

*Ligas de titânio: classificação, propriedades e aplicações práticas*

## História

- Do latim **titans** (mitologia grega: os primeiros filhos da Terra).
- Descoberto por Gregor em 1791.
- O metal puro (99,9%) foi preparado em 1910 por Hunter, através do aquecimento do cloreto de titânio com sódio.

## Disponibilidade

Na crosta terrestre, é o nono elemento mais abundante. Está quase sempre presente em rochas ígneas e em seus sedimentos.

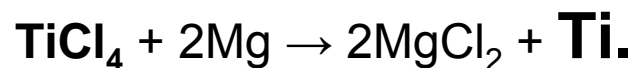
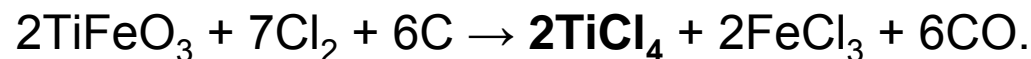
Alguns minerais:

- rutílio (óxido de titânio)
- ilmenita (titanato ferroso,  $\text{TiFeO}_3$ )
- Titanita ou esfênio (silicato de titânio e cálcio).

## Produção

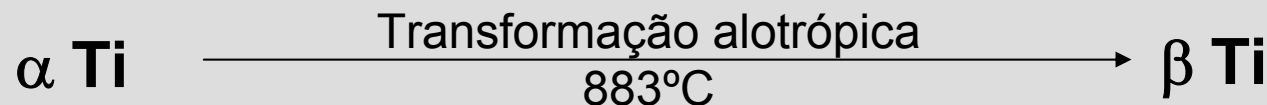
O metal era apenas uma curiosidade de laboratório até 1946, quando **Kroll** demonstrou que poderia ser produzido comercialmente pela redução do tetracloreto de titânio com magnésio. E o processo ainda é bastante usado nos dias atuais.

O tetracloreto é obtido pela ação do cloro e carbono sobre a ilmenita. O tricloreto de ferro é removido por destilação. Em seguida, ocorre a redução com magnésio:



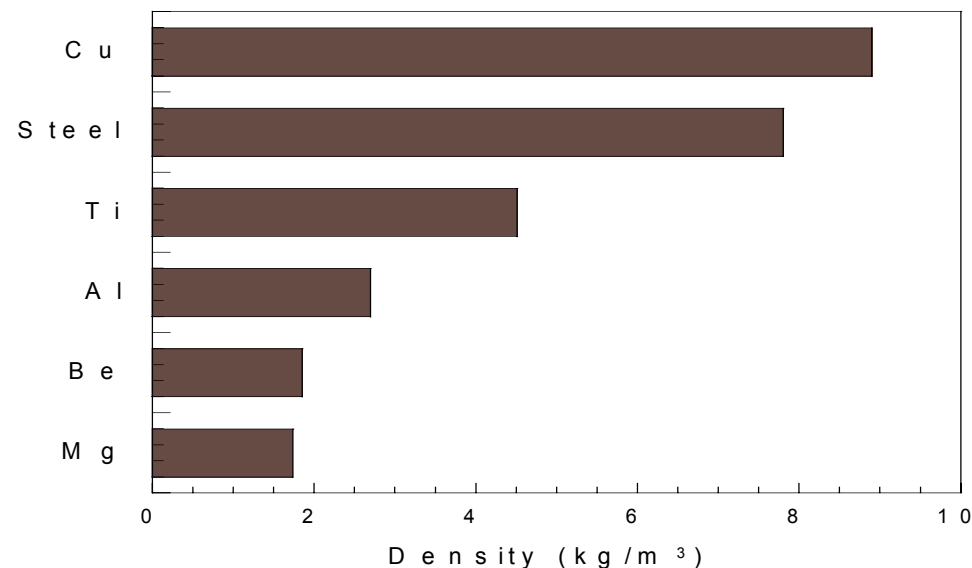
## Propriedades do Ti puro

Número atômico	22
Massa atômica	47,9
Raio covalente	1.32 Å
Cor	cinza escuro
Massa específica	4,51 g/cm <sup>3</sup>
Temperatura de fusão	1668°C
Temperatura de ebulição	3260°C
Dureza	70-74 HRB
Resistência a fratura	240 MPa
Módulo de Young	102,7 GPa
Coeficiente de Poisson	0,41
Coeficiente de expansão térmica	8,64 . 10 <sup>-6</sup> /°C



