

# Ligas de alumínio para aplicações aeroespaciais

Propriedades e aplicações

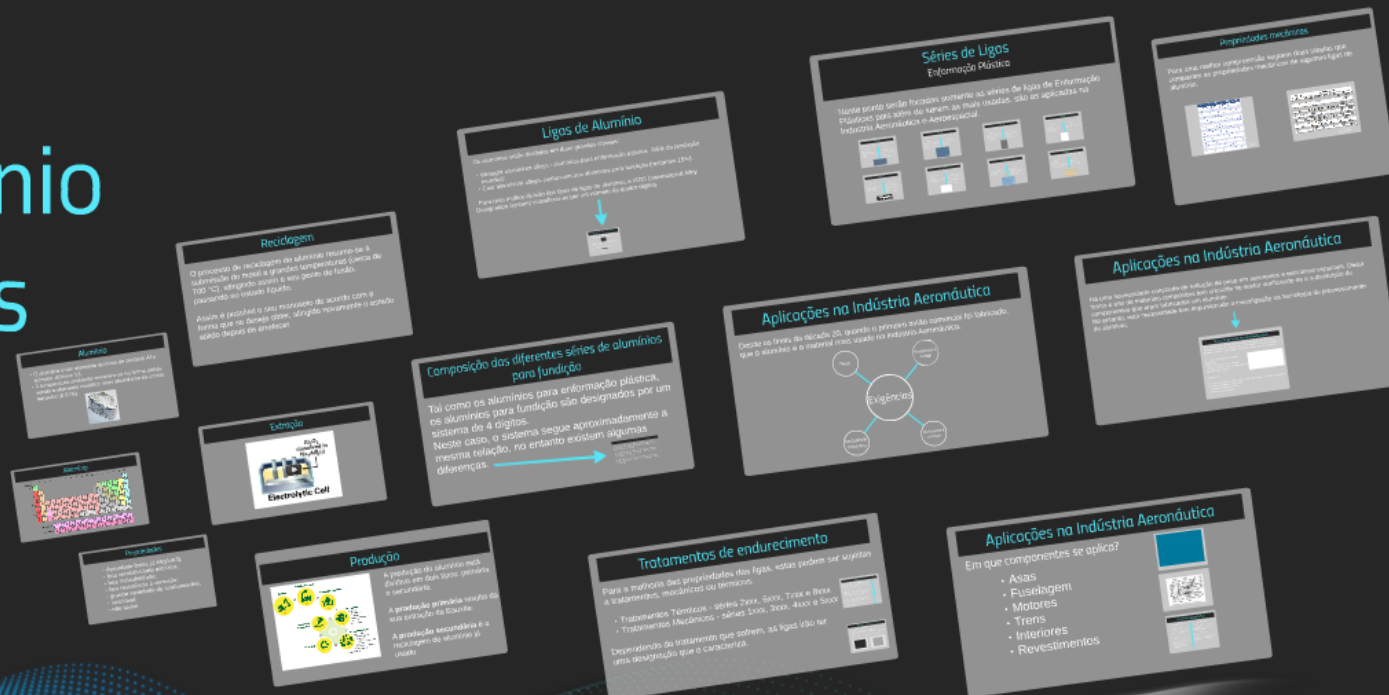
Sara Claro nº27297  
2014/2015



# Ligas de alumínio para aplicações aeroespaciais

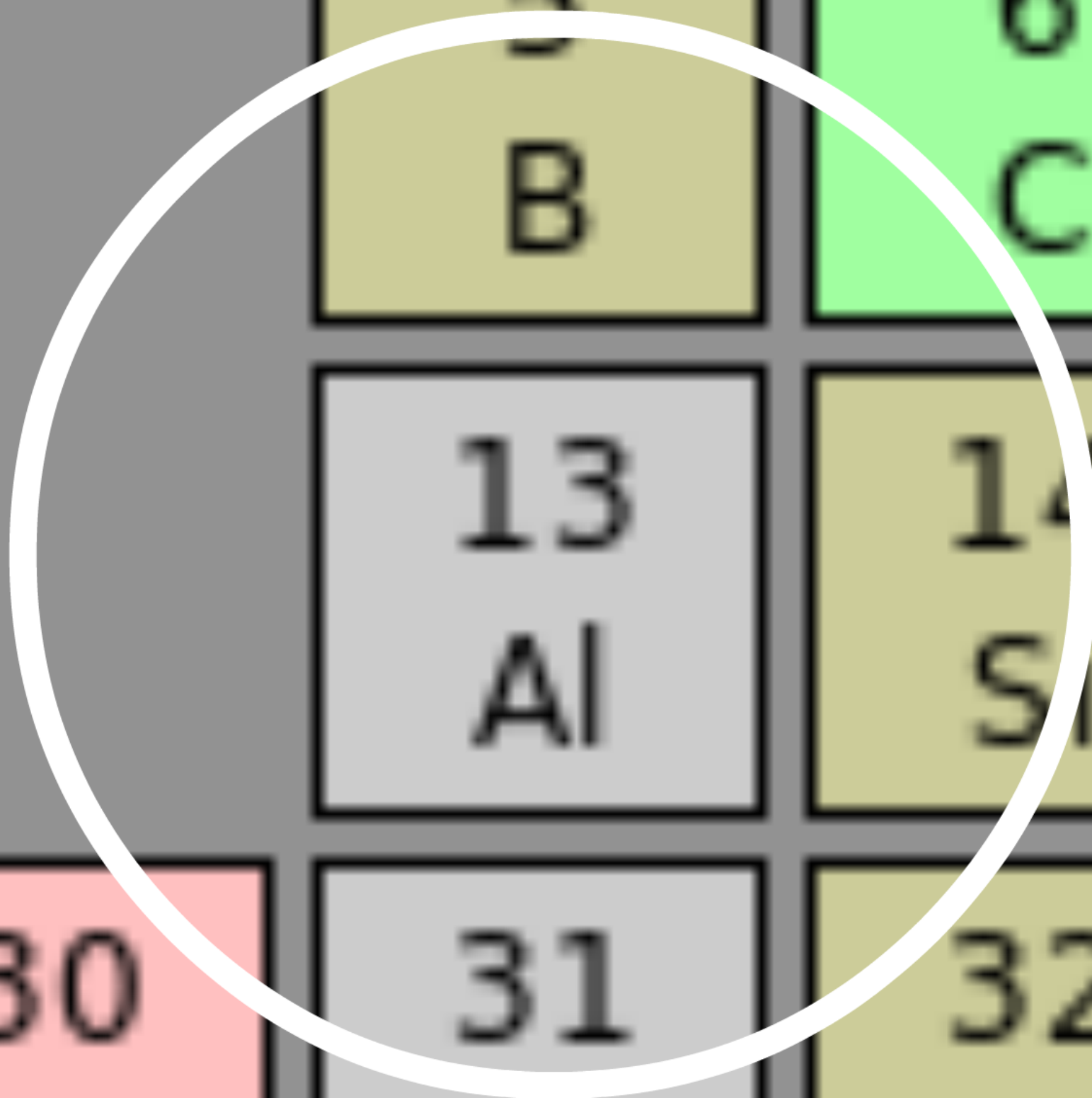
## Propriedades e aplicações

Sara Claro nº27297  
2014/2015



# Alumínio

Grupo → ↓ Período	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
Lantanídeos				57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Actinídeos				89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr



B

C

13  
Al

14  
Si

30

31

32



# Alumínio

- O alumínio é um elemento químico de símbolo  $Al$  e número atômico 13.
