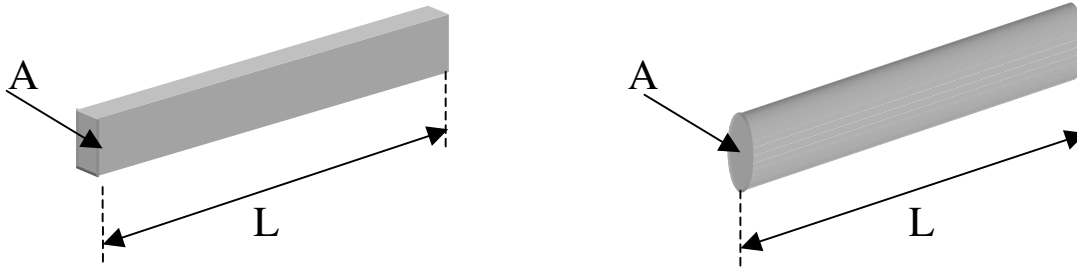


# APOSTILA MATERIAIS ELÉTRICOS - *CAPÍTULO II*

## MATERIAIS CONDUTORES

### RESISTÊNCIA :

Considerando os condutores abaixo de seção retangular e circular temos:



**1ª Lei de Ohm:** “A resistência elétrica num condutor filiforme e homogêneo é diretamente proporcional à ddp entre seus terminais e inversamente proporcional à corrente elétrica que o atravessa.”

**2ª Lei de Ohm:** “A resistência elétrica num condutor filiforme e homogêneo é diretamente proporcional ao seu comprimento e inversamente proporcional à área de sua seção transversal.”

Ou seja:  $V = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{L}{S} \cdot I$  Ou ainda:  $R = \frac{V}{I} = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{L}{S} = \rho \cdot \frac{L}{S}$

Onde:  $V$  = ddp entre os terminais do condutor

$I$  = corrente elétrica que o atravessa

$L$  = comprimento do condutor

$S$  = área de seção transversal

$\sigma$  = condutividade elétrica do material do condutor

$\rho$  = resistividade elétrica do material do condutor ou resistência específica

Alguns valores de  $\rho$  e  $\sigma$ :

Metal	$\sigma$ ( x 10 <sup>6</sup> S/m)	$\rho$ ( $\Omega$ .mm <sup>2</sup> /m)
Prata	62,9	0,0162
Cobre	58	0,0169
Ouro	41	0,0240
Alumínio	35,5	0,0262
Níquel	12,8	0,072
Platina	10	0,10
Ferro	10	0,098
Bronze	5,5	0,18
Aço Silício	1,6	0,62

## CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS METAIS CONDUTORES

**COBRE:** as características principais do cobre são:

- a) **não é magnético e pode ser utilizado puro ou em ligas com outros metais que lhe conferem excelentes propriedades químicas e físicas;**
- b) o cobre é mais eficiente, resistente e confiável metal pra ser utilizado em condutores elétricos;
- c) **o cobre é padrão de condutibilidade – em 1913 a condutibilidade do cobre foi adotada como padrão, definindo-a como sendo 100% para cobre recozido, que, em inglês, tornou-se a sigla IACS: *International Annealed Copper Standard* - Padrão Internacional do Cobre Recozido.;**
- d) o cobre é compatível com conectores e outros dispositivos;
- e) **o cobre possui resistência mecânica e ductibilidade;**
- f) o cobre é fácil de instalar;
- g) **o cobre resiste à corrosão;**
- h) o cobre atende às especificações praticadas nos mais diferentes países;
- i) **o cobre é econômico;**

**ALUMÍNIO:** as principais características do alumínio são:

- a) **o alumínio tem maior resistividade e, conseqüentemente, menos condutividade, porém é mais leve;**
- b) comparando com o cobre o alumínio possui as seguintes características:

Características	Cobre	Alumínio
Condutividade (%)	100	61
Resistividade ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )	0,01724	0,0283
Densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	8,89	2,7
Ponto de fusão ( $^{\circ}\text{C}$ )	1083	659