# Comparação do Ti com aços

- A densidade deste metal é de aproximadamente 56% da maioria dos aços liga,
- Módulo de elasticidade e expansão térmica do Ti é de aproximadamente 50% dos aços,
- A condutividade térmica do Ti é aproximadamente a mesma do aço inox.
- Possui elevada resistência a corrosão comparada com os aços em geral.



## Três principais razões para aplicações:

### Alta resistência mecânica e baixa densidade

motor a jato, armação do avião, componentes tubulares, válvulas de pressão, transporte automotivo, presilhas, equipamentos esportivos, construção civil, ligas com memória de forma;

### Alta resistência a corrosão:

indústria química e petroquímica, tubulações marinhos, reatores, trocador de calor, estação nuclear, relógios, computadores, sistemas ópticos;

### Bio compatibilidade:

implantes cirúrgicos.

## O consumo mundial de produtos de Ti e ligas de titânio

Foi aproximadamente 56.000 toneladas no ano de 2000, sendo que 29.000 toneladas foi consumida principalmente como Fe-Ti, em aços e outras ligas.



- As excelentes propriedades mecânicas, alta resistência a corrosão e a temperaturas altas em serviço, faz do titânio uma material para aplicações *Críticas* ficando ao lado das *superligas*.



- O alto custo do processamento do metal ainda limita seu uso. O custo da extração até obtenção do Ti metálico e o custo para processamento do material até o produto final são altos.

# Ti comercialmente puro

Contém de 98,635 -99,5 wt% de Ti.

## Desvantagens em relação as ligas de Ti :

- Possuem menor resistência em serviço.

## Vantagens em relação as ligas de Ti :

- Maior resistência a corrosão e a erosão;
- O filme de óxido formado pelo contato com o ar na temperatura ambiente é muito mais fino e condutivo;
- A superfície muito dura, quando polida limita a adesão de substâncias e outros materiais;

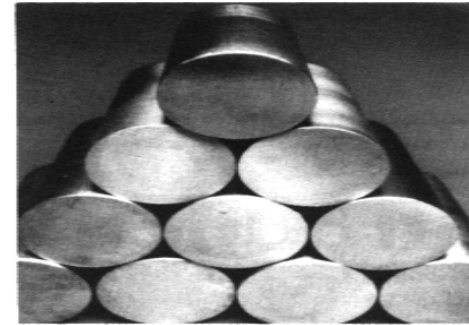
A adição de uma pequena quantidade do metal paládio (0,2%), não afeta em nada as propriedades mecânicas do material, mas resulta em sensível alteração na resistência à corrosão, pela ação do paládio na superfície do titânio em contato com o meio corrosivo. Possui excelentes resistências em processo químicos.



