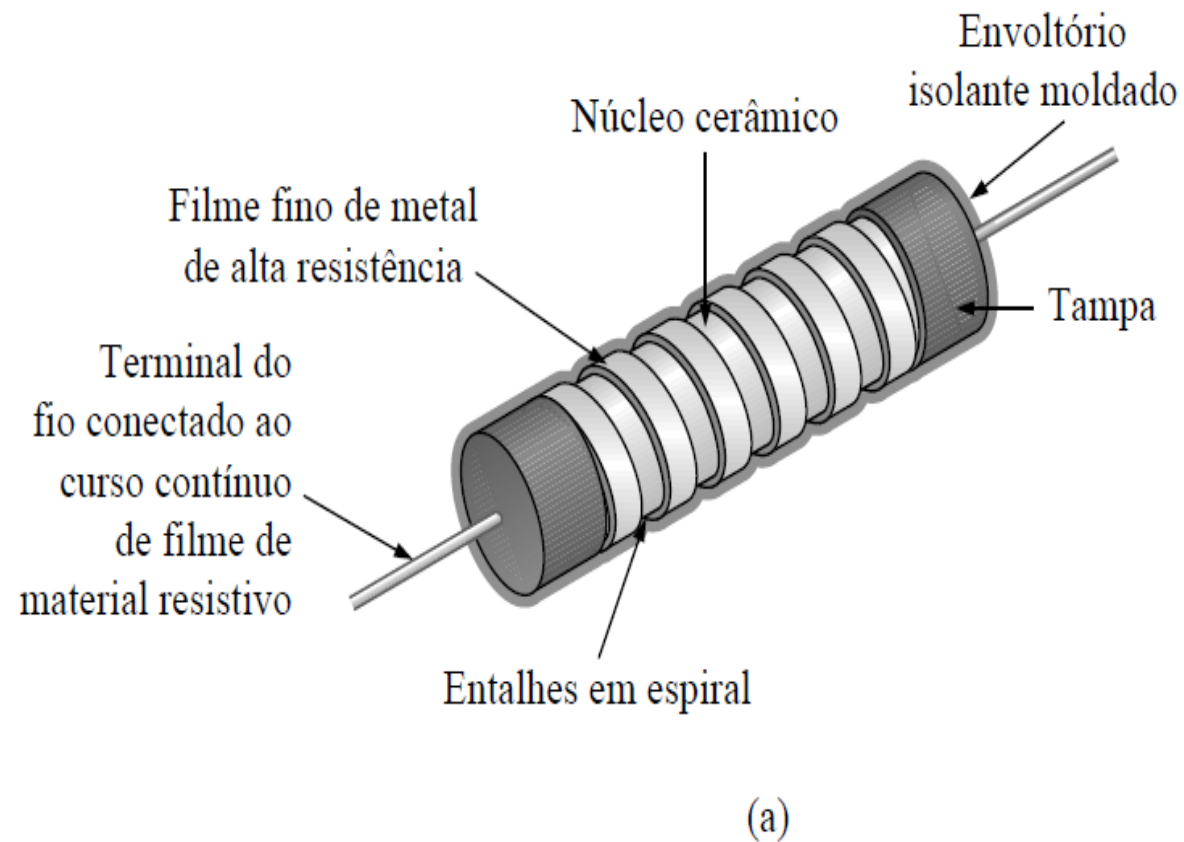


Figura 3.12 Resistores de película: (a) construção; (b) tipos.

Exemplos de Resistores

Resistores fixos

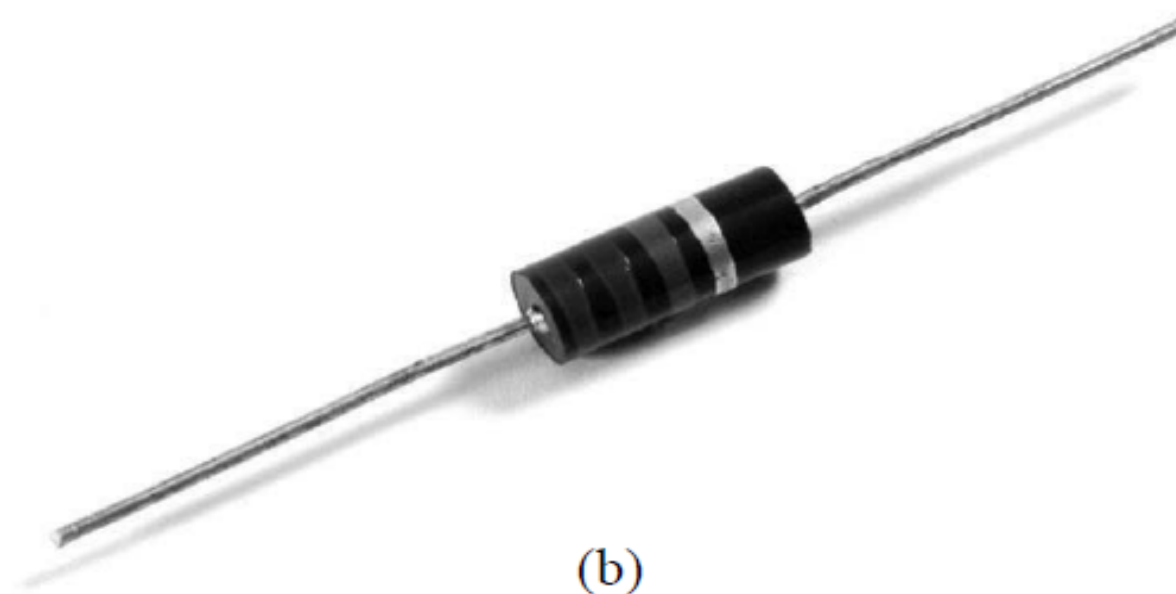
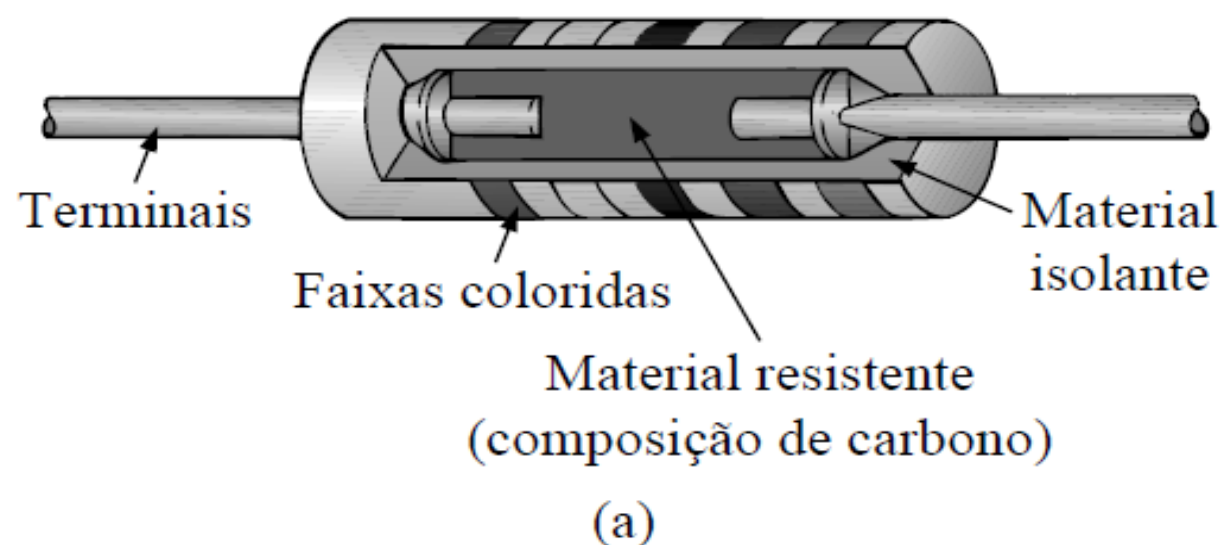


Figura 3.13 Resistores de composição fixa: (a) construção; (b) aparência.