- À temperatura ambiente encontra-se na forma sólida, sendo o elemento metálico mais abundante da crosta terrestre (8.07%).



O alumínio reage facilmente com o oxigénio, originando a formação de **Óxido de alumínio**,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

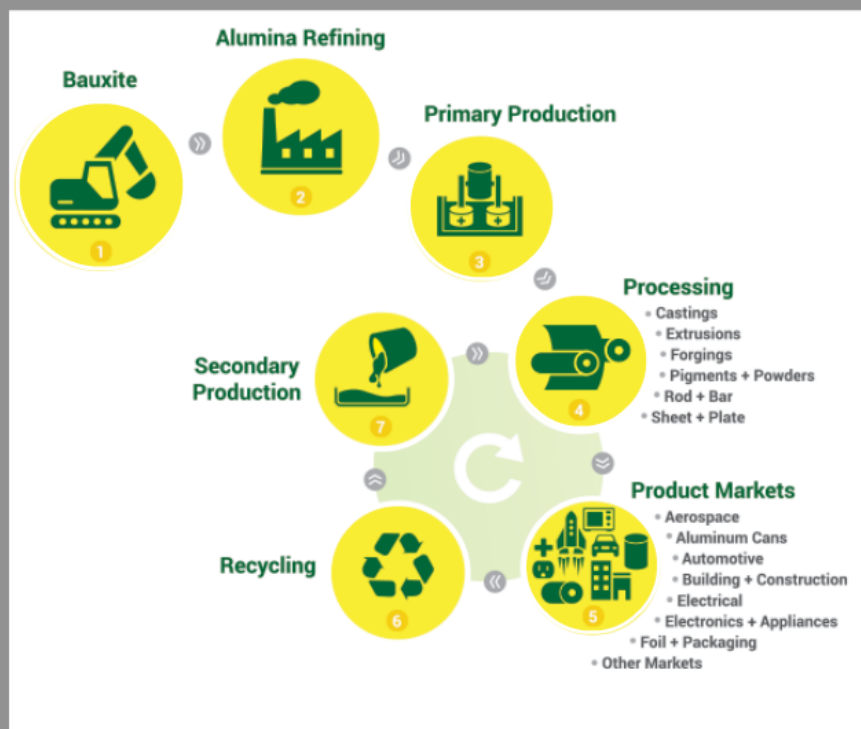
Por sua vez, o Óxido de alumínio encontra-se na crosta terrestre incorporado num mineral, a **Bauxite**.

A Bauxite contém entre 35 e 45% de Óxido de Alumínio.

# Propriedades

- densidade baixa ( $2.68\text{g/cm}^3$ );
- boa condutividade eléctrica;
- boa maleabilidade;
- boa resistência à corrosão;
- grande variedade de acabamentos;
- reciclável;
- não tóxico