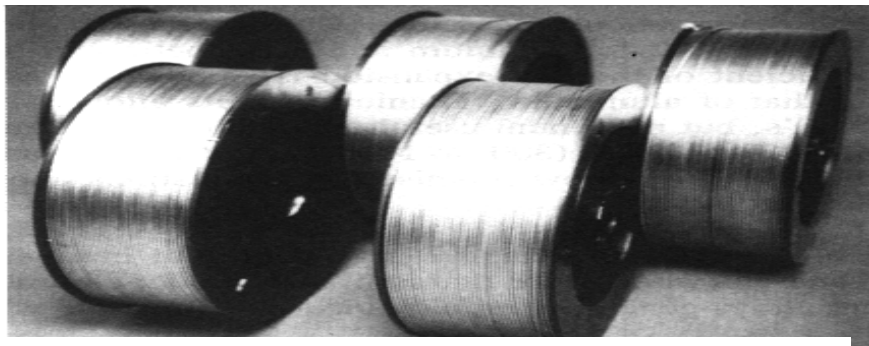
# Aplicações



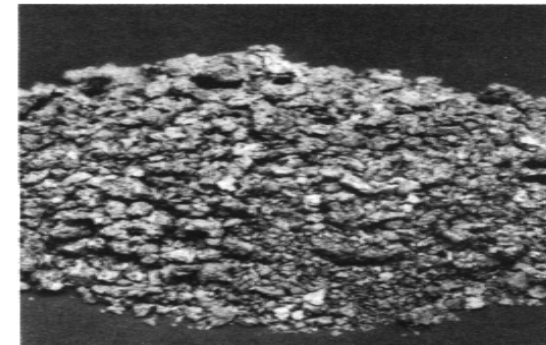
Chapas laminadas



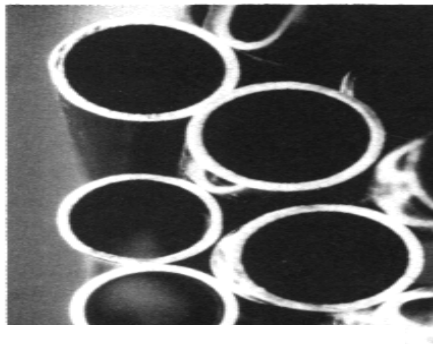
Lingote



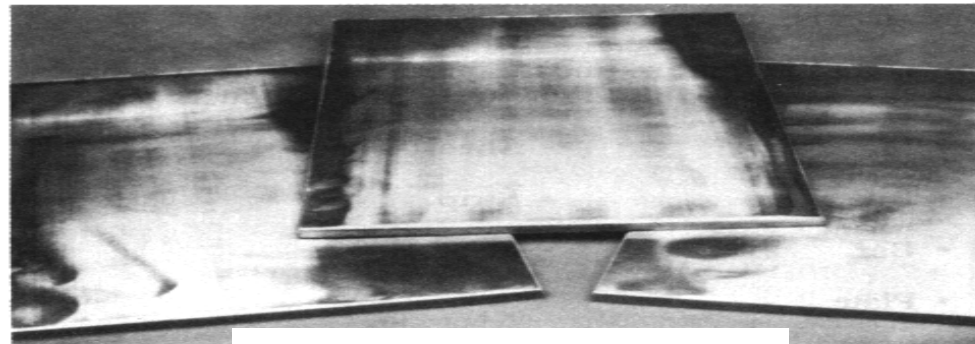
Arame



Granulos



Tubos



Placas



Porcas de Ti e Ti6Al4V  
(prensadas a frio e sinterizadas)

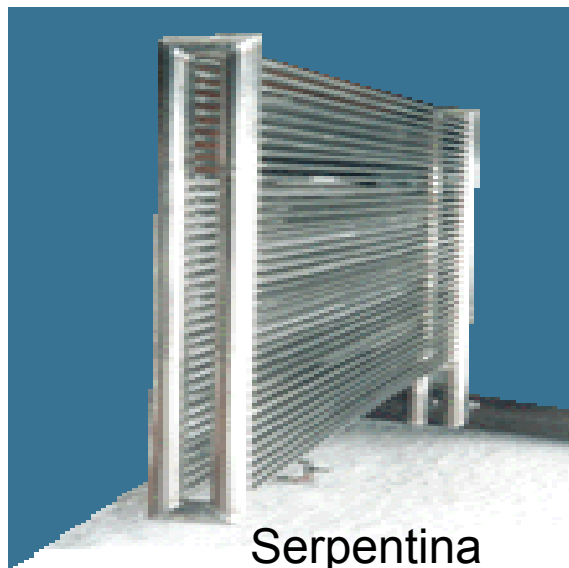


Ligas de Ti com formas complexas  
(fundidas e prensadas a quente.  
Utilização: indústria aeroespacial,  
marinho, processo químico e outras  
indústrias.