Exemplos de Resistores

Resistores fixos

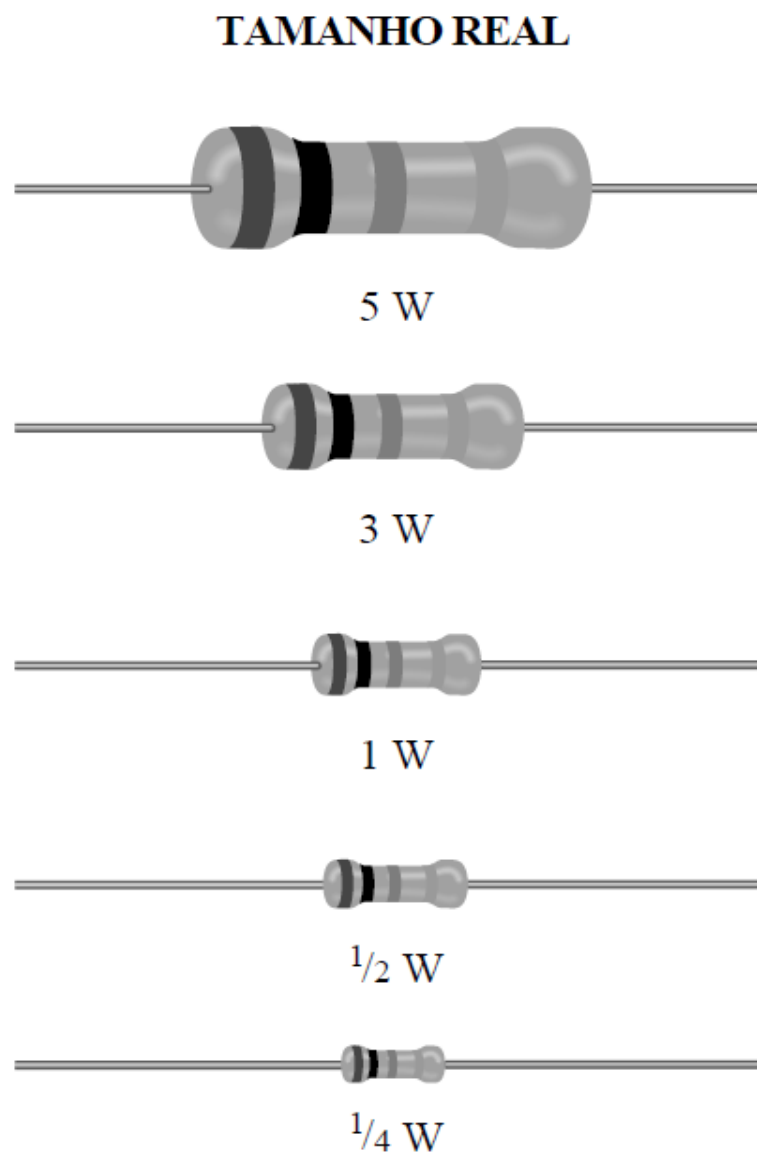
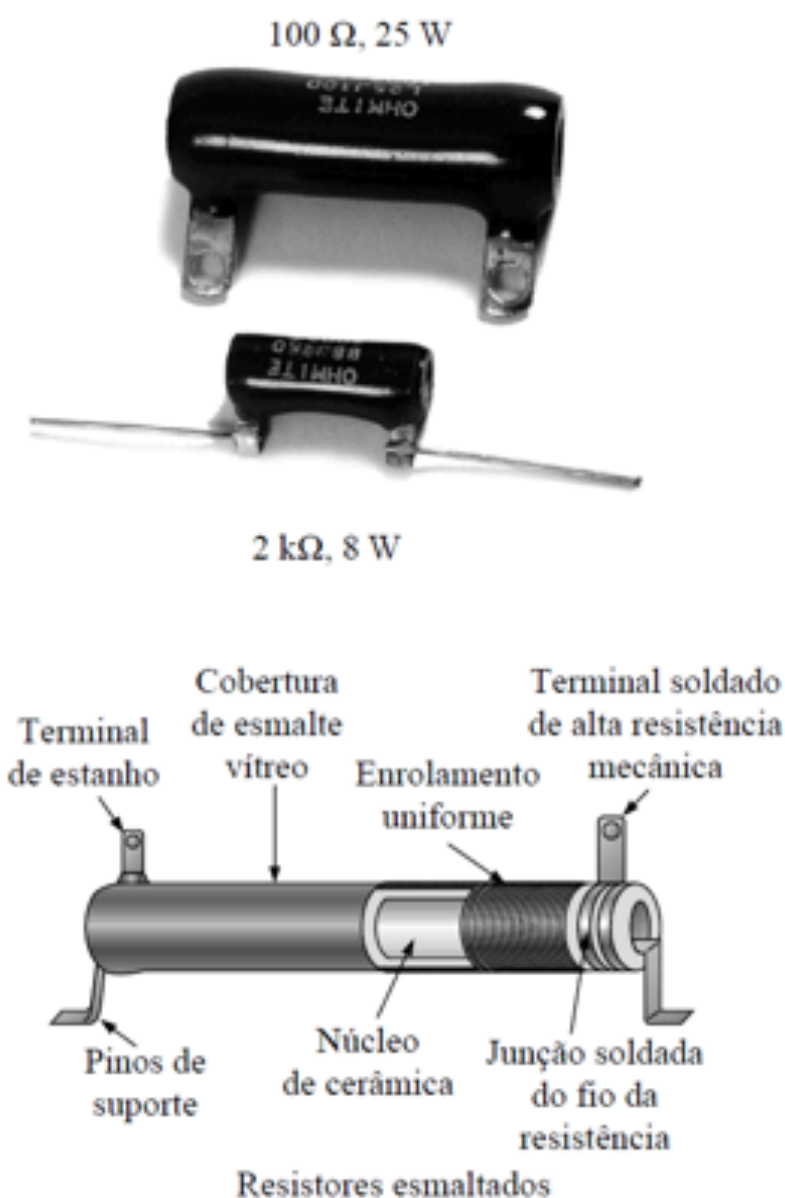
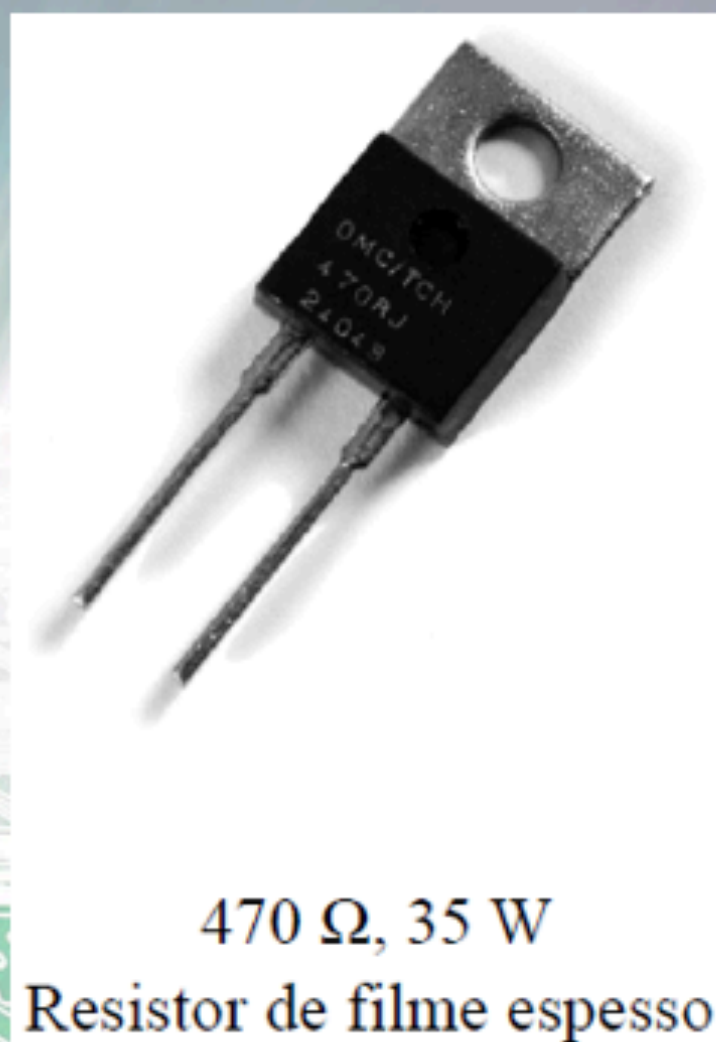


Figura 3.14 Resistores fixos de carbono com diferentes especificações de potência.

Exemplos de Resistores

Resistores fixos

Figura 3.15 Vários tipos de resistores fixos.



Exemplos de Resistores

Resistores fixos

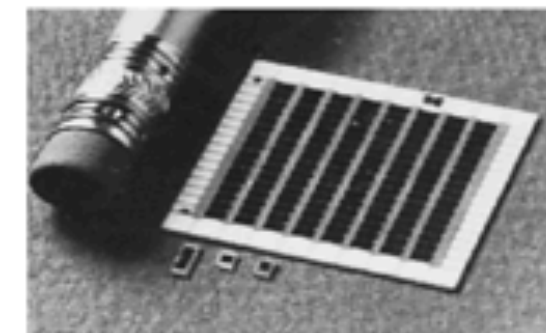
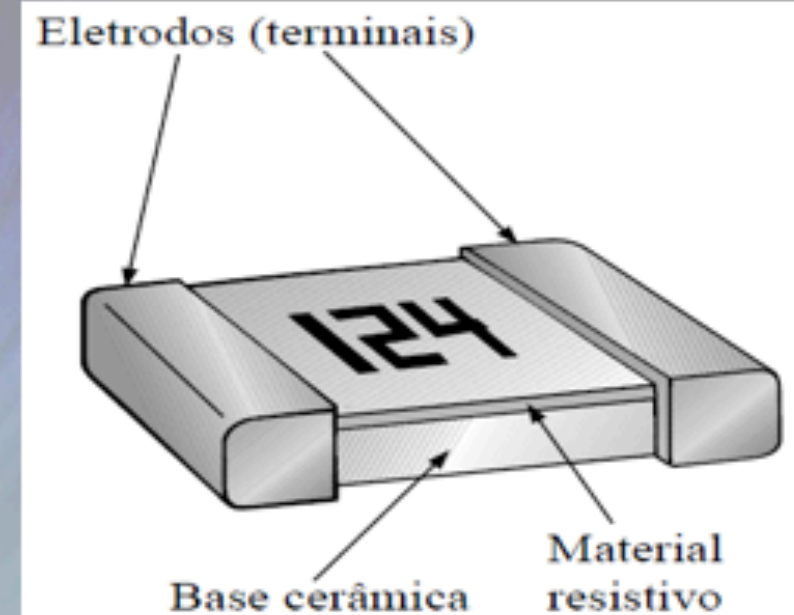
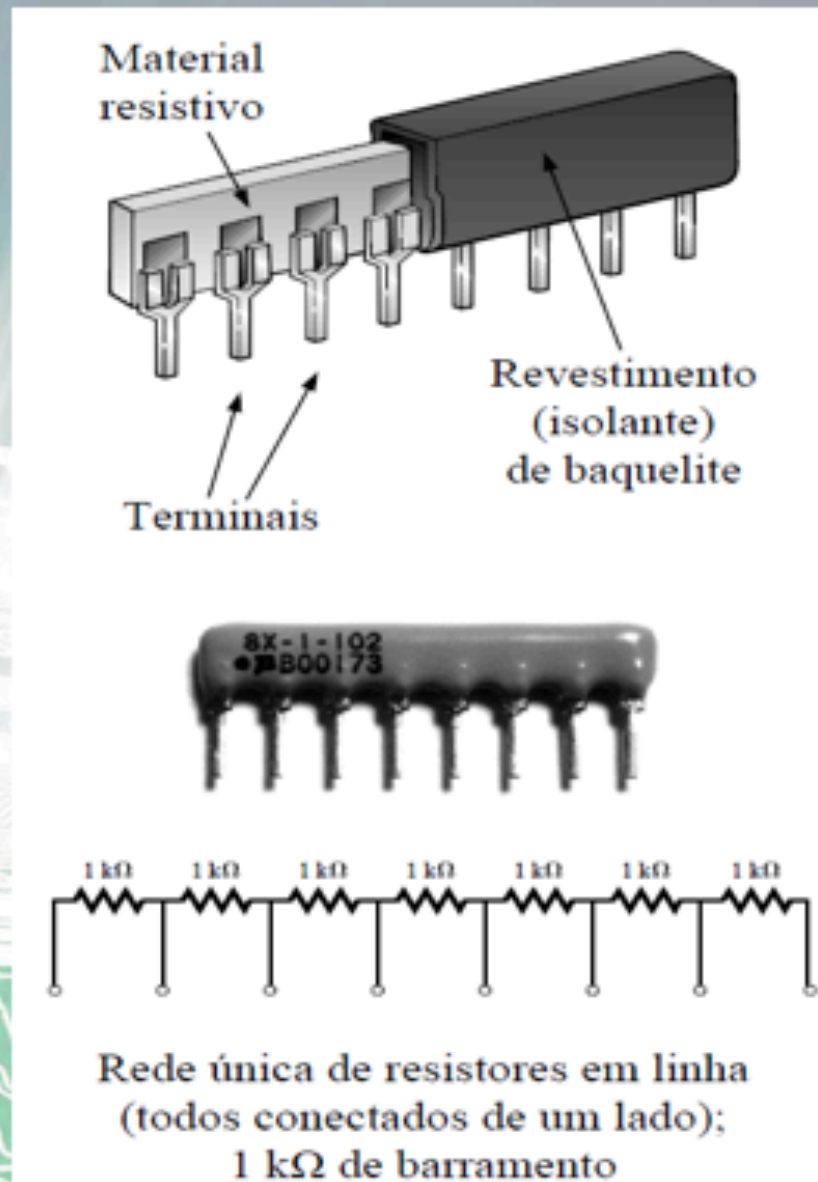
Figura 3.15 Vários tipos de resistores fixos.