### COMPARAÇÃO ECONÔMICA COBRE x ALUMÍNIO

a) **RELAÇÃO DE SECCÕES TRANSVERSAIS PARA MESMA RESISTÊNCIA ELÉTRICA:**

$$S_{Cu} = 0,61 \cdot S_{Al}$$

b) **RELAÇÃO DE PESOS:**

$$W_{Cu} = 2 \cdot W_{Al}$$

c) **RELAÇÃO DE CUSTOS:**

$$Custo_{Cu} = 2 \cdot \frac{\$kg_{Cu}}{\$kg_{Al}} \cdot Custo_{Al}$$

## APLICAÇÕES DE COBRE E ALUMÍNIO

Cobre	Alumínio
Instalações Elétricas de Baixa Tensão	Linhas Aéreas de Transmissão e Distribuição
Enrolamentos de Motores e Transformadores	Barramentos de Subestações
Cabos Isolados	Cabos Isolados
Barramentos de Alta Corrente	
Aterramentos	

## MATERIAIS CONDUTORES

### VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA COM A TEMPERATURA

Nos condutores a resistência aumenta com o aumento da temperatura. Variando a temperatura, varia a resistência e a corrente. Pode causar efeitos de variação de tensão relevantes.

**1º Processo de variação:** pode variar com a temperatura conforme a equação

$$R = R_o \cdot [1 + \alpha_o \cdot (\theta - \theta_o)]$$

$R$  = resistência do condutor à temperatura  $\theta$   
 $R_o$  = resistência do condutor à temperatura  $\theta_o$   
 $\alpha_o$  = coeficiente de variação da resistência com a temperatura para a temperatura  $\theta_o$

Para o cobre 100% IACS tem-se que:

$\theta_o$ (°C)	$\alpha_o$ (°C <sup>-1</sup> )
0	0,00470
20	0,00393
25	0,00385

Mas, se o cobre não for 100% IACS pode-se estimar o valor de  $\alpha$  através da equação:

$$\alpha_n = \alpha_{padr\tilde{a}o} \cdot \left( \frac{n(\%)}{100} \right)$$

Mais ainda, para se conhecer-se o valor de  $\alpha_R$ , a uma dada temperatura  $\theta_R$  a correção pode ser feita pela equação:

$$\alpha_R = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_o} + (\theta_R + \theta_o)}$$

**2º Processo:** a resistência pode variar com a temperatura através da equação:

$$R = R_o \cdot \left( \frac{K + \theta}{K + \theta_o} \right)$$

Esta equação é mais utilizada que a anterior pois  $K$  só depende do material, onde:

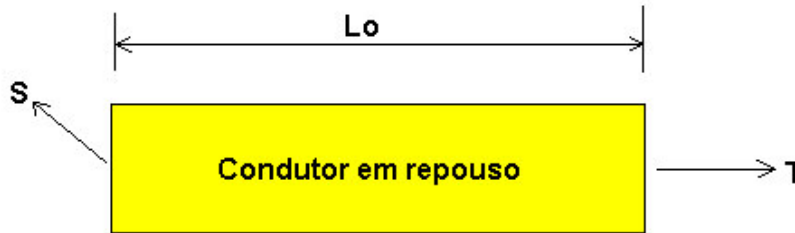
**Cobre 100% IACS:  $K = 234,5$  °C**

**Cobre 97,3% IACS:  $K = 242,0$  °C**

## II. PROPRIEDADES MECÂNICAS – deformação (tração e temperatura)

### II.1 Deformação com a tração:

Seja um condutor de seção transversal constante  $S$  e comprimento inicial  $L_o$ :



Ao ser tracionado, isto é, submetido a um esforço de tração  $T$ , o condutor sofre uma variação no seu comprimento inicial que é dado por

$$\Delta L = \frac{T \cdot L_o}{S \cdot E}$$

Onde:  $\Delta L$  = variação do comprimento pelo esforço de tração

$E$  = módulo de elasticidade (ou de Young) do material do condutor

Para o condutor composto (mais de 1 material):

Sendo  $E$  médio e a variação do comprimento é

$$\Delta L = \frac{T_{total} \cdot L_o}{S_{total} \cdot E} \quad E = \frac{S_1 \cdot E_1 + S_2 \cdot E_2}{S_1 + S_2}$$

### II.2 Variação do comprimento com a temperatura:

**DILATAÇÃO LINEAR.:**  $\Delta L = L_o \cdot k' \cdot (\theta - \theta_o)$

$k'$  = coeficiente de variação do comprimento com a temperatura

$$k' = \frac{k_1 \cdot S_1 \cdot E_1 + k_2 \cdot S_2 \cdot E_2}{S_1 \cdot E_1 + S_2 \cdot E_2}$$

Para os condutores compostos tem-se que:

## CONDUTORES COMERCIAIS

### PADRÃO DE COMERCIALIZAÇÃO E CORRENTE MÁXIMA

I) **Padrão de comercialização:** Existem dois padrões, a saber:

- a) **AWG (American Wire Gauge)**  $\diamond$  americano
- b) **IEC (International Electrotechnical Commission)**  $\diamond$  europeu

No Brasil (desatualizado) ainda se utilizam ambos os padrões

- a) **AWG:** número de vezes que o condutor é trefilado, (ferramenta de corte em forma circular que desbasta o condutor até ele atingir o diâmetro desejado).