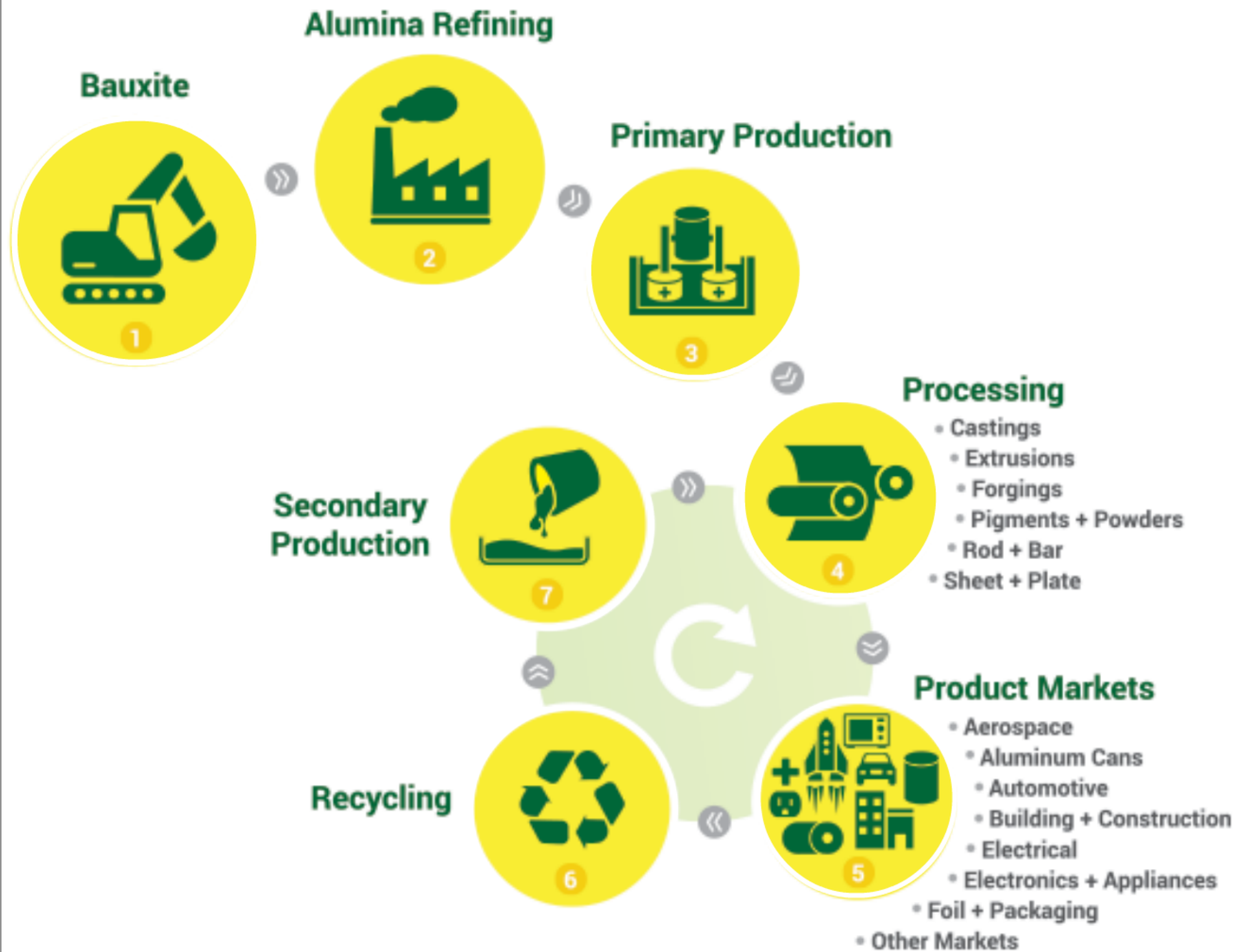
# Produção



A produção do alumínio está dividida em dois tipos: primária e secundária.

A **produção primária** resulta da sua extração da Bauxite.

A **produção secundária** é a reciclagem de alumínio já usado.













3



- Can
- E
- F
- F
- R
- She



- Aer
- A
- A
- E
- E
- Ele

ing

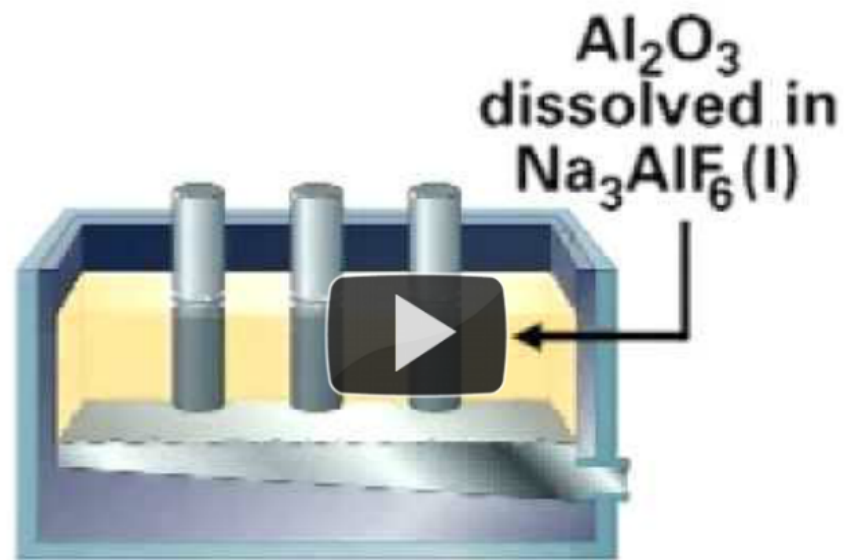


ry  
on





# Extração



**Electrolytic Cell**



# Reciclagem

O processo de reciclagem de alumínio resume-se à submissão do metal a grandes temperaturas (cerca de 700 °C), atingindo assim o seu ponto de fusão, passando ao estado líquido.

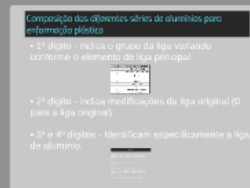
Assim é possível o seu manuseio de acordo com a forma que se deseje obter, atingido novamente o estado sólido depois de arrefecer.

# Ligas de Alumínio

Os alumínios estão divididos em duas grandes classes:

- Wrought aluminium alloys - alumínios para enformação plástica (85% da produção mundial);
- Cast aluminium alloys- pertencem aos alumínios para fundição (restantes 15%)

Para uma melhor divisão dos tipos de ligas de alumínio, a IADS (International Alloy Designation System) classificou-as por um número de quatro dígitos.



# Composição das diferentes séries de alumínio para enformação plástica

- 1º dígito - indica o grupo da liga variando conforme o elemento de liga principal

Série da Liga	Elemento(s) de Liga Principal(is)
1xxx	Alumínio, 99,00% mínimo
2xxx	Cobre (série designada por duralumínio) Nota: Também pode ser, Cobre + Lítio
3xxx	Manganês
4xxx	Silício
5xxx	Magnésio
6xxx	Magnésio e Silício
7xxx	Zinco
8xxx	Lítio (e eventualmente Magnésio)
9xxx	Série não utilizada

- 2º dígito - indica modificações da liga original (0 para a liga original)
- 3º e 4º dígitos - Identificam especificamente a liga de alumínio.

XXXX

Exemplo:  
A liga 5054 é uma liga alumínio-magnésio sem modificação e com o número de identificação da liga, 54.

A liga 5154 é a mesma liga, mas sofreu uma modificação.

Existe, no entanto, uma exceção:  
Na série 1xxx, que identifica o alumínio puro, os últimos dois dígitos indicam o nível de pureza do mesmo.

Eg.: A liga 1072 tem pelo menos 99,72% Alumínio.

Série da Liga	Elemento(s) de Liga Principal(ais)
1xxx	Alumínio, 99.00% mínimo
2xxx	Cobre (série designada por <i>duralumínio</i> ) Nota: Também pode ser, Cobre + Lítio
3xxx	Manganês
4xxx	Silício
5xxx	Magnésio
6xxx	Magnésio e Silício
7xxx	Zinco
8xxx	Lítio (e eventualmente Magnésio)
9xxx	Série não utilizada

# Composição das diferentes séries de alumínio para enformação plástica

- 1º dígito - indica o grupo da liga variando conforme o elemento de liga principal

Série da Liga	Elemento(s) de Liga Principal(is)
1xxx	Alumínio, 99,00% mínimo
2xxx	Cobre (série designada por duralumínio) Nota: Também pode ser, Cobre + Lítio
3xxx	Manganês
4xxx	Silício
5xxx	Magnésio
6xxx	Magnésio e Silício
7xxx	Zinco
8xxx	Lítio (e eventualmente Magnésio)
9xxx	Série não utilizada

- 2º dígito - indica modificações da liga original (0 para a liga original)
- 3º e 4º dígitos - Identificam especificamente a liga de alumínio.