Exemplos de Resistores

Resistores fixos

Figura 3.15 Vários tipos de resistores fixos.



22 k Ω , 1 W
Resistores de filme espesso
em chip, com montagem em
superfície e eletrodos de ouro

Exemplos de Resistores

Resistores variáveis

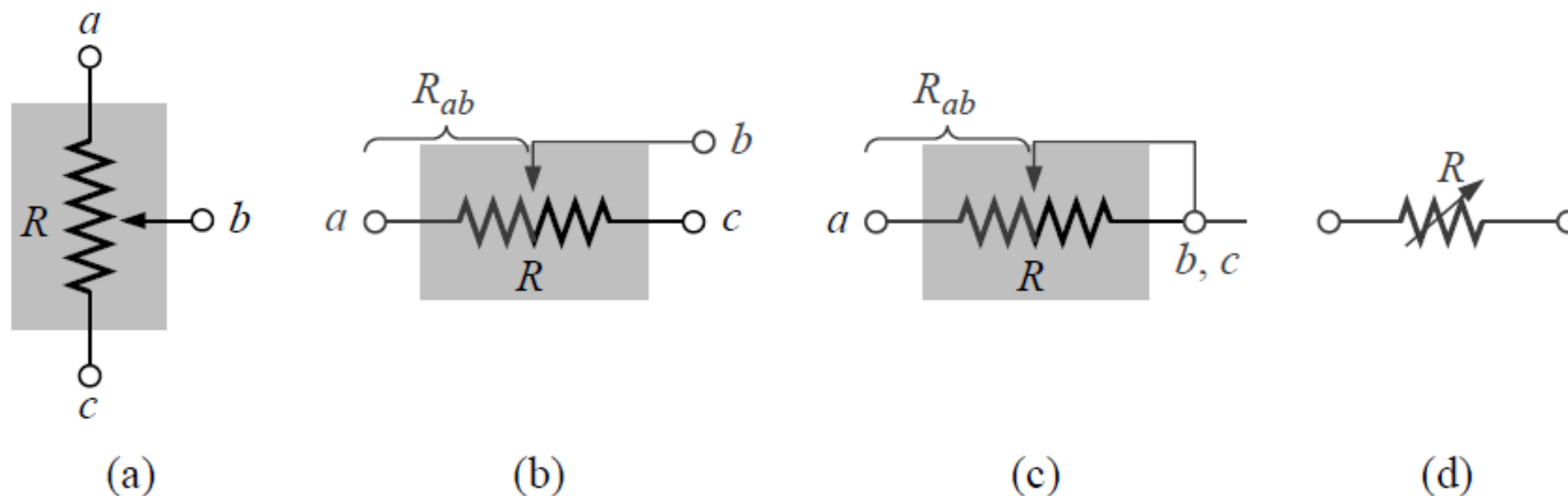


Figura 3.16 Potenciômetro: (a) símbolo; (b) e (c) conexões tipo reostato; (d) símbolo de reostato.

Exemplos de Resistores

Resistores variáveis

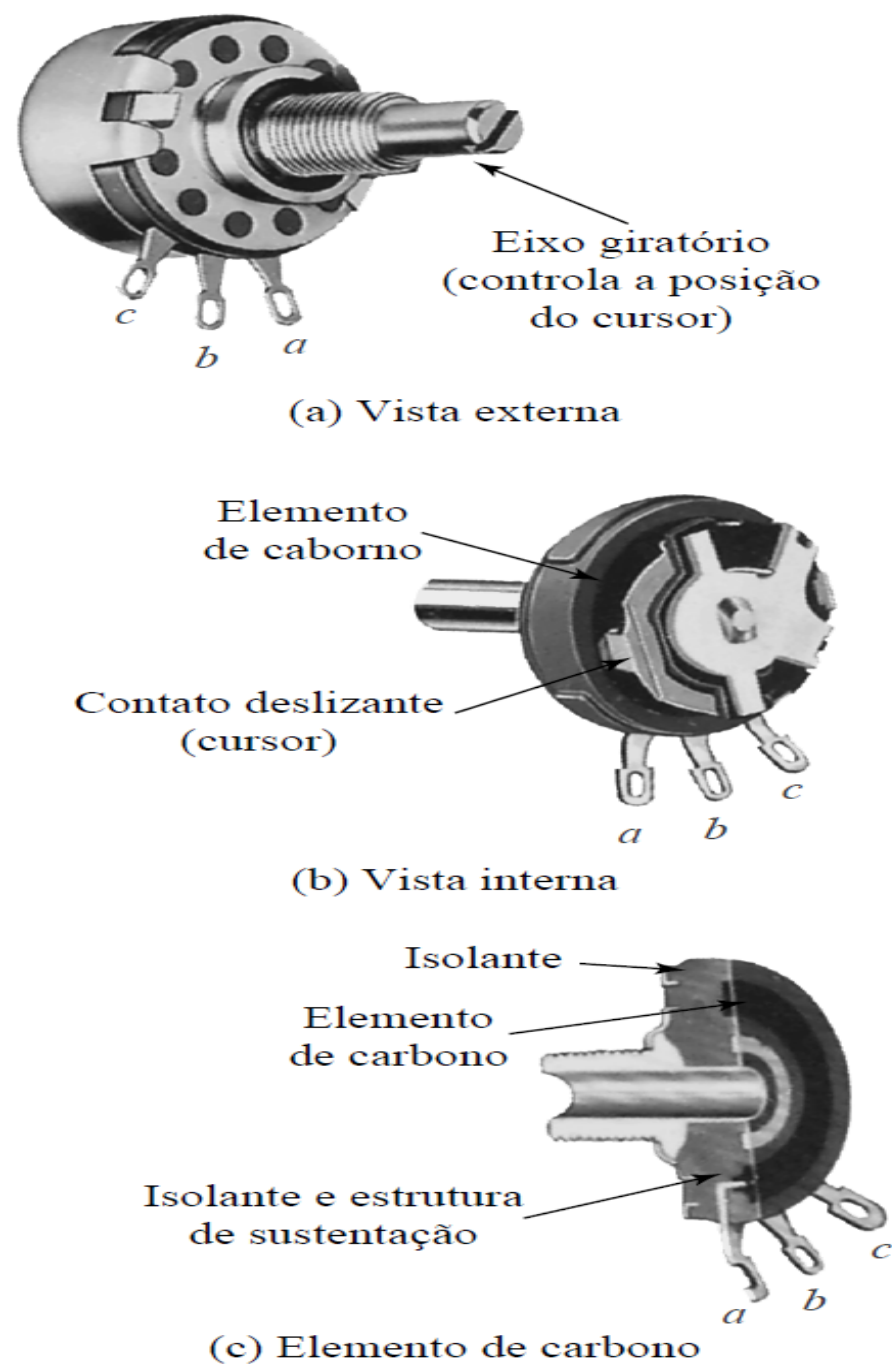


Figura 3.17 Potenciômetro com resistor de carbono. (Cortesia da Allen-Bradley Co.)