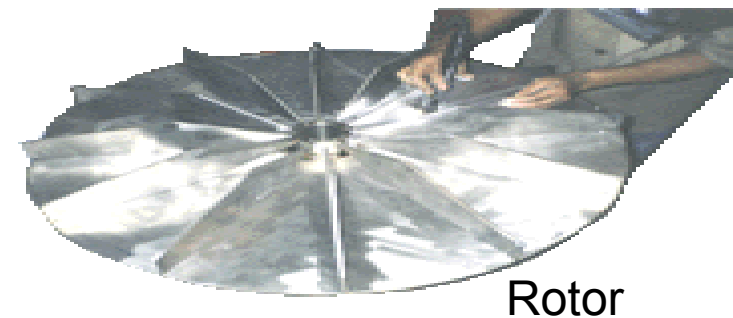
Barras de titânio



# Equipamentos industriais (NAS)



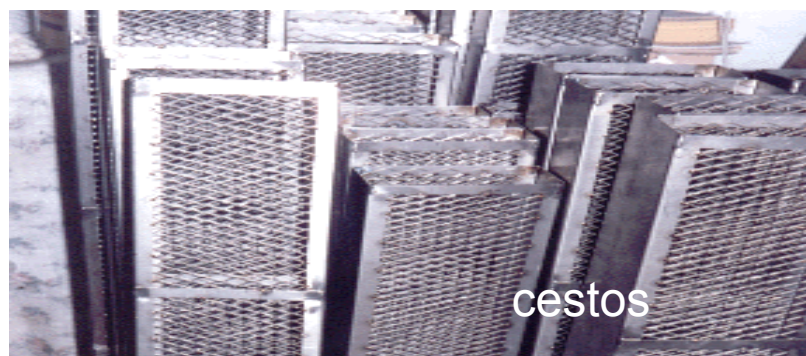
Serpentina



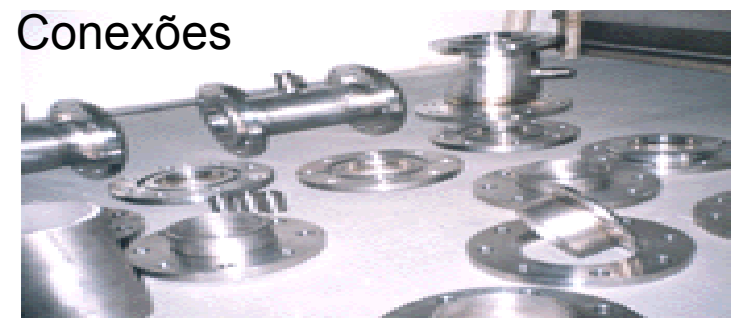
Rotor



Trocador de calor



cestos



Conexões



Taco de golfe



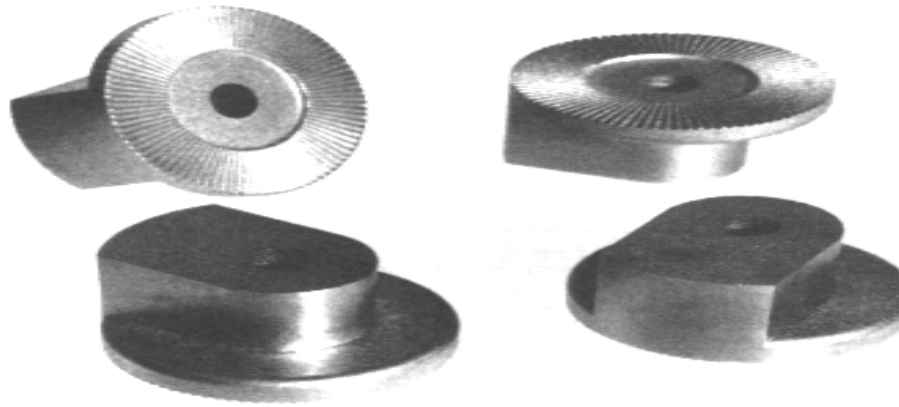
Palm top



Indústria automobilística



Tanque reator



Presilha externa de Ti6Al4V para fixação de prótese



Implante de junta do joelho feito de Ti6Al4V.