XXXX

Exemplo:  
A liga 5054 é uma liga alumínio-magnésio sem modificação e com o número de identificação da liga, 54.

A liga 5154 é a mesma liga, mas sofreu uma modificação.

Existe, no entanto, uma exceção:  
Na série 1xxx, que identifica o alumínio puro, os últimos dois dígitos indicam o nível de pureza do mesmo.

Eg.: A liga 1072 tem pelo menos 99,72% Alumínio.

XXXX

Exemplo:

A liga 5054 é uma liga alumínio-magnésio sem modificação e com o número de identificação da liga, 54.

A liga 5154 é a mesma liga, mas sofreu uma modificação.

Existe, no entanto, uma exceção:

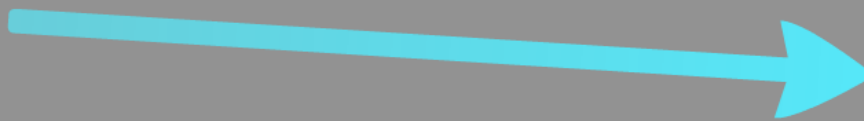
Na série 1xxx, que identifica o alumínio puro, os últimos dois dígitos indicam o nível de pureza do mesmo.

Eg.: A liga 1072 tem pelo menos 99,72% Alumínio.

# Composição das diferentes séries de alumínios para fundição

Tal como os alumínios para enformação plástica, os alumínios para fundição são designados por um sistema de 4 dígitos.

Neste caso, o sistema segue aproximadamente a mesma relação, no entanto existem algumas diferenças.



- XXX.X
- Neste sistema não existe o dígito de modificação, pelo que, quando existe modificação de uma liga já classificada é indicado por uma letra de prefixo (A,B,C,...).
  - Os segundos e terceiros dígitos assinalam o número atribuído à liga, ou, no caso das ligas 1xx.x, indicam o grau de pureza de alumínio (tal como no 1º caso).
  - O dígito da casa decimal indica se a composição da liga é para fundição final (0) ou para lingotes (1 ou 2 dependendo do limite de impurezas).



XXX.X

- Neste sistema não existe o dígito de modificação, pelo que, quando existe modificação de uma liga já classificada é indicado por uma letra de prefixo (A,B,C,...).
- Os segundos e terceiros dígitos assinalam o número atribuído à liga, ou, no caso das ligas 1xx.x, indicam o grau de pureza de alumínio (tal como no 1º caso).
- O dígito da casa decimal indica se a composição da liga é para fundição final (.0) ou para lingotes (.1 ou .2 dependendo do limite de impurezas).

# Séries de Ligas


## Enformação Plástica

Neste ponto serão focadas somente as séries de ligas de Enformação Plástica pois além de serem as mais usadas, são as aplicadas na Indústria Aeronáutica e Aeroespacial.

**Série 1000**

Ligas desta série são as mais usadas somente com menos 30% de alumínio. Podem ser de 2 a 10.


Propriedades	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta resistência a corrosão</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> <li>Alta resistência a impacto</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chapas e perfis</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> </ul>



**Série 2000**

Ligas desta série são as mais usadas somente com menos 30% de alumínio. Podem ser de 2 a 10.

Propriedades	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta resistência a corrosão</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> <li>Alta resistência a impacto</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chapas e perfis</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> </ul>



**Série 3000**

Ligas desta série são as mais usadas somente com menos 30% de alumínio. Podem ser de 2 a 10.


Propriedades	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta resistência a corrosão</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> <li>Alta resistência a impacto</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chapas e perfis</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> </ul>



**Série 4000**

Ligas desta série são as mais usadas somente com menos 30% de alumínio. Podem ser de 2 a 10.

Propriedades	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta resistência a corrosão</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> <li>Alta resistência a impacto</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chapas e perfis</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> </ul>



**Série 5000**

Ligas desta série são as mais usadas somente com menos 30% de alumínio. Podem ser de 2 a 10.

Propriedades	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta resistência a corrosão</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> <li>Alta resistência a impacto</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chapas e perfis</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> </ul>



**Série 6000**

Ligas desta série são as mais usadas somente com menos 30% de alumínio. Podem ser de 2 a 10.

Propriedades	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta resistência a corrosão</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> <li>Alta resistência a impacto</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chapas e perfis</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> </ul>



**Série 7000**

Ligas desta série são as mais usadas somente com menos 30% de alumínio. Podem ser de 2 a 10.


Propriedades	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta resistência a corrosão</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> <li>Alta resistência a impacto</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chapas e perfis</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> </ul>



**Série 8000**

Ligas desta série são as mais usadas somente com menos 30% de alumínio. Podem ser de 2 a 10.

Propriedades	Aplicações
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta resistência a corrosão</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> <li>Alta resistência a impacto</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> <li>Alta resistência a fadiga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chapas e perfis</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> <li>Envelopes para aeronaves</li> </ul>



# Série 1XXX

Ligas desta série são quase puras contendo pelo menos 90% de alumínio. Podem conter Fe e Si.

## Propriedades

- Alta resistência à corrosão;
- Altamente reflexiva;
- Condutividade elétrica e térmica elevada;
- Baixa Resistência

## Aplicações

- Chapas para litografia,
- Embalagens para alimentos,
- Folha de alumínio (cozinha)
- Aparelhos eletrônicos (cabos elétricos...);
- Equipamentos de aquecimento (tubos do radiador...)



## Série 2XXX

Ligas desta série são combinações de Al-Cu ou Al-Cu-Mg

### Propriedades

- Boa resistência à fadiga;
- Dependendo da percentagem de Cobre, tem boa resistência à corrosão;
- Resistência a altas temperaturas;

### Aplicações

- Aplicações estruturais nas indústrias:
  - Automóvel
  - Aeronáutica
  - Aeroespacial



2024

# Série 3XXX

Ligas AL-Mn ou Al-Mn-Mg

## Propriedades

- Boa resistência à corrosão;
- Dúctilidade elevada;
- Alta condutibilidade térmica e eléctrica;
- Boa soldabilidade

## Aplicações

- Latas de Refrigerantes;
- Percianas, portas, fachadas;
- Tubos de equipamentos de aquecimento;
- Utensílios de cozinha



# Série 4XXX

Ligas de Al-Si

## Propriedades

- Baixa ductilidade;
- Boa resistência à corrosão;
- Boa soldabilidade;
- Rigidez elevada

## Aplicações

- Metal de enchimento para soldas;
- Utensílios de cozinha



# Série 5XXX

## Ligas Al-Mg

### Propriedades

- Excelente resistência à corrosão;
- Boa maleabilidade;
- Boa soldabilidade;
- Resistente ao impacto

### Aplicações

- Construção de Navios e plataformas marítimas;
- Paineis de fachadas de edifícios;
- Armazenamento de produtos químicos;
- Chassis de automóveis





# Série 6XXX

Ligas de Al – Mg – Si

## Propriedades

- Boa soldabilidade;
- Excelente resistência à corrosão;
- Boas propriedades mecânicas;
- Boa maleabilidade.