Exemplos de Resistores

Resistores variáveis

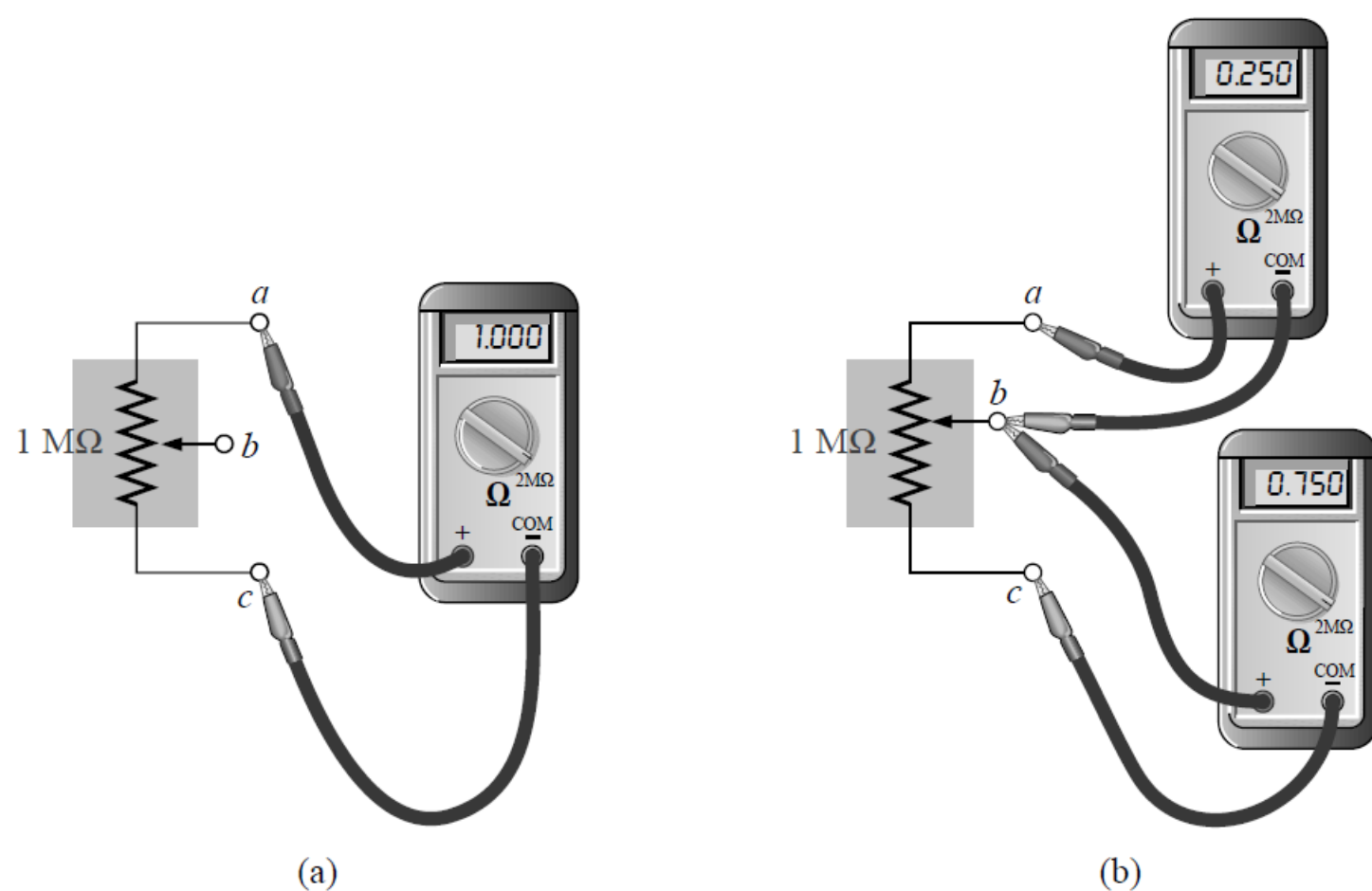
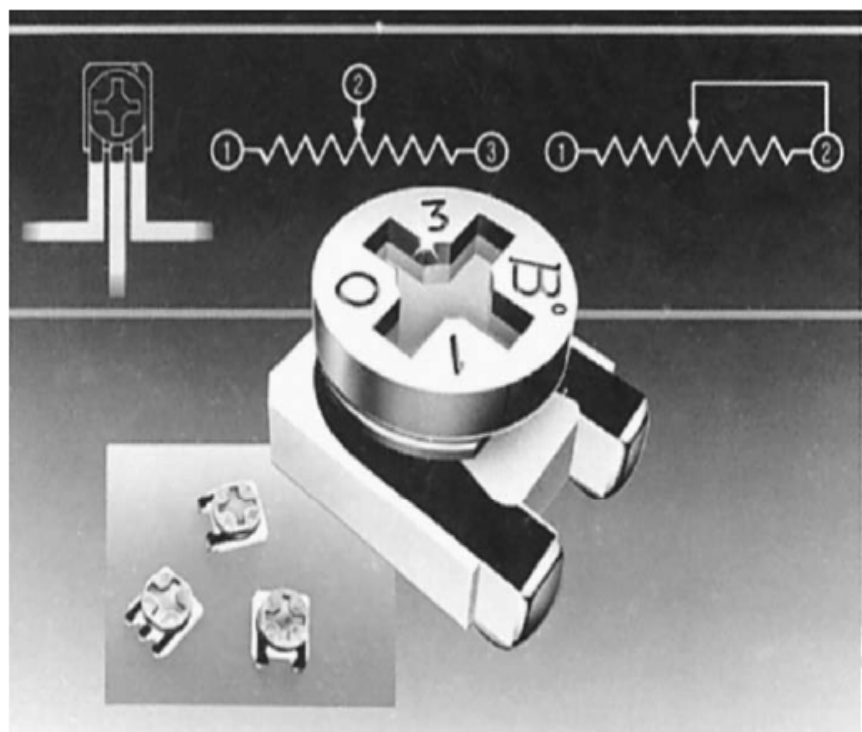


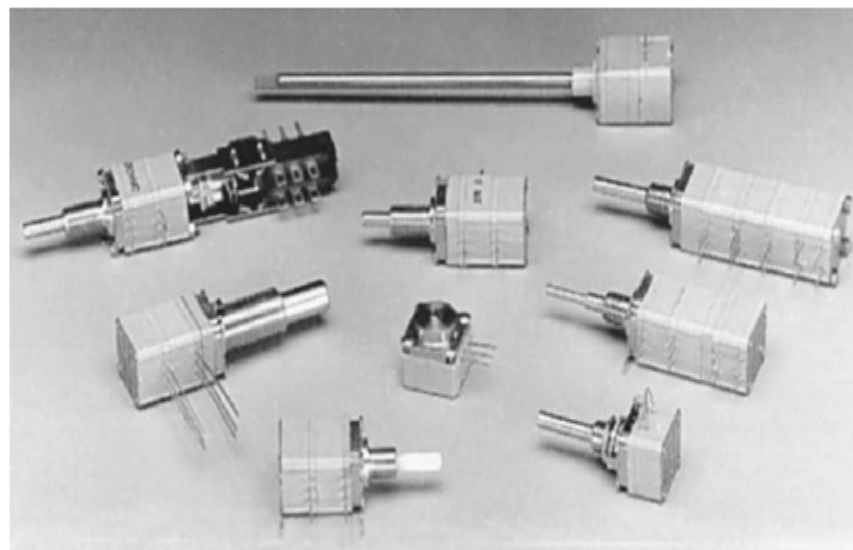
Figura 3.18 Componentes resistivos de um potenciômetro: (a) entre os terminais externos; (b) entre o contato móvel e cada terminal externo.

Exemplos de Resistores

Resistores variáveis



(a)



(b)

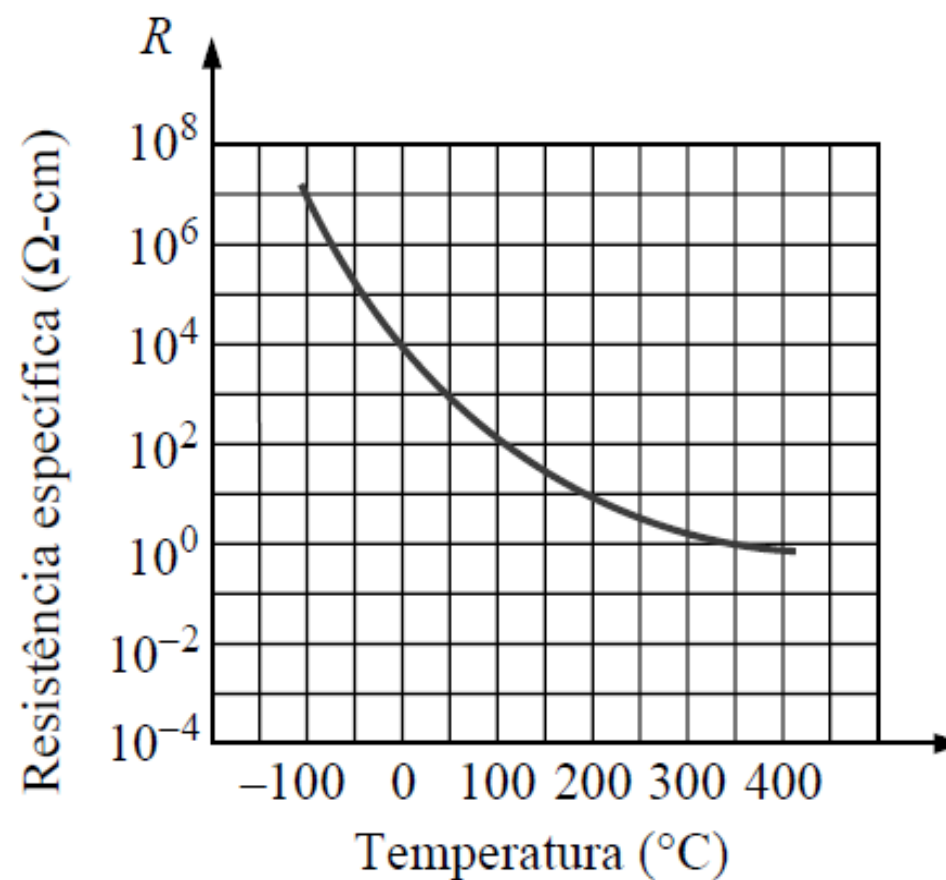


(c)

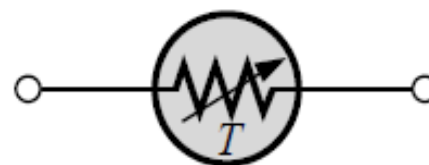
Figura 3.19 Resistores variáveis: (a) *Trimmer* de 4 mm ($\approx 5/32$ polegadas) (cortesia da Bourns, Inc.); (b) elementos condutores de plástico e cermet (cortesia da Honeywell Clarostat); (c) resistor esmaltado de três pontos.

Exemplos de Resistores

Termistores



(a)



(b)

Figura 3.36 Termistor: (a) características; (b) símbolo.