AWG	D (mm)	AWG	D (mm)	AWG	D (mm)
0	8,2	18	1,02	35	0,14
2	6,5	19	0,91	36	0,13
4	5,19	20	0,81	37	0,11
5	4,62	21	0,72	38	0,10
6	4,11	22	0,64	39	0,09
7	3,66	23	0,57	40	0,08
8	3,26	24	0,51	41	0,07
9	2,90	25	0,45	42	0,06
10	2,59	26	0,40	43	0,056
11	2,30	27	0,36	44	0,051
12	2,05	28	0,32	45	0,044
13	1,83	29	0,28	46	0,040
14	1,63	30	0,25	47	0,0356
15	1,45	31	0,22	48	0,0315
16	1,29	32	0,20	49	0,0282
17	1,15	33	0,18	50	0,0251
		34	0,16	51	0,0224
				52	0,0198

Se a área (bitola) > 0 AWG ele passa pela denominação /0 MCM, dada por:

$$1/0 \text{ MCM} \diamond \# 0 \text{ AWG} \diamond S = 53,5 \text{ mm}^2$$

$$2/0 \text{ MCM} \diamond \# 00 \text{ AWG} \diamond S = 67,4 \text{ mm}^2$$

$$3/0 \text{ MCM} \diamond \# 000 \text{ AWG} \diamond S = 85,0 \text{ mm}^2$$

$$4/0 \text{ MCM} \diamond \# 0000 \text{ AWG} \diamond S = 107,0 \text{ mm}^2$$

$$\text{onde: MCM} = \text{mil circular mil} \diamond 1 \text{ MCM} = 0,5067 \text{ mm}^2$$

$$1 \text{ M} = 1 \text{ mil} = 1 \text{ "mil esimum" de in} = 10^{-3} \text{ in} = 0,001 \text{ in}$$

1 CM = 1 circular mil = área de um círculo de diâmetro 1 milésimo de poleg

$$\text{Assim: } 1 \text{ CM} = 0,5067 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^2$$

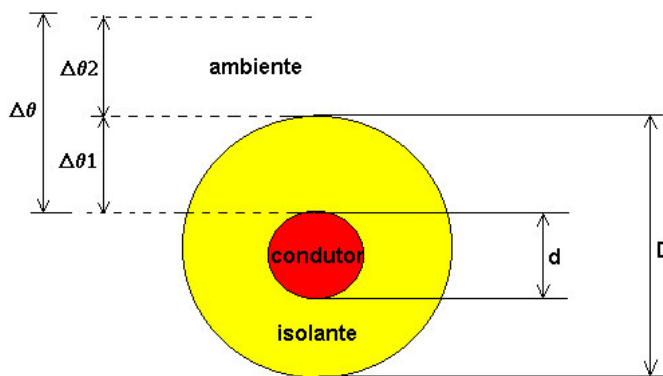
**b) IEC – Série métrica:** bitola é dada diretamente pela sua seção em  $\text{mm}^2$ .

**II) Correntes Máximas:** - Não deve haver nem aquecimento. É função de

- tipo de isolante; diâmetro do isolante; tipo de condutor;
- temperatura máxima de projeto; temperatura máxima ambiente;
- maneira de instalar o condutor (em eletrodutos, ao ar livre, em canaletas etc.); número de condutores no sistema;

a) Modelo físico: o modelo físico adotado para o estudo da corrente máxima é dado na figura ao lado.

A equação geral do processo é dada pela soma de todas as perdas no condutor isolado:



Nos condutores onde  $d \ll D$  (instalações elétricas de BT) pode-se fazer que:

$$W_{Joule} \cdot (T_1 + T_2) + W_{dielétrica} \left( \frac{T_1}{2} + T_2 \right) = \Delta\theta$$

$W_{dielétrica} = 0$  Então:

$$W_{Joule} \cdot (T_1 + T_2) = R \cdot I^2 \cdot (T_1 + T_2) = \Delta\theta$$

Onde: **R = resistência do condutor** corrigida para a temperatura ambiente;

**T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> = condutâncias térmicas** que dependem do material do isolante, da temperatura de projeto, da temperatura ambiente, etc.