## Aplicações

- Blocos para maquinagem, tais como moldes para injeção de plástico, borracha, etc.
- Perfis para estruturas;
- Construção civil (portas, escadas; janelas...)
- Quadros de bicicletas.



# Série 7XXX

Ligas de Al – Zn (– Mg – Cu)

## Propriedades

- Propensa à corrosão;
- Extremamente resistente mecanicamente;
- Alta resistência à fadiga

## Aplicações

- Bastões de Ski;
- Raquetes de Tênis;
- Componentes de bicicletas;
- Indústria Aeronáutica e Aeroespacial;
- Indústria Automóvel



# Série 8XXX

Principalmente ligas Al-Li e outros elementos menos comuns

## Propriedades

- Alta rigidez;
- Densidade menor ;
- Boa resistência à corrosão;
- Resistente a altas temperaturas;
- Boa resistência à fadiga;

## Aplicações

- Indústria Aeronáutica e Aeroespacial;
- Indústria Locomotiva;
- Geração de energia nuclear



# Propriedades mecânicas

Para uma melhor compreensão seguem duas tabelas que comparam as propriedades mecânicas de algumas ligas de alumínio.

LIGA ALUMÍNIO	SBS	Temperatura	Limite de escoamento $\sigma_{0.2}$ (MPa)		Limite de resistência $\sigma_{UTS}$ (MPa)	Alongamento Máximo (%)	Dureza Rockwell (HR)
			Alumínio	Alumínio			
1050	Al 99.5	O	95	95	135	25	28
1100	-	H14	75	105	145	25	32
1200	Al 99.5	O	75	105	145	25	32
1350	S-42	O	95	95	135	25	28
2011	Al Cu 1% Ni	T6	275	275	375	10	100
3003	Al 99.5 Cu	O	95	135	185	25	38
3105	Al 99.5 Mg 0.5	O	95	135	185	25	38
5005	Al Mg 0.5	O	95	135	185	25	38
5052	Al Mg 2.5	O	135	215	285	10	47
6009	Al Mg 0.5	T5	145	215	285	10	47
6061	Al Mg Si Cu	T6	275	275	375	10	100
6063	Al Mg 0.5	T5	145	215	285	10	47
6101	Al Mg Si	T6	275	275	375	10	100
6261	-	T6	275	275	375	10	100
6162	-	T6	275	275	375	10	100
6351	Al Mg Si 0.5	T6	275	275	375	10	100
8011	Al Fe Si	O	95	135	185	25	38

Fonte:  
Catálogo Alfa  
Alumínio

Al	Temperatura	SBS	Limite de escoamento $\sigma_{0.2}$ (MPa)	Limite de resistência $\sigma_{UTS}$ (MPa)	Alongamento Máximo (%)	Dureza Rockwell (HR)	Propriedades mecânicas		
							Alumínio	Alumínio	
LIGAS DE TRABALHO MECÂNICO - NÃO TRATÁVEIS									
1100	A	C-D	A	A91100	0.12Cu	Recozido(O)	90	35 35-45	Alimentos, produtos químicos, permutadores de calor, refletores de luz.
3003	A	C-D	A	A93003	0.12Cu, 1.2Mn, 0.12Zn	Recozido(O)	110	40 30-40	Utensílios culinários, reservatórios de pressão e tubagens, latas de bebidas.
5052	A	C-D	A	A95052	2.5Mg, 0.25Cr	Def. Frio (H32)	230	105 12-18	Tubagens de óleo e combustível em aeronaves, tanques de combustível, rebites, arame.
LIGAS DE TRABALHO MECÂNICO - TRATÁVEIS TERMICAMENTE									
2024	C	B-C	B-C	A92024	4.4Cu, 1.5Mg, 0.6Mn	Tratado termico (T4)	470	325 20	Estruturas aeronáuticas, rebites, jantes de camião, parafusos.
6061	B	C-D	A	A96061	1.0Mg, 0.6Si, 0.3Cu	Tratado termico (T6)	240	145 22-25	Camhões, canoas, automóveis, motocicletas, tubagens.
7075	C	B-D	D	A97075	5.6Zn, 2.5Mg, 1.6Cu, 0.23Cr	Tratado termico (T6)	570	505 11	Estruturas aeronáuticas e outras de elevado carregamento.
LIGAS DE FUNÇÃO - TRATÁVEIS TERMICAMENTE									
295.0	A92950		4.5Cu, 1.5Si		Tratado termico (T4)		221	115 8.5	Volantes, jantes de camião e aviões, carter.
356.0	A93560		7.0Si, 0.3Mg		Tratado termico (T6)		228	104 3.5	Caixas de transmissão, blocos de motor.
LIGAS DE LITIO									
2090	—		2.7Cu, 0.25Mg		Trat. termico e 2.25Li, 0.12Zn		455	455 5	Estruturas aeronáuticas e de tanques criogênicos.
8090	—		1.3Cu, 0.95Mg		Trat. termico e 2.0Li, 0.12Zn		465	300 —	Estruturas aeronáuticas e outras de elevado carregamento.