Exemplos de Resistores

Termistores

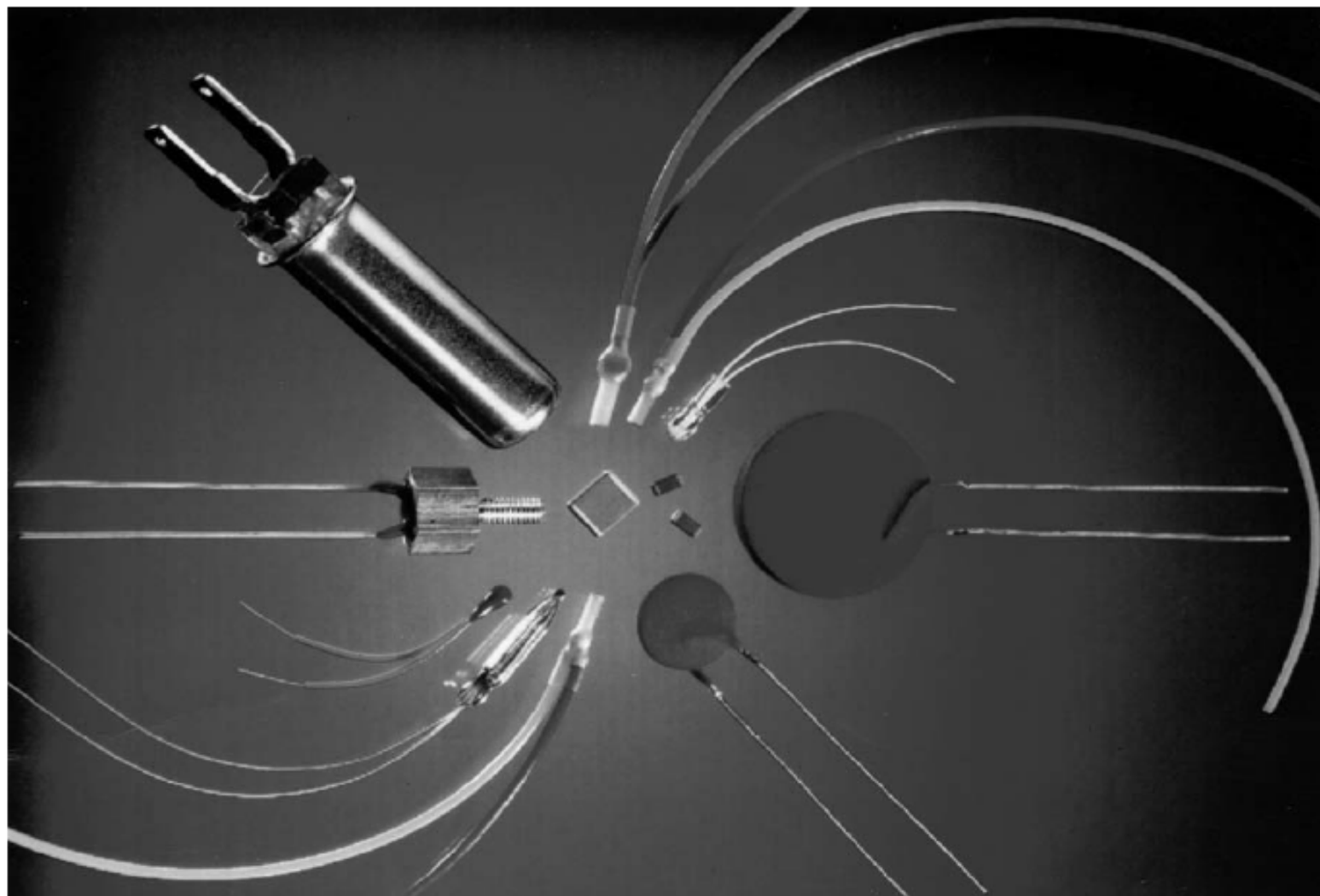
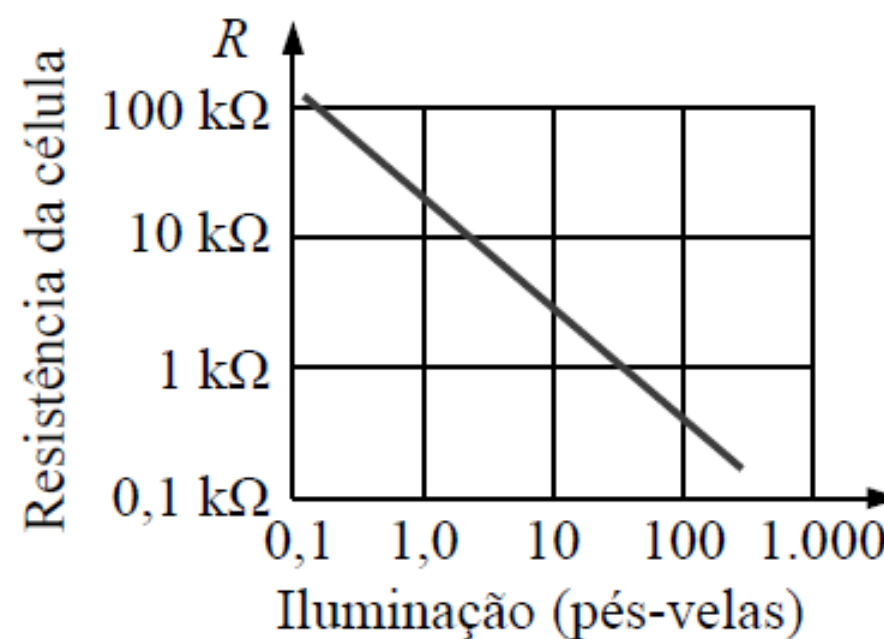


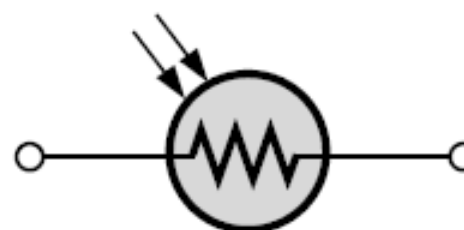
Figura 3.37 Termistores NTC (Coeficiente de Temperatura Negativo, do inglês *Negative Temperature Coefficient*) e PTC (Coeficiente de Temperatura Positivo, do inglês *Positive Temperature Coefficient*). (Cortesia da Siemens Components, Inc.)

Exemplos de Resistores

Célula fotocondutora - Resistor dependente de luz (LDR)



(a)



(b)

Figura 3.38 Célula fotocondutora: (a) características; (b) símbolo.

Exemplos de Resistores

Célula fotocondutora - Resistor dependente de luz (LDR)

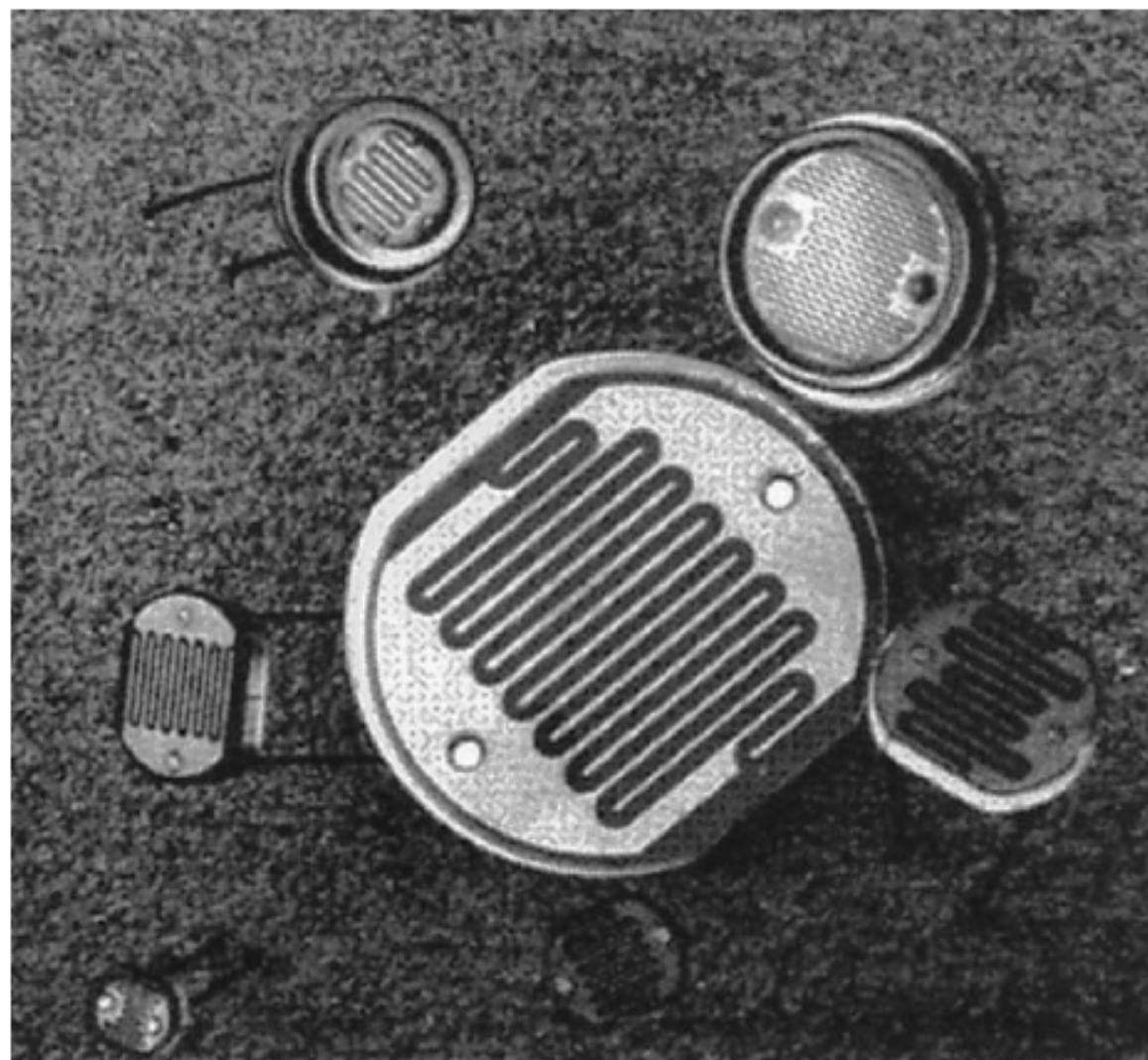
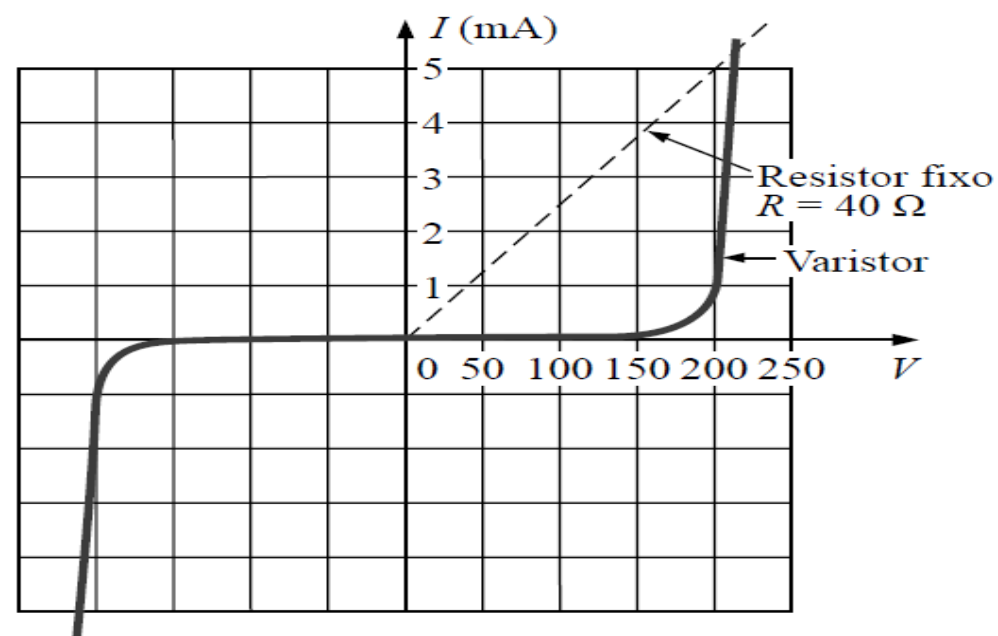