**Δθ = variação de temperatura** entre o condutor e o meio ambiente. LOGO

Na tabela temos I<sub>max</sub> para 70° C de projeto, 30° C no ambiente, 3 condutores carregados em 1 eletroduto, isolamento em PVC

$$I_{máx} = \sqrt{\frac{\Delta\theta}{R \cdot (T_1 + T_2)}}$$

(mm <sup>2</sup> )	I (A)	(mm <sup>2</sup> )	I (A)
1,5	15,5	50,0	134,0
2,5	21,0	95,0	207,0
4,0	28,0	150,0	272,0
6,0	36,0	300,0	419,0
10,0	50,0	400,0	502,0
16,0	72,0	500,0	578,0
25,0	89,0		
35,0	111,0		

**OBS:** dois condutores em paralelo separados conduzem mais do que um único condutor de área dupla, por haver dissipação de calor. Ver tabela.

A **NBR 5410** diz que, para ligar-se dois condutores em paralelo, tem que:

- que os condutores a serem ligados tenham a mesma bitola;

- que sejam conectados nos dois extremos; que ter seção superior a 35 mm<sup>2</sup>;

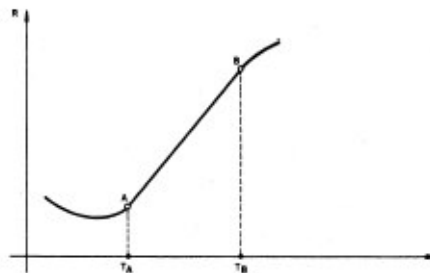


Fig. 3.1 - Representação da variação da resistência R em função da temperatura T

### *Resistência de contato nos metais*

Uma peça metálica sobre outra, p/ contato elétrico, ficam separadas, independente da pressão comparando-se da às dimensões do átomo.

Na verdade existem alguns pontos de contato perfeito e o resto dos pontos a distância da ordem de  $\mu\text{m}$ . Onde se dá a resistência de contato.

A passagem de energia de uma peça a outra se dá por dois modos:

⇒ através de uma zona de contato íntimo, ou de condução;

⇒ através de uma zona de disrupção, onde o gradiente de potencial pode alcançar valores elevados, muito pouco inferiores a rigidez dielétrica do ar.

Surgem fenômenos condutores e disruptivos. Não é possível usar lei de Ohm.

“Resistência de contato” é a relação entre a tensão nos bornes de um contato e a intensidade de corrente que o atravessa. É constante e depende da pressão de contato, composição, forma, seção, sentido e intensidade da corrente, etc.

A prata, o cobre, o bronze, o latão e o tungstênio dão bons contatos, a resistência dos contatos de alumínio, entretanto, é muito elevada.

O contato em corrente contínua apresenta uma resistência independente da intensidade de corrente.

Deve só existir pequena diferença de temperatura entre o contato os pontos ao redor. Não deve acontecer a formação de pares galvânicos (em presença de um líquido condutor ou simplesmente da umidade).

### **Materiais de Elevada Condutividade**

Os metais são elementos químicos que formam sólidos opacos, lustrosos, bons condutores de eletricidade e calor e, quando polidos, bons refletores de luz. A maioria dos metais

é forte, dútil, maleável e, em geral, de alta densidade.

### ***Cobre e Suas Ligas***

arantem posição de destaque entre os metais condutores devido:

- à Pequena resistividade. Somente a prata tem valor inferior(mais caro)
- à características mecânicas favoráveis,
- à baixa oxidação para a maioria das aplicações. O cobre oxida bem mais lentamente, perante elevada umidade, que diversos outros metais; esta oxidação entretanto, é bastante rápida quando o metal sofre elevação de temperatura;

- à fácil deformação a frio e a quente: é relativamente fácil reduzir a seção transversal do cobre, mesmo para fios com frações de milímetros de diâmetro.

O cobre tem cor avermelhada característica, o que o distingue de outros metais, que, com exceção do ouro, são geralmente cinzentos, com diversas tonalidades.