Fonte: [http://www.spectru.com.br/Metalurgia/diversos/aluminio\[1\].pdf](http://www.spectru.com.br/Metalurgia/diversos/aluminio[1].pdf)

Liga ASTM/ASTM	DIN	Têmpera	Limite de resistência à tração MPa ( N/mm <sup>2</sup> )		Limite de escoamento MPa (N/mm <sup>2</sup> )	Alongamento Mínimo (50mm) (%)	Dureza Brinell (HB)
			Mínimo	Máximo			
1050	Al 99,5	O H14	55 95	95 130	15 70	22 3	20 26
1100	-	O H14	75 110	105 145	25 95	22 3	23 32
1200	Al 99,5	O H14	75 110	105 145	25 95	22 3	23 32
1350	E-Al	O H14	55 95	95 130	- -	22 3	20 30
2011	Al Cu Pb Bi	T4 T8	275 370	- -	125 275	16 10	- 100
3003	Al Mn Cu	O H14	95 140	130 180	35 115	22 3	28 40
3105	Al Mn0,5 Mg0,5	O H14	95 150	145 200	35 125	19 2	28 40
5005	Al Mg1,0	O H14 H19	105 145 157	145 185 -	35 115 137	19 2 -	28 41 -
5052	Al Mg2,5	O H34	170 235	215 285	65 180	17 4	47 68
6060	Al Mg Si0,5	T5	145	-	105	8	60
6061	Al Mg Si Cu	T4 T6	180 260	- -	110 240	16 8	65 95
6063	Al Mg Si0,5	T5	145	-	105	8	60
6101	E-Al Mg Si0,5	T6	200	-	172	8	78
6261	-	T6	265	-	225	10	90
6262	-	T6	260	-	240	10	90
6351	Al Mg Si1,0	T6	290	-	255	8	95
8011	Al Fe Si	O H14/H24	80 120	120 210	50 110	12 4	28 35

Fonte:  
Catálogo Alfa  
Alumínio

AA	Resist. corrosão	Maquin.	Soldabil.	UNS	Composição	Condição	Propriedades mecânicas			Aplicações/Características
							Rot. (MPa)	Ced.(MPa)	Ext.Rot(%)	
LIGAS DE TRABALHO MECÂNICO - NÃO TRATÁVEIS										
1100	A	C-D	A	A91100	0.12Cu	Recozido(O)	90	35	35-45	Alimentos, produtos químicos, permutadores de calor, reflectores de luz
3003	A	C-D	A	A93003	0.12Cu, 1.2Mn,0.1Zn	Recozido(O)	110	40	30-40	Utensílios culinários, reservatórios de pressão e tubagens, latas de bebidas
5052	A	C-D	A	A95052	2.5Mg, 0.25Cr	Def. Frio (H32)	230	195	12-18	Tubagens de óleo e combustível em aeronaves, tanques de combustível, rebites, arame
LIGAS DE TRABALHO MECÂNICO - TRATÁVEIS TERMICAMENTE										
2024	C	B-C	B-C	A92024	4,4Cu, 1.5Mg, 0.6Mn	Tratado termic. (T4)	470	325	20	Estruturas aeronauticas, rebites, jantes de camião, parafusos
6061	B	C-D	A	A96061	1.0Mg, 0.6Si, 0.3Cu	Tratado termic. (T4)	240	145	22-25	Camiões, canoas, automóveis, mobiliário, tubagens
7075	C	B-D	D	A97075	5.6Zn,2.5Mg, 1.6Cu,0.23Cr	Tratado termic. (T6)	570	505	11	Estruturas aeronauticas e outras de elevado carregamento
LIGAS DE FUNDIÇÃO - TRATÁVEIS TERMICAMENTE										
295.0				A02950	4.5Cu, 1.1Si	Tratado termic. (T4)	221	110	8,5	Volantes, jantes de camiões e aviões, carters
356.0				A03560	7.0Si, 0.3Mg	Tratado termic. (T6)	228	164	3,5	Caixas de transmissão, blocos de motor
LIGAS DE LÍTIO										
2090				---	2.7Cu,0.25Mg 2.25Li,0.12Zr	Trat. termic. e def. frio (T83)	455	455	5	Estruturas aeronauticas e de tanques criogénicos
8090				---	1.3Cu,0.95Mg 2.0Li,0.1Zr	Trat. termic. e def. frio (T651)	465	360	---	Estruturas aeronauticas e outras de elevado carregamento

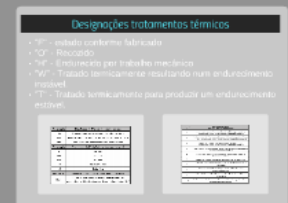
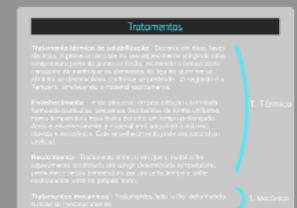
Fonte: [http://www.spectru.com.br/Metalurgia/diversos/aluminio\[1\].pdf](http://www.spectru.com.br/Metalurgia/diversos/aluminio[1].pdf)

# Tratamentos de endurecimento

Para a melhoria das propriedades das ligas, estas podem ser sujeitas a tratamentos, mecânicos ou térmicos.

- Tratamentos Térmicos - séries 2xxx, 6xxx, 7xxx e 8xxx
- Tratamentos Mecânicos - séries 1xxx, 3xxx, 4xxx e 5xxx

Dependendo do tratamento que sofrem, as ligas irão ter uma designação que o caracteriza.





# Tratamentos

**Tratamento térmico de solubilização** - Decorre em duas fases distintas. A primeira consiste no seu aquecimento atingindo uma temperatura perto do ponto de fusão, mantendo a temperatura constante de modo que os elementos da liga de alumínio se alinhem se desenvolvam conforme se pretende. O segundo é a Tempera, arrefecendo o material rapidamente.

**Envelhecimento** - é um processo de precipitação controlada formando partículas pequenas distribuídas de forma uniforme, numa temperatura mais baixa durante um tempo prolongado. Após o envelhecimento o material terá adquirido a máxima dureza e resistência. Este envelhecimento pode ser natural ou artificial.

**Recozimento** - Tratamento térmico em que o metal sofre aquecimento controlado até atingir determinada temperatura, permanece nessa temperatura por um certo tempo e sofre resfriamento lento no próprio forno.

**Tratamentos mecânicos** - Tratamentos feito 'a frio' deformando o material mecanicamente.



T. Térmico



T. Mecânico



# Designações tratamentos térmicos

- "F" - estado conforme fabricado
- "O" - Recozido
- "H" - Endurecido por trabalho mecânico
- "W" - Tratado termicamente resultando num endurecimento instável.
- "T" - Tratado termicamente para produzir um endurecimento estável.