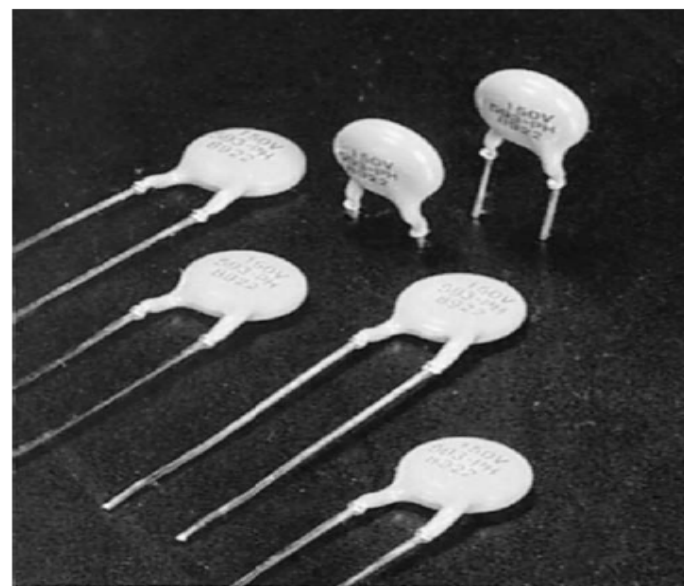
Figura 3.39 Células fotocondutoras. (Cortesia da PerkinElmer Optoelectronics.)

Exemplos de Resistores

Varistores



(a)

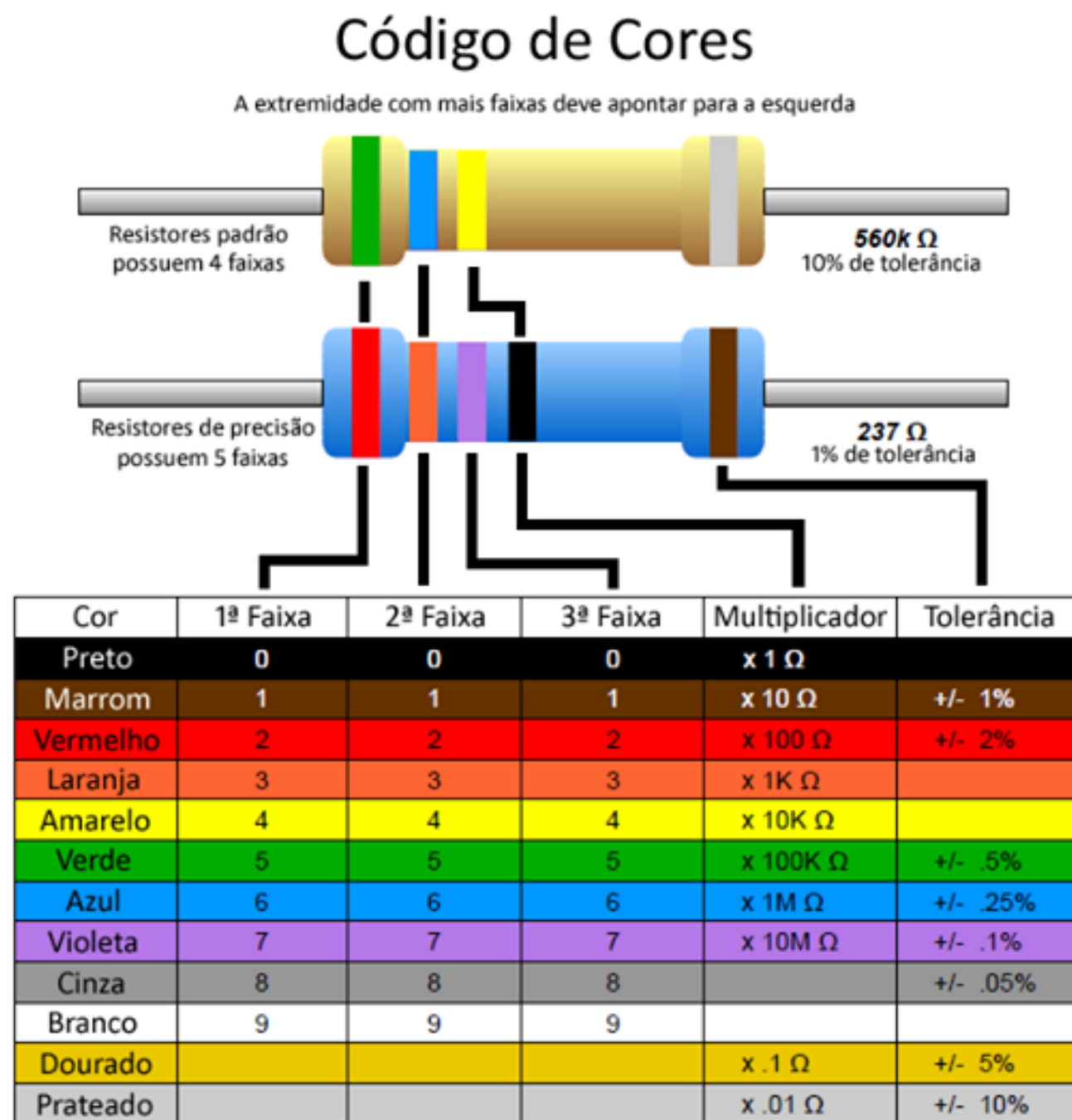


(b)

Figura 3.40 Varistores com tensão máxima entre 18 V e 615 V. (Cortesia da Philips Electronics.)

Código de cores e valores padrão

Código de cores



Código de cores e valores padrão

Valores padrão de resistores

Tabela 3.5 Valores-padrão dos resistores comercialmente disponíveis.

Ohms (Ω)					Kilohms ($k\Omega$)		Megohms ($M\Omega$)	
0,10	1,0	10	100	1000	10	100	1,0	10,0
0,11	1,1	11	110	1100	11	110	1,1	11,0
0,12	1,2	12	120	1200	12	120	1,2	12,0
0,13	1,3	13	130	1300	13	130	1,3	13,0
0,15	1,5	15	150	1500	15	150	1,5	15,0
0,16	1,6	16	160	1600	16	160	1,6	16,0
0,18	1,8	18	180	1800	18	180	1,8	18,0
0,20	2,0	20	200	2000	20	200	2,0	20,0
0,22	2,2	22	220	2200	22	220	2,2	22,0
0,24	2,4	24	240	2400	24	240	2,4	
0,27	2,7	27	270	2700	27	270	2,7	
0,30	3,0	30	300	3000	30	300	3,0	
0,33	3,3	33	330	3300	33	330	3,3	
0,36	3,6	36	360	3600	36	360	3,6	
0,39	3,9	39	390	3900	39	390	3,9	
0,43	4,3	43	430	4300	43	430	4,3	
0,47	4,7	47	470	4700	47	470	4,7	
0,51	5,1	51	510	5100	51	510	5,1	
0,56	5,6	56	560	5600	56	560	5,6	
0,62	6,2	62	620	6200	62	620	6,2	
0,68	6,8	68	680	6800	68	680	6,8	
0,75	7,5	75	750	7500	75	750	7,5	
0,82	8,2	82	820	8200	82	820	8,2	
0,91	9,1	91	910	9100	91	910	9,1	

Código de cores e valores padrão

Valores padrão de resistores

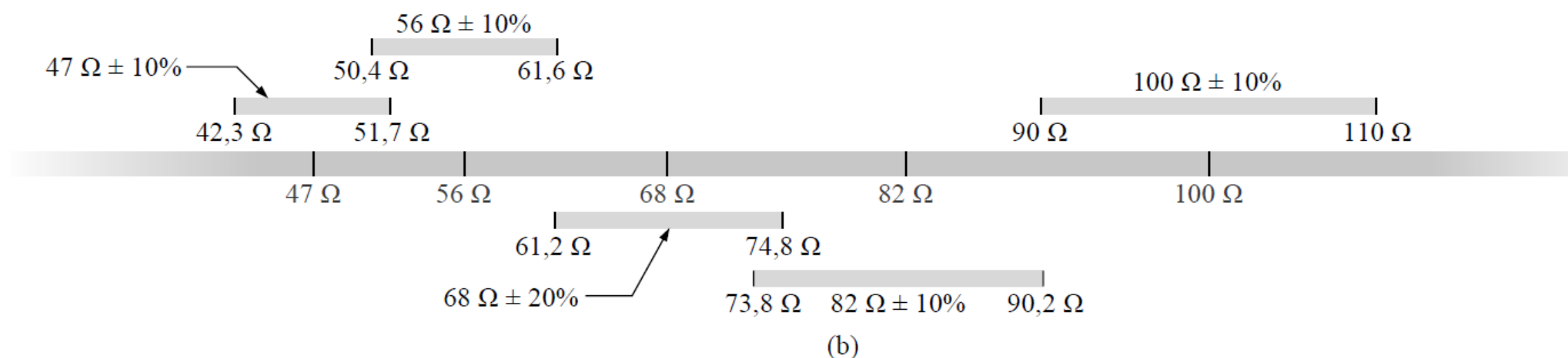
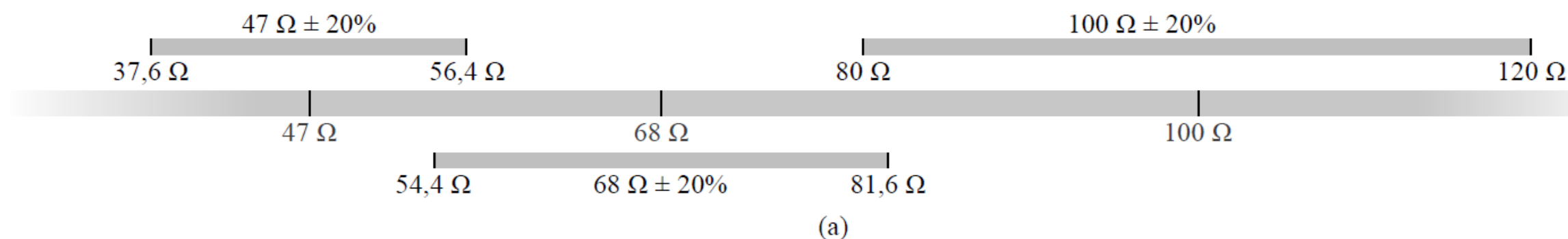


Figura 3.26 Garantia de todo o intervalo de valores de resistência para uma tolerância dada: (a) 20 por cento; (b) 10 por cento.