O valor da condutividade informa sobre o grau de pureza do cobre. A máxima pureza é encontrada no cobre obtido em ambiente sem oxigênio, quando se aproxima da condutividade do cobre eletrolítico. Destaque-se então que a condutividade elétrica do cobre é muito influenciada na presença de impurezas, mesmo em pequenas quantidades. A resistividade do cobre a 20°C é de:  $\rho = 1,7241 \text{ m}\Omega\text{cm}$  e seu coeficiente de termoresistividade vale:  $\alpha = 0.00393/^\circ\text{C}$ . Estas e outras propriedades podem ser observadas na Tabela 3.4.

O cobre resiste bem à ação da água, de fumaças, sulfatos, carbonatos, sendo atacado pelo oxigênio do ar, e em presença deste, ácidos, sais e amoníaco podem corroer o cobre. O cobre é obtido em forma eletrolítica, fundido e transformado em lingotes. Na transformação subsequente aos perfis e peças desejadas, quando não se usa a fusão e sim uma transformação mecânica por laminação e estiramento, efetua-se primeiramente um aquecimento do lingote para facilitar a transformação bruta, até temperaturas de 920-980°C.

Na laminação a frio, o cobre se torna mais duro e elástico, e reduz sua condutividade. É o estado de cobre encruado. Essa modificação de características pode representar um impecilho

ao uso do metal e, nesse caso, se faz o seu recozimento a uma temperatura de 500-560°C.

### **Aplicações do Cobre:**

O cobre encruado ou duro é usado nos casos em que se exige elevada dureza, resistência à tração e pequeno desgaste, como no caso de redes aéreas de cabo nú em tração elétrica, particularmente, para fios telefônicos, para peças de contato e para anéis coletores. Em todos os demais casos, principalmente em enrolamentos, barramentos e cabos isolados, se usa o cobre mole ou recozido.

Casos intermediários precisam ser devidamente especificados.

Em muitos casos, porém, o cobre não pode ser usado na forma pura, quando então as ligas de cobre passam a ser encontradas.

As ligas melhoraram alguma das propriedades do cobre, e pode prejudicar outras propriedades.

### **Ligas de Cobre:**

Deve-se observar também aspectos econômicos. Níquel e estanho pode aumentar o preço da liga, aumentando certas propriedades, ao passo que, zinco, chumbo permite abaixar o preço sem redução de características técnicas.

Um exemplo de liga de cobre são os bronzes (cobre e estanho) que podem suportar adições de chumbo, de zinco e as vezes de níquel.



O bronze apresenta a característica de ser resistente ao desgaste por atrito, fácil usinagem e são ligas elásticas.

Suas aplicações principais são em rolamentos, partes de máquinas, engrenagens, trilhos de contato, molas condutoras, fios finos e peças fundidas.

As propriedades variam de acordo com o percentual de estanho (Tabela 3.1)

Já os latões tradicionais são ligas de cobre e zinco, às quais se adiciona um pouco de chumbo ou alumínio. Em princípio o uso de latões comuns não é aconselhável quando existirem problemas de corrosão. Porém este não é o mesmo caso quando são empregados latões de alta resistência (55-70% Cu, 20-35% Zn + Al, Mn, Fe, Ni, Sn, etc.), os quais são possuidores de excelentes propriedades mecânicas e de notável resistência à corrosão em determinados ambientes.

Tabela 3.1 - Características da Ligas de Cobre

<i>Liga</i>	<i>Tratamentos</i>	<i>Condutividade, em relação ao cobre (%)</i>	<i>Resistência à tração, em kg/mm<sup>2</sup></i>	<i>Alongamentos, (%)</i>
Cu + Cd (0,9 Cd)	recozido	95	até 31	50
	encruado	83-90	até 73	4
Bronze 0,8 Cd + + 0,6 Sn Cu > 60%	recozido	55-60	29	55
	encruado	50-55	até 73	4
Bronze 2,5 Al + 2 Sn	recozido	15-18	37	45
	encruado	15-18	até 97	4
Bronze fosforoso 7Sn + 1P	recozido	10-15	40	60
	encruado	10-15	105	3
Latão 30 Zn	recozido	25	32-35	60-70
	encruado	25	até 88	5
Bronze BI 0,1% Mn, o resto Cu	—	82	50-52	—
BII 0,8 Mn ou 1% Sn + + 1 Cd	—	60	56-58	—
BIII 2,4% Sn ou 1,2 Sn + + 1,2 Zn	—	31	66-74	—

As de Cobre e alumínio (8 a 12% de alumínio) têm propriedades comparáveis à dos aços inoxidáveis, e podem ser obtidas mais facilmente, por fundição em areia ou em moldes metálicos; ligas cobre-cromo, etc.