F22 – avião de caça (36% do peso é feito de Ti)

F22, Eurofighter, JointStrike fighter e Rafale fighter aircraft – (garantia de demanda de Ti, no mínimo 10 anos, na área militar)

# Processos usados para a fabricação de produtos de liga de Titânio:

- Metalurgia do Pó - Powder Metallurgy
- Tixoconformação – Superplastic forming
- Forjamento de precisão – Precision forming
- Microfusão /ou cera perdida – Investment Casting or Precision Casting

Existem ~40 tipos de ligas comerciáveis  
8 delas representam 90% do consumo total:

3 - Ti não-ligados

Ti-5Al-2.5Sn

**Ti-6Al-4V**

Ti-8Al-1Mo-1V

Ti-6Al-6V-2Sn

Ti-13V-11Cr-3Al



# Designação do Ti não ligado e das ligas de Ti

## (ASTM) American Society for Testing Materials B 265, B 338, B 367)

- O Ti não ligado são designados pelo número de grade 1-4, variando os teores de Fe e O. As grades 7, 8, 11 possuem 0,2% de Pd.
- As ligas de Ti são as demais grades, especificadas pelos seus elementos de liga, por exemplo, grade5: Ti-6Al-4V.

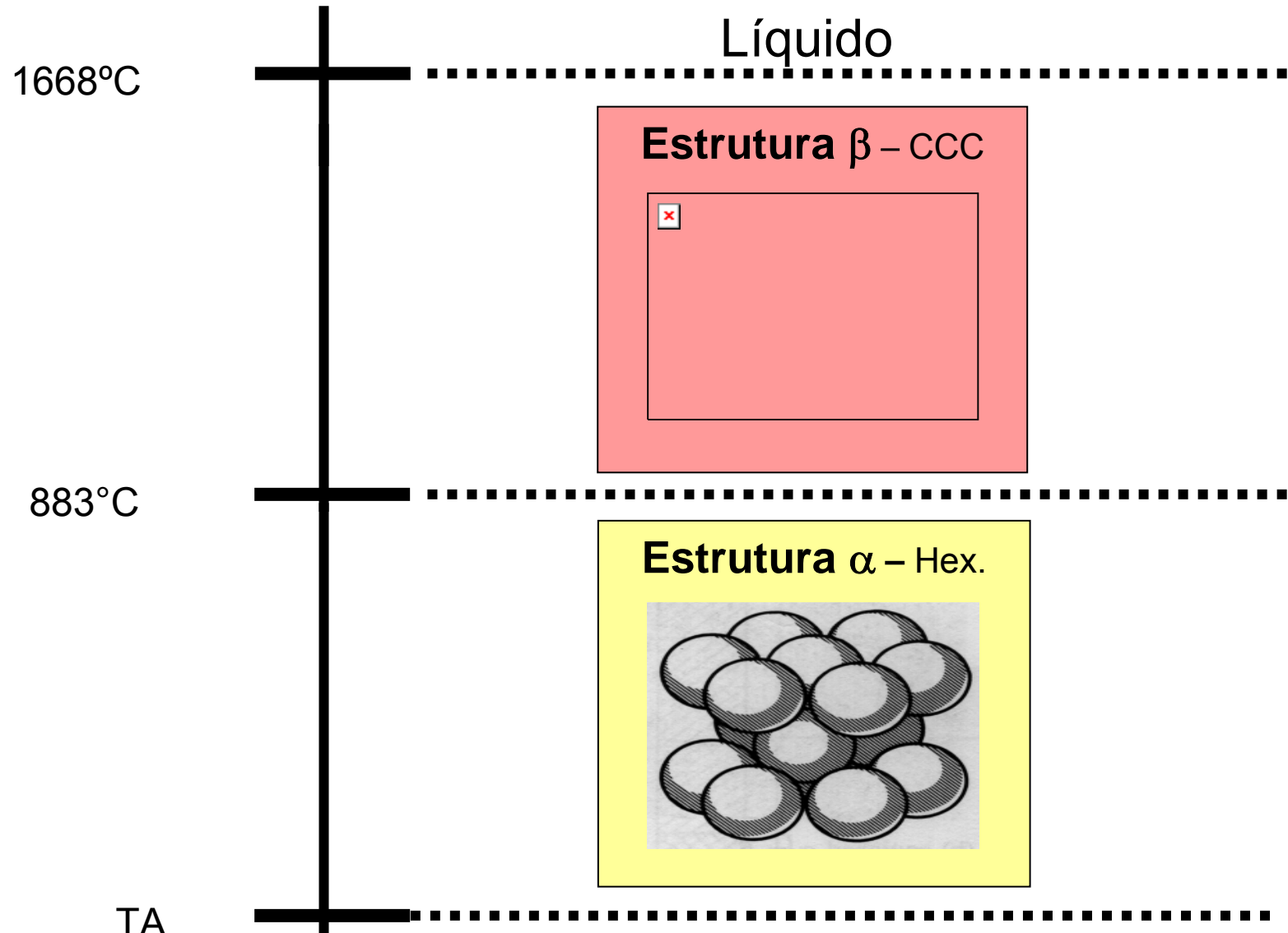
Designation	Tensile strength (min)		0.2% yield strength (min)		Impurity limits, wt %					
	MPa	ksi	MPa	ksi	N (max)	C (max)	H (max)	Fe (max)	O (max)	Others
<b>Unalloyed grades</b>										
ASTM Grade 1 ..	240	35	170	25	0.03	0.10	0.015	0.20	0.18	...
ASTM Grade 2 ..	340	50	280	40	0.03	0.10	0.015	0.30	0.25	...
ASTM Grade 3 ..	450	65	380	55	0.05	0.10	0.015	0.30	0.35	...
ASTM Grade 4 ..	550	80	480	70	0.05	0.10	0.015	0.50	0.40	...
ASTM Grade 7 ..	340	50	280	40	0.03	0.10	0.015	0.30	0.25	0.2 Pd