Outros tópicos

Condutância:

- Quando calculamos o inverso da resistência de um material, obtemos uma medida da facilidade com que o material conduz eletricidade.
- Essa grandeza é denominada condutância, cujo símbolo é G e cuja medida é dada em siemens (S).

Supercondutores:

- O campo da eletroeletrônica é um dos mais empolgantes de nosso tempo.
- Novos desenvolvimentos aparecem quase semanalmente em razão das intensas atividades de pesquisa e desenvolvimento.
- O ímpeto de pesquisa para desenvolver um supercondutor capaz de operar a temperaturas próximas da temperatura ambiente tem recebido uma atenção cada vez maior em anos recentes por causa da necessidade de cortar as perdas de energia.
- Em poucas palavras, supercondutores são condutores de eletricidade que, para todos os fins práticos, têm resistência zero.

Outros tópicos

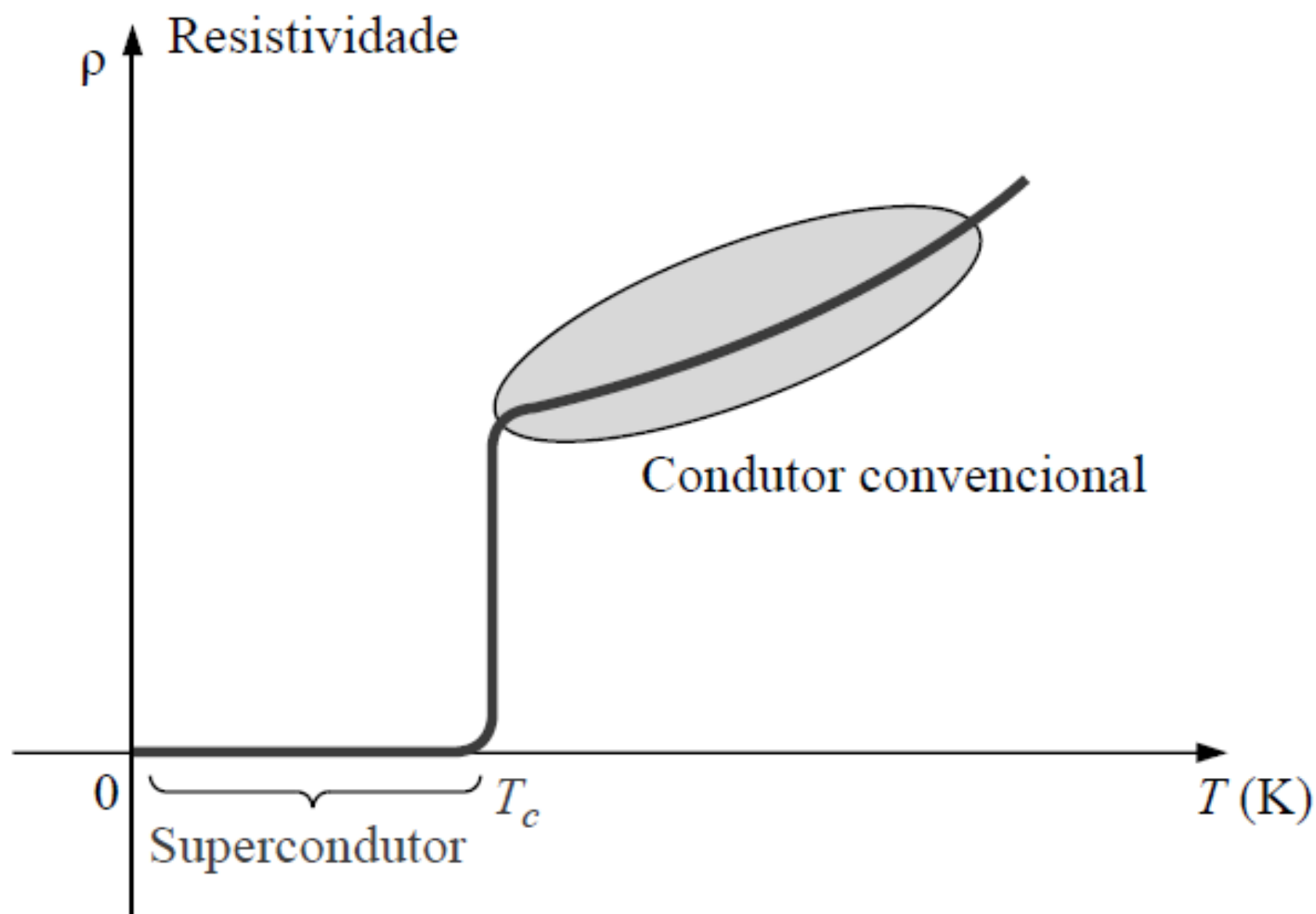
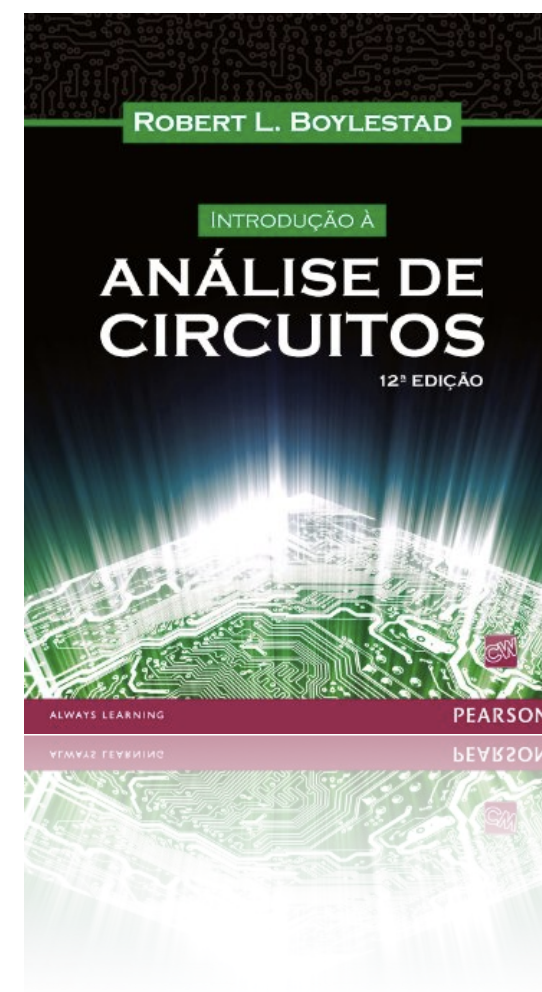
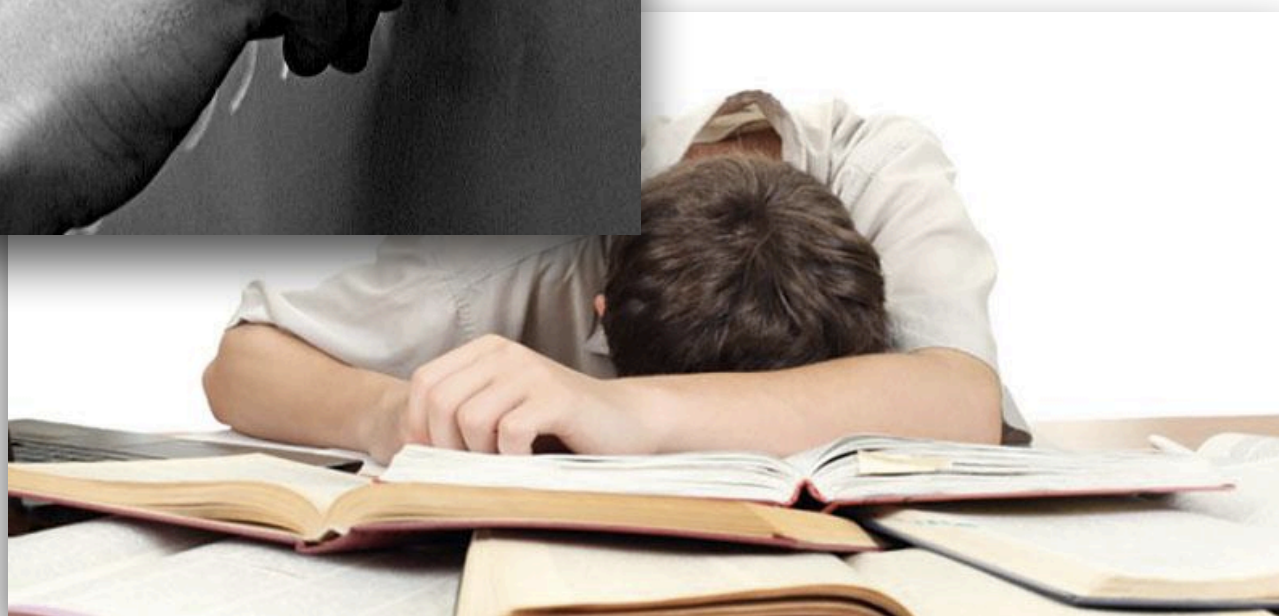
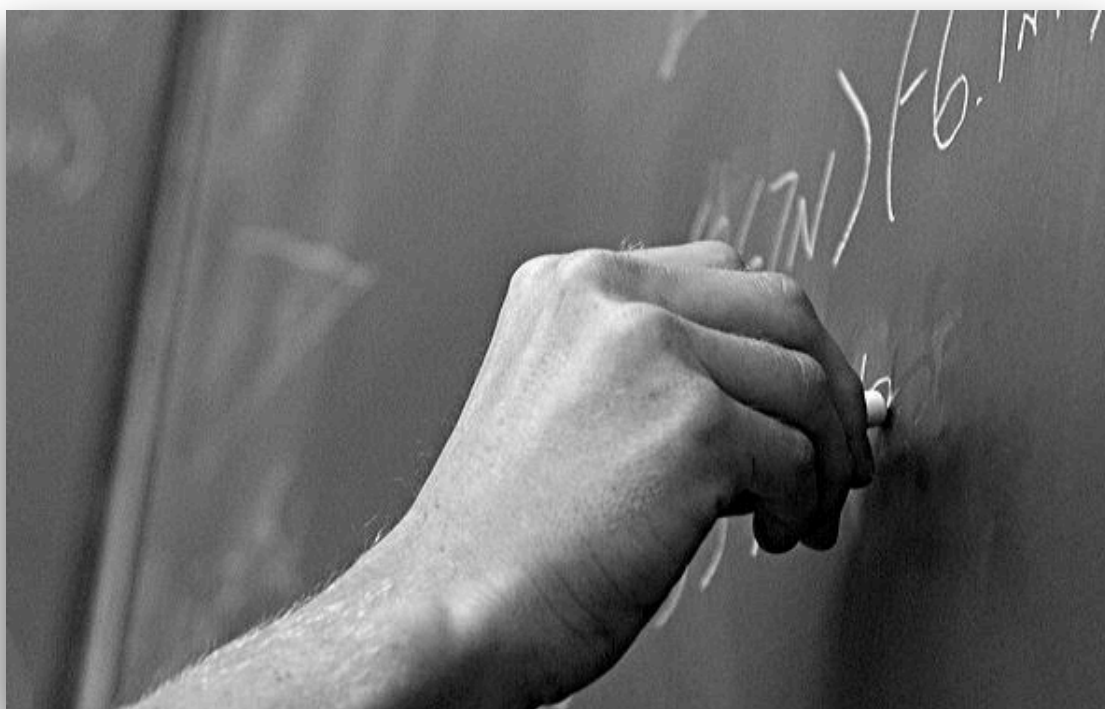