No global de suas propriedades, o alumínio é o segundo metal mais usado na eletricidade, havendo nos últimos anos uma preocupação permanente em substituir mais e mais as aplicações do cobre pelo alumínio, por motivos econômicos.

Alguns aspectos, baseados principalmente no custo (mesmo levando em conta compensações no dimensionamento das partes condutoras) e produção nacional maior do alumínio, têm levado a crescente preferência pelo alumínio, cujo maior problema é a sua fragilidade mecânica e sua rápida, porém não profunda, oxidação.

A Tabela 3.2 apresenta uma comparação de algumas características do cobre e o alumínio.

### 3.2 - Comparação de características físicas entre cobre e alu

<i>Característica física</i>	<i>Alumínio (duro)</i>	<i>Cobre (duro)</i>	<i>Padrão IACS*</i>
Densidade a 20 °C (g/cm <sup>3</sup> )	2,70	8,89	8,89
Condutividade mínima porcentual a 20 °C	61	97	100
Resistividade máxima a 20 °C (Ωmm <sup>2</sup> /m)	0,0282	0,0177	0,0172
Relação entre os pesos de condutores de igual resistência em corrente contínua e igual comprimento	0,48	1,03	1,00
Coefficiente de variação da resistência por °C a 20 °C	0,0040	0,0038	0,0039
Calor específico (cal/g °C)	0,214	0,092	0,092
Condutividade térmica (cal/cm <sup>2</sup> .s. °C)	0,48	0,93	0,93
Módulo de elasticidade do fio sólido (kgf/mm <sup>2</sup> )	7.000	12.000	—
Coefficiente de dilatação linear/°C	$23 \times 10^{-6}$	$17 \times 10^{-6}$	$17 \times 10^{-6}$

\* Padrão IACS: Padrão Internacional do cobre recosido, tomado como referência de 100% de condutividade.

Mesmo considerando a necessidade de condutores de alumínio com diâmetro maior que seria necessário se o material fosse cobre, o fio de alumínio ainda tem aproximadamente a metade do peso do de alumínio, o que reduz o custo dos elementos de sustentação envolvidos, dado importante na construção de linhas de transmissão. O uso do alumínio adquiriu, por essas razões importância especial nas instalações elétricas em aviões. Outro aspecto é o comportamento oxidante, já mencionado. O alumínio apresenta uma

oxidação extremamente rápida, formando uma fina película de óxido de alumínio que tem a propriedade de evitar que a oxidação se amplie. Entretanto, esta película apresenta uma resistência elétrica elevada com uma tensão de ruptura de 100 a 300V, o que dificulta a soldagem do alumínio, que por essa razão exige pastas especiais.

A corrosão galvânica é uma situação particular, própria entre metais afastados na série galvânica dos elementos. Devido ao grande afastamento e à conseqüente elevada diferença de potencial entre o cobre o alumínio, essa corrosão se apresenta sempre que o contato entre Cu e Al ocorre num ambiente úmido. Por essa razão, os pontos de contato Al-Cu precisam ser isolados contra a influência do ambiente.

Tabela 3.3 - Características de ligas de alumínio

Composição	Tipo	Resist. tração (kg/mm <sup>2</sup> )	Dureza Brinell (kg/mm <sup>2</sup> )	Condat. elétrica (Ωmm <sup>2</sup> /m)	Coefficiente de temperatura $\alpha_T(1/^\circ\text{C})$	Características
AlCuMg Dura- alumínio	ligas normais- mole	< 25	< 60	28	$3,5 \times 10^{-3}$	para construção de peças; sofrem corrosão
	encruado	40	100	20	$2,1 \times 10^{-3}$	
	ligas com elevada resistência: encruado	40	110	—	—	
	encruado e laminado a frio	30 ... 50	120	—	—	
Al Mg Si	mole.	8	35	30	$3,5 \times 10^{-3}$	resistência mecânica média, boa deformabilidade boa estabilidade química
	duro.	16	55	26	$3,5 \times 10^{-3}$	
	laminado a frio.	10	60	27	$2,8 \times 10^{-3}$	
	laminado a quente	20	80	27	$2,8 \times 10^{-3}$	
Al Mg Si ( Aldrey )	mole	10	30	30	$3,6 \times 10^{-3}$	usado em cabos
	encruado	30	80	33	$3,6 \times 10^{-3}$	
Al Mg (valores médios)	mole	22	55	20	$2,4 \times 10^{-3}$	estável contra água do mar não suporta soluções alcalinas. Quanto maior % Mg maior dificuldade para soldagem
	meio mole	28	70	17	$2,1 \times 10^{-3}$	
	duro	30	90	15	$1,8 \times 10^{-3}$	
Al Mn	mole	7	20	25	$2,7 \times 10^{-3}$	Melhor estabilidade que Al, boa capacidade de soldagem
	meio mole	12	30	24	$2,7 \times 10^{-3}$	
	duro	15	40	23	$2,7 \times 10^{-3}$	
Al Mg Mn	mole	15	40	23	$2,4 \times 10^{-3}$	Estabilidade média perante sais e ácidos.
	meio mole	20	50	22	$2,4 \times 10^{-3}$	
	duro	25	60	21	$2,4 \times 10^{-3}$	