## (UNS) united numbering system

### R5XXXX

- R5= ligas de Titânio;

# Estrutura Cristalina do Ti



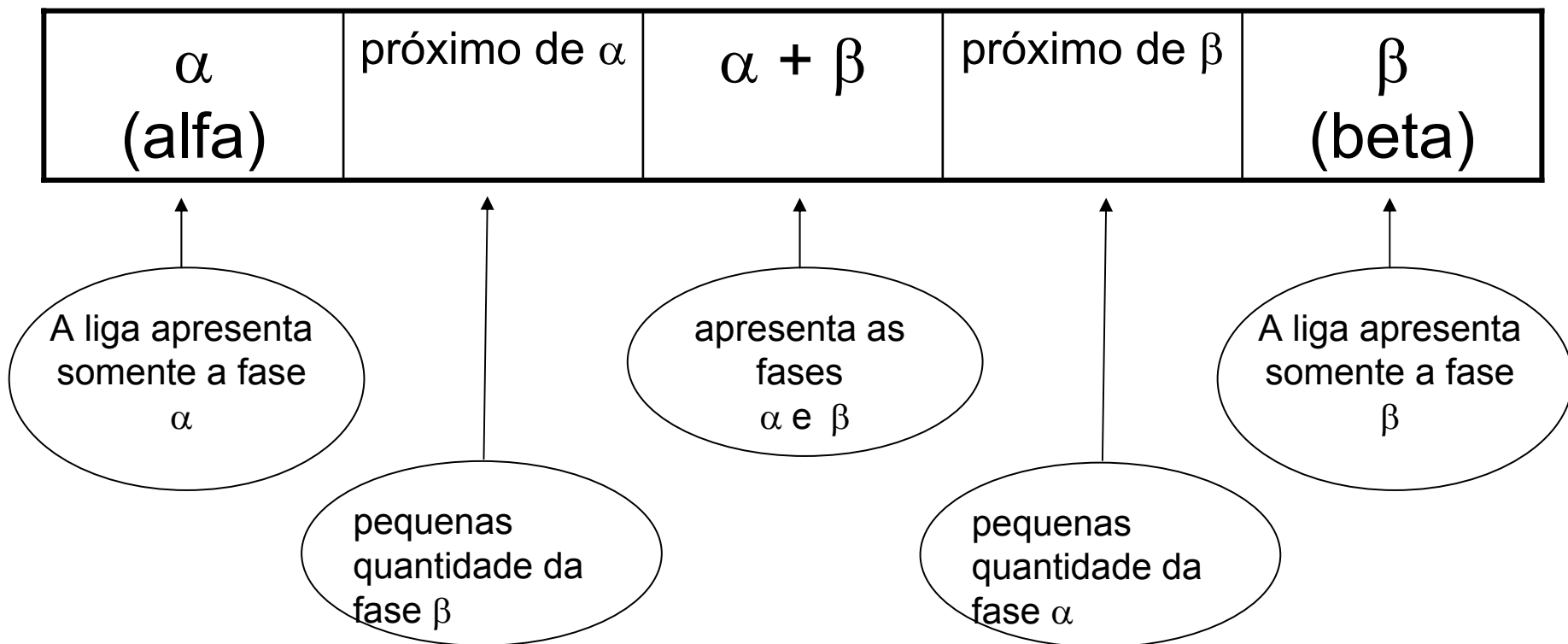
# Classificação das ligas de Ti conforme a microestrutura