Figura 3.35 Definição da temperatura crítica T_c .

Demonstrações

Exemplos:

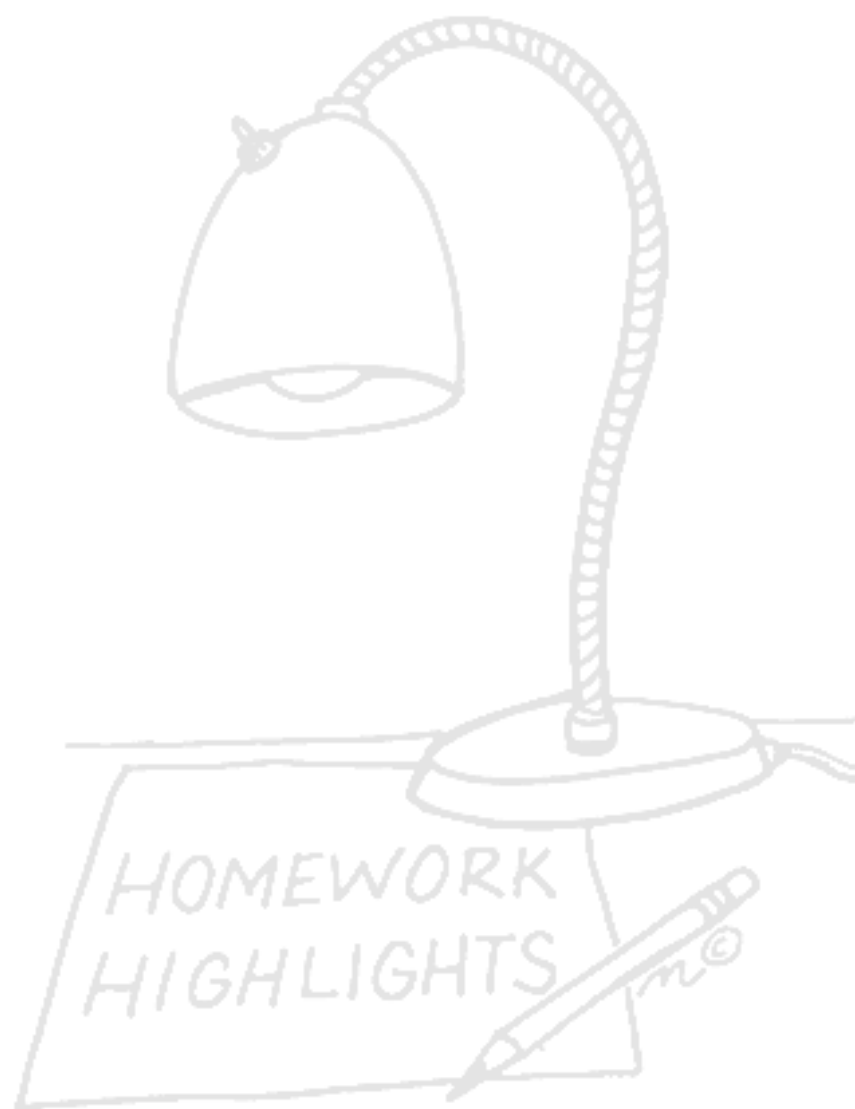
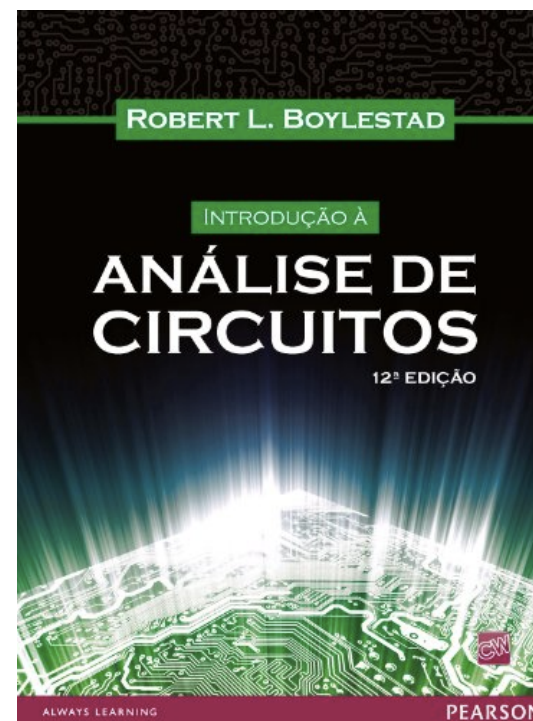
- Exemplos e problemas do capítulo 3 - Resistência do livro *Análise de Circuitos* de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.



Tarefas

Durante e após a aula:

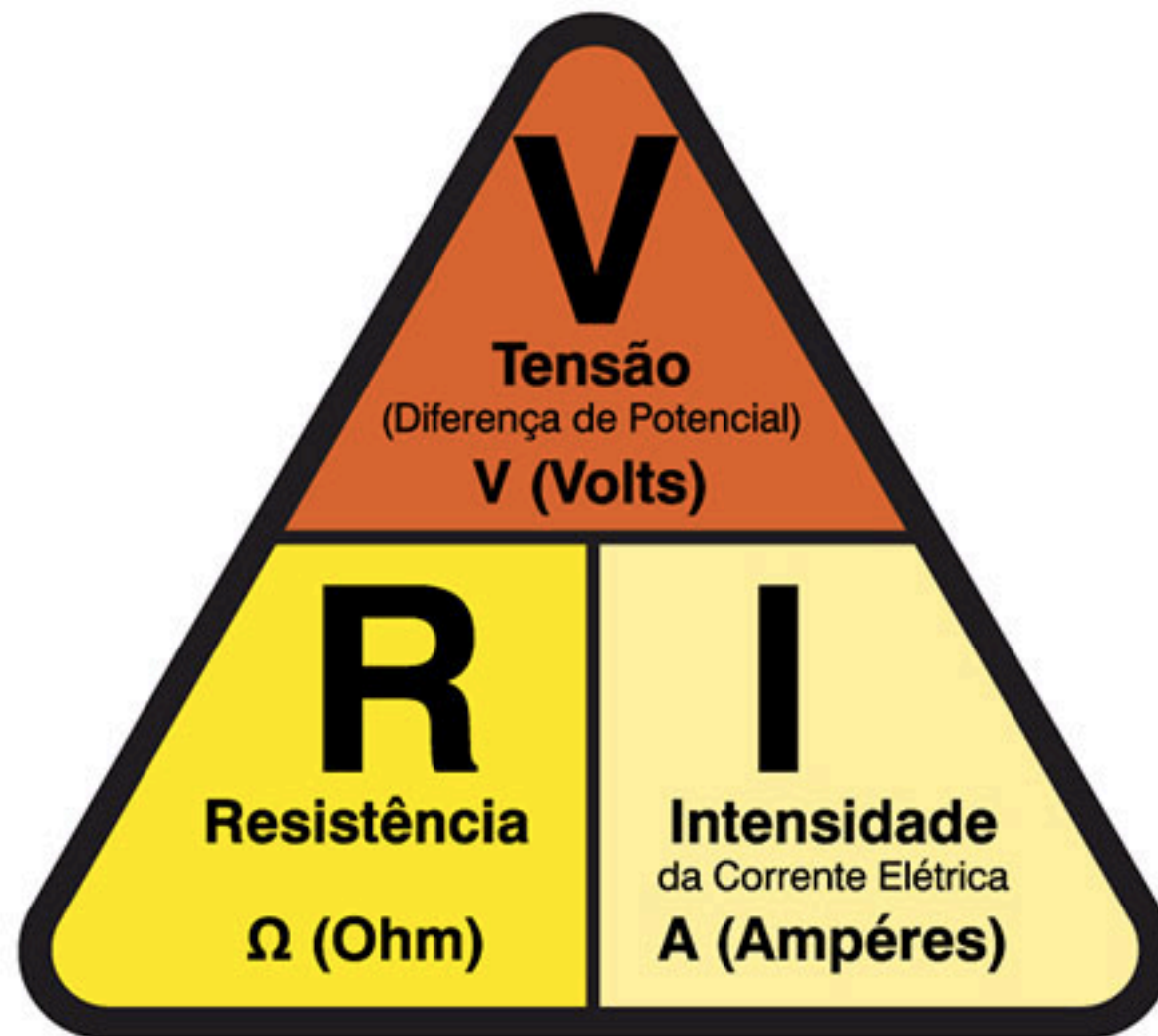
- Ler o capítulo 3 - Resistência do livro Análise de Circuitos de Robert L. Boylestad, Pearson, 2012.



Próxima Aula

Lei de Ohm.

Fórmula da Lei de Ohm



Fonte: <https://www.grupoescolar.com/pesquisa/lei-de-ohm.html>