Aplicações e Ligas do Alumínio: O alumínio puro apenas é usado nos casos em que as solicitações mecânicas são pequenas. Tal fato ocorre, por exemplo, nos cabos isolados e em capacitores. Entretanto, é bastante grande o número de ligas de alumínio usadas eletricamente, nas quais este é associado principalmente a Cu, Mg, Mn e Si, que, com exceção do silício, formam sistemas cristalinos mistos, sensivelmente dependentes das condições de temperatura em que a liga é processada. Alguns exemplos de ligas de alumínio, assim como suas características, são apresentados na Tabela 3.3.

O pequeno peso específico das ligas de alumínio leva, na área eletrotécnica, às seguintes aplicações principais:

- ◆ em equipamento portátil, uma redução de peso;
- ◆ em partes de equipamento elétrico em movimento, redução de massa, da energia cinética e do desgaste por atrito;
- ◆ de peças sujeitas a transporte, maior facilidade nesse transporte, extensiva à montagem dos mesmos;
- ◆ em estruturas de suporte de materiais elétricos (cabos, por exemplo) redução do peso e conseqüente estrutura mais leve;
- ◆ em locais de elevada corrosão, o uso particular de ligas com manganês

Metal	Resistência à tração (kgf/mm <sup>2</sup> )	Alongamentos %	Peso específico a 20 °C (g/cm <sup>3</sup> )	Temperatura de fusão (°C)	Temperatura de evaporação (°C)	Coefficiente de temperatura da resistência $\alpha_T$ a 20 °C (1/°C) $\times 10^{-3}$	Resistividade a 20 °C ( $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ )
Cobre	fundido – 15 a 20	35 – 40	8,3 a 8,9	1083	2360	3,82 – 4,30	0,0169
	laminado e	35 – 40					0,0179
	recosido – 20 a 26	2 – 6					0,0182
Alumínio	encruado – 35 a 45	40 – 50	2,7	658	2270	4,20 a 4,30	0,0262
	recosido – 3,5 – 6	4 a 5					0,0295
Chumbo	1,6	55	11,4	327	1560	4,10	0,20 a 0,22
Estanho	1,5 – 4,0	–	7,3 a 7,8	232	2360	4,40	0,114
Prata	16 – 30	50	10,5	960	1918	3,60 a 4,00	0,0162
Ouro	27	–	19,3	1063	2700	3,70	0,021 – 0,024
Platina	20 – 40	3 – 45	21,4	1773	4300	30,7	0,10
Mercurio	–	–	13,55	solidif. – 39	357	0,9	0,95 – 0,96
Zinco	3 – 36	0,5 a 50	7,14	419	900	3,5 a 4,7	0,06
Cádmio	6	–	8,6	321	767	–	–
Níquel	40 – 45	25 a 30	8,9	1450	3147	5 a 6	0,07 – 0,09
Cromo	–	100 – 10 <sup>-7</sup>	7,2	1920	2660	–	0,7 – 0,8
Tungstênio	400	1 – 4	19 – 20	3400	5000 – 6000	5,2	0,05 – 0,06
Molibdênio	180 – 200	2 – 5	10,2	2630	3600	4,8	0,0477



[http://www.materiaiseletricos.ufba.br/materiais\\_eletricos.html](http://www.materiaiseletricos.ufba.br/materiais_eletricos.html)

CONTINUA NA 2ª PARTE