Conforme a presença das fases  $\alpha$  e  $\beta$  na microestrutura, as ligas são classificadas em cinco tipos:

$\alpha$ (alfa)	próximo de $\alpha$	$\alpha + \beta$	próximo de $\beta$	$\beta$ (beta)
--------------------	---------------------	------------------	--------------------	-------------------

## Classificação das ligas de Ti conforme a microestrutura

Conforme a presença das fases  $\alpha$  e  $\beta$  na microestrutura, as ligas são classificadas em cinco tipos:



# Classificação das ligas de Ti conforme a microestrutura

Conforme a presença das fases  $\alpha$  e  $\beta$  na microestrutura, as ligas são classificadas em cinco tipos:

$\alpha$ (alfa)	próximo de $\alpha$	$\alpha + \beta$	próximo de $\beta$	$\beta$ (beta)
--------------------	---------------------	------------------	--------------------	-------------------

# Classificação das ligas de Ti conforme a microestrutura

Conforme a presença das fases  $\alpha$  e  $\beta$  na microestrutura, as ligas são classificadas em cinco tipos:

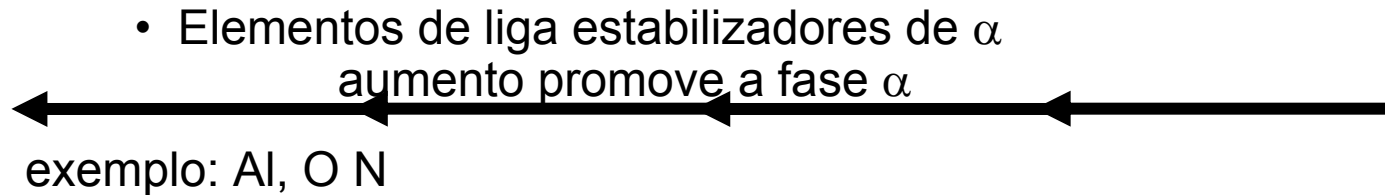
$\alpha$ (alfa)	próximo de $\alpha$	$\alpha + \beta$	próximo de $\beta$	$\beta$ (beta)
--------------------	---------------------	------------------	--------------------	-------------------

- Elementos de liga estabilizadores de  $\alpha$
- Elementos de liga estabilizadores de  $\beta$

# Classificação das ligas de Ti conforme a microestrutura

Conforme a presença das fases  $\alpha$  e  $\beta$  na microestrutura, as ligas são classificadas em cinco tipos:

$\alpha$ (alfa)	próximo de $\alpha$	$\alpha + \beta$	próximo de $\beta$	$\beta$ (beta)
--------------------	---------------------	------------------	--------------------	-------------------