Designação	Significado do 1º dígito (operações básicas)
H1x	Endurecida exclusivamente por trabalho mecânico
H2x	Endurecida por trabalho mecânico e parcialmente recozida
H3x	Endurecida por trabalho mecânico e estabilizada
Designação	Significado do 2º dígito (nível de endurecimento)
Hx2	1/4 duro
Hx4	1/2 duro
Hx6	3/4 duro
Hx8	Totalmente duro
Hx9	Extra duro
Designação	Significado do 3º dígito (variações ao tratamento)
Hxy	y - indica uma eventual variação do tratamento de endurecimento, identificado pelos dois primeiros dígitos (Hxx)

Designação	Significado do 1º dígito (sequência específica de tratamentos)
T1	Arrefecimento desde a Temperatura Elevada de Enformação, seguido de Envelhecimento Natural até uma condição substancialmente estável
T2	Arrefecimento desde a Temperatura Elevada de Enformação, seguido de Trabalho a Frio e Envelhecimento Natural até uma condição substancialmente estável
T3	Tratamento Térmico de Solubilização seguido de Trabalho a Frio e Envelhecimento Natural até uma condição substancialmente estável
T4	Tratamento Térmico de Solubilização seguido de Envelhecimento Natural até uma condição substancialmente estável
T5	Arrefecimento desde a Temperatura Elevada de Enformação, seguido de Envelhecimento Artificial
T6	Tratamento Térmico de Solubilização, seguido de Envelhecimento Artificial
T7	Tratamento Térmico de Solubilização, seguido de Sobre-Envelhecimento ou Estabilização
T8	Tratamento Térmico de Solubilização, seguido de Trabalho a Frio e Envelhecimento Artificial
T9	Tratamento Térmico de Solubilização, seguido de Envelhecimento Artificial e Trabalho a Frio
T10	Arrefecimento desde a Temperatura Elevada de Enformação, seguido de Trabalho a Frio e Envelhecimento Artificial

Designação	Significado do 1º dígito (operações básicas)
H1x	Endurecida exclusivamente por trabalho mecânico
H2x	Endurecida por trabalho mecânico e parcialmente recozida
H3x	Endurecida por trabalho mecânico e estabilizada
Designação	Significado do 2º dígito (nível de endurecimento)
Hx2	1/4 duro
Hx4	1/2 duro
Hx6	3/4 duro
Hx8	Totalmente duro
Hx9	Extra duro
Designação	Significado do 3º dígito (variações ao tratamento)
Hxxy	y - indica uma eventual variação do tratamento de endurecimento, identificado pelos dois primeiros dígitos (Hxx)

Designação	Significado do 1º dígito (sequência específica de tratamentos)
T1	Arrefecimento desde a Temperatura Elevada de Enformação, seguido de Envelhecimento Natural até uma condição substancialmente estável
T2	Arrefecimento desde a Temperatura Elevada de Enformação, seguido de Trabalho a Frio e Envelhecimento Natural até uma condição substancialmente estável
T3	Tratamento Térmico de Solubilização seguido de Trabalho a Frio e Envelhecimento Natural até uma condição substancialmente estável
T4	Tratamento Térmico de Solubilização seguido de Envelhecimento Natural até uma condição substancialmente estável
T5	Arrefecimento desde a Temperatura Elevada de Enformação, seguido de Envelhecimento Artificial
T6	Tratamento Térmico de Solubilização, seguido de Envelhecimento Artificial
T7	Tratamento Térmico de Solubilização, seguido de Sobre-Envelhecimento ou Estabilização
T8	Tratamento Térmico de Solubilização, seguido de Trabalho a Frio e Envelhecimento Artificial
T9	Tratamento Térmico de Solubilização, seguido de Envelhecimento Artificial e Trabalho a Frio
T10	Arrefecimento desde a Temperatura Elevada de Enformação, seguido de Trabalho a Frio e Envelhecimento Artificial



# Aplicações na Indústria Aeronáutica

Desde os finais da década 20, quando o primeiro avião comercial foi fabricado, que o alumínio é o material mais usado na indústria Aeronáutica.





# Exigências

# Resistência à Fadiga



# Resistencia à corrosão



# Resistência Mecânica

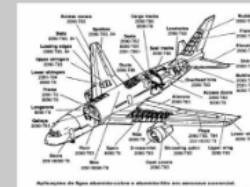


# Peso

# Aplicações na Indústria Aeronáutica

Em que componentes se aplica?

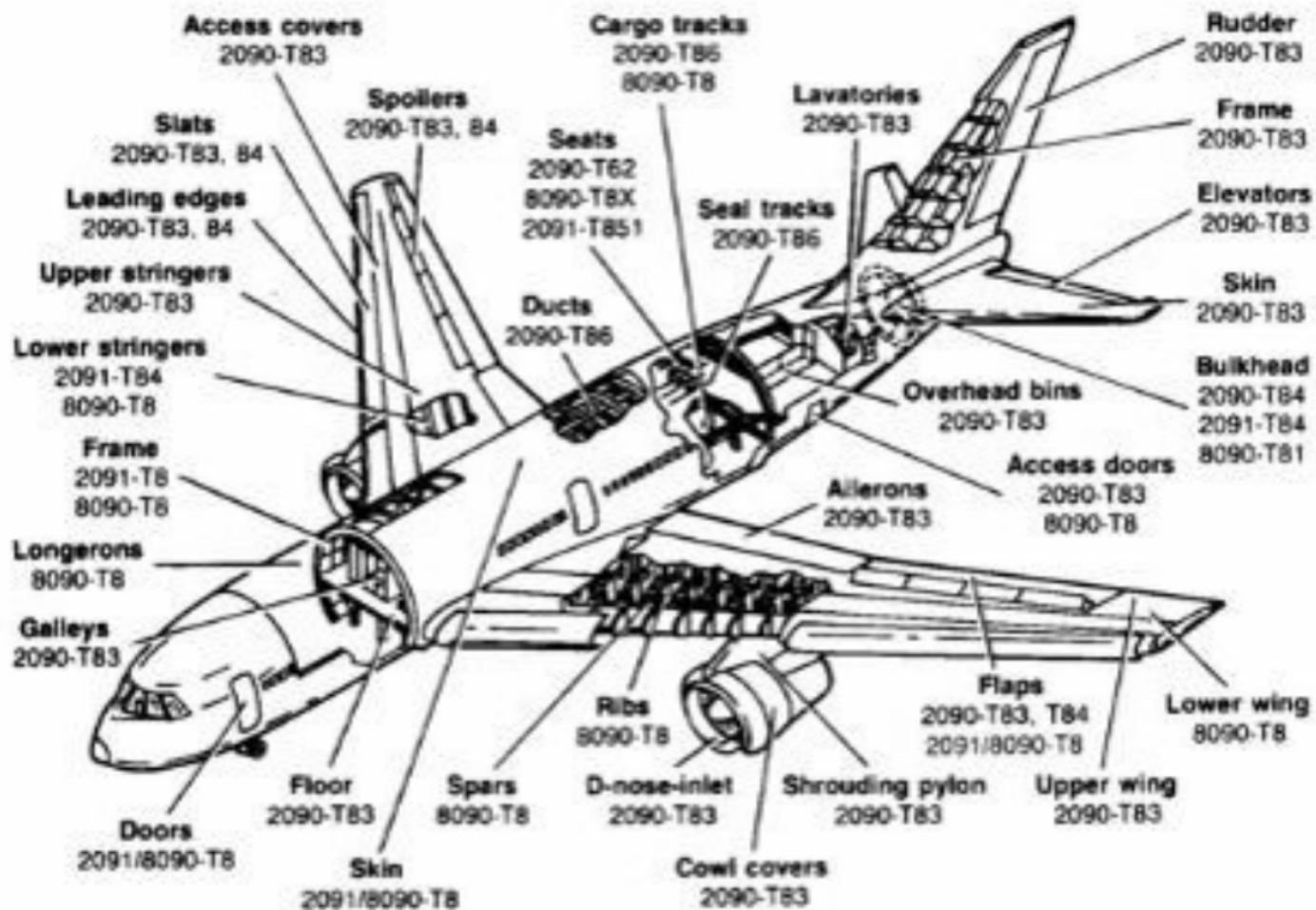
- Asas
- Fuselagem
- Motores
- Trens
- Interiores
- Revestimentos



Alumínio Aeronáutico	
Série 2xxx	Série 7xxx
<ul style="list-style-type: none"><li>• Têm maiores taxas de crescimento de resistência a partir de 100°C, devido ao aumento da precipitação de fases de reforço.</li><li>• Principalmente usadas nos trens e na parte inferior da fuselagem.</li><li>• Ligas mais utilizadas: 2024, 2524 e 7050. Têm maior resistência à corrosão.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• O alumínio 7050 oferece o maior aumento de resistência por precipitação de fases de reforço.</li><li>• Tem melhor estabilidade que as ligas da série 2000.</li><li>• A resistência por compressão tem sido o maior crescimento nos últimos anos.</li></ul>

**THE BASIC AIRCRAFT IS MADE OF ALUMINUM WITH  
STAINLESS STEEL AND TITANIUM ALLOYS IN SPECIFIC AREAS.**





**Aplicações de ligas alumínio-cobre e alumínio-lítio em aeronave comercial.**



# Alumínio Aeronáutico

## Série 2xxx

- Têm menores taxas de crescimento de contaminantes e, portanto, têm melhor desempenho em fadiga do que as ligas da série 7XXX.
- Principalmente usadas nas asas e na parte inferior da fuselagem.
- Ligas mais utilizadas: 2224, 2324 e 2524 (ambas as versões modificadas de 2224). Têm níveis mais elevados de alumínio para uma maior resistência à corrosão

## Série 7xxx

- O sistema Al-Zn-Mg oferece o maior potencial de endurecimento por precipitação (tratamentos térmicos) das ligas de alumínio.
- Tem inferior soldabilidade que as ligas da série 2xxx.
- A fissuração por corrosão tem sido o maior inconveniente no uso dessas ligas.

# Aplicações na Indústria Aeronáutica

Há uma necessidade constante de redução de peso em aeronaves e estruturas espaciais. Desta forma o uso de materiais compósitos tem crescido no sector verificando-se a substituição de componentes que eram fabricados em alumínio.

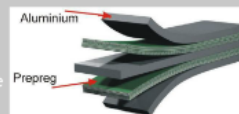
No entanto, esta necessidade tem impulsionado a investigação na tecnologia de processamento de alumínio.



## Resposta do Sector Industrial do Alumínio

Nos últimos anos tem-se desenvolvido novas ligas, combinando materiais ao nível microscópico (ligas compósitas de matriz metálica), e também a nível macroscópico (sandwich compósito com alumínio).

É o caso do FML (Fiber Metal Laminate). Este é composto por folhas de alumínio e folhas de um compósito de fibra de vidro e epóxi.



### Vantagens

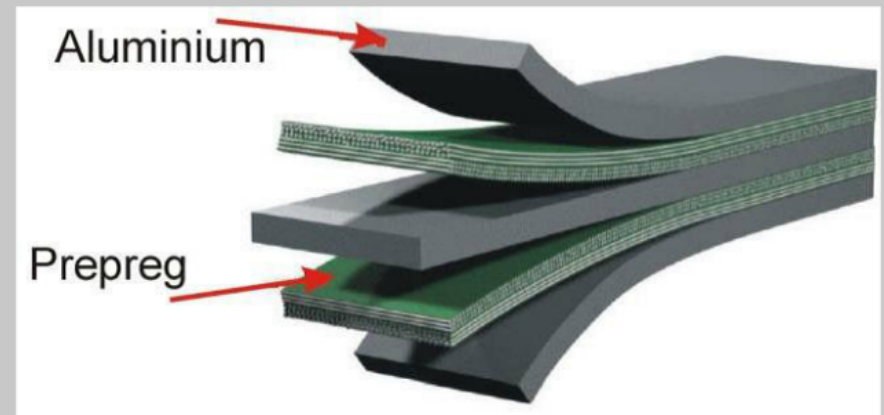
- melhor tolerância a falhas (especialmente impacto e fadiga de metal)
- melhor resistência a corrosão
- melhor resistência ao fogo
- menor peso específico

# Resposta do Sector Industrial do Alumínio

Nos últimos anos tem-se desenvolvido novas ligas, combinando materiais ao nível microscópico (ligas compósitas de matriz metálica), e também a nível macroscópico (sandwich compósita com alumínio).

É o caso do FML (Fiber Metal Laminate).

Este é composto por folhas de alumínio e folhas de um compósito de fibra de vidro e epóxi.



## Vantagens

- melhor tolerância a falhas (especialmente impacto e fadiga de metal)
- melhor resistência a corrosão
- melhor resistência ao fogo
- menor peso específico



## Propriedades e aplicações

Sara Claro nº27297  
2014/2015