- Elementos de liga estabilizadores de  $\beta$

## Classificação das ligas de Ti conforme a microestrutura

Conforme a presença das fases  $\alpha$  e  $\beta$  na microestrutura, as ligas são classificadas em cinco tipos:


$\alpha$ (alfa)	próximo de $\alpha$	$\alpha + \beta$	próximo de $\beta$	$\beta$ (beta)
--------------------	---------------------	------------------	--------------------	-------------------

- Elementos de liga estabilizadores de  $\alpha$   
aumento promove a fase  $\alpha$



exemplo: Al, O N

- Elementos de liga estabilizadores de  $\beta$   
aumento promove a fase  $\beta$

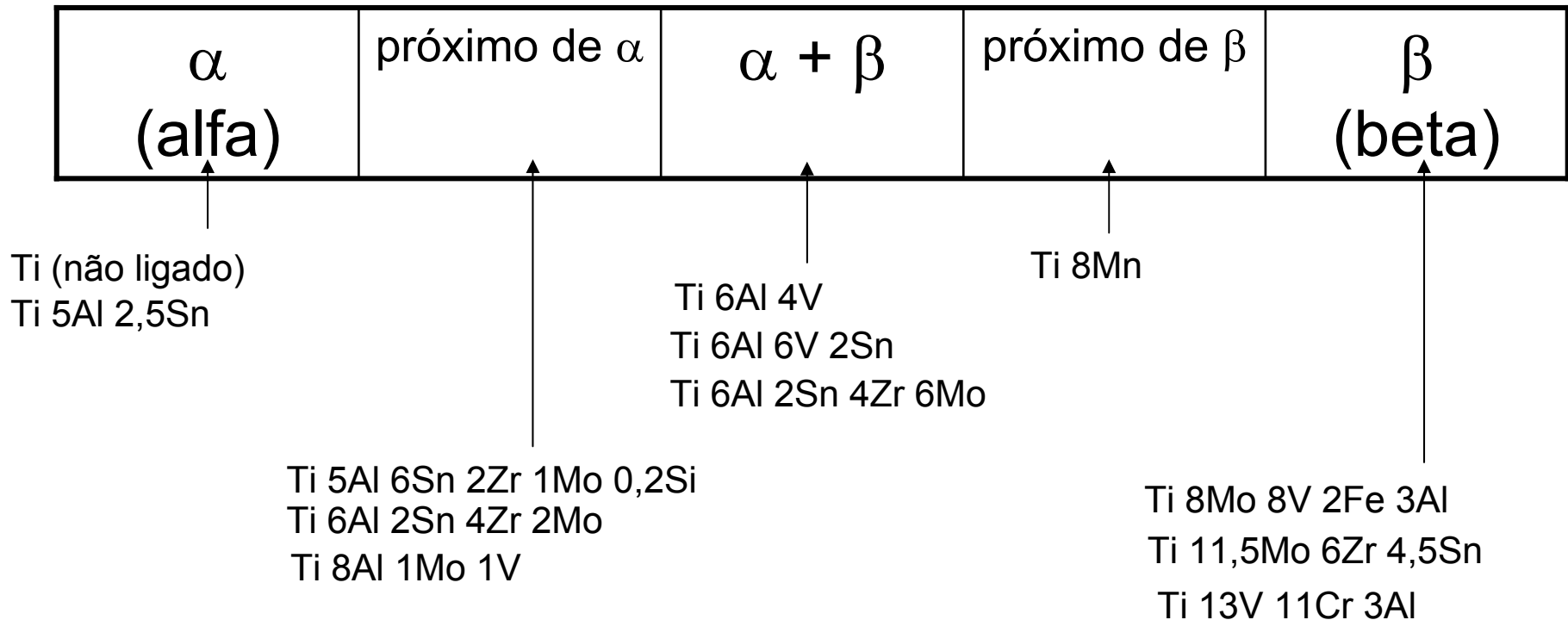


exemplo: Mo, Fe, V, Cr, Mn



## Classificação das ligas de Ti conforme a microestrutura

Conforme a presença das fases  $\alpha$  e  $\beta$  na microestrutura, as ligas são classificadas em cinco tipos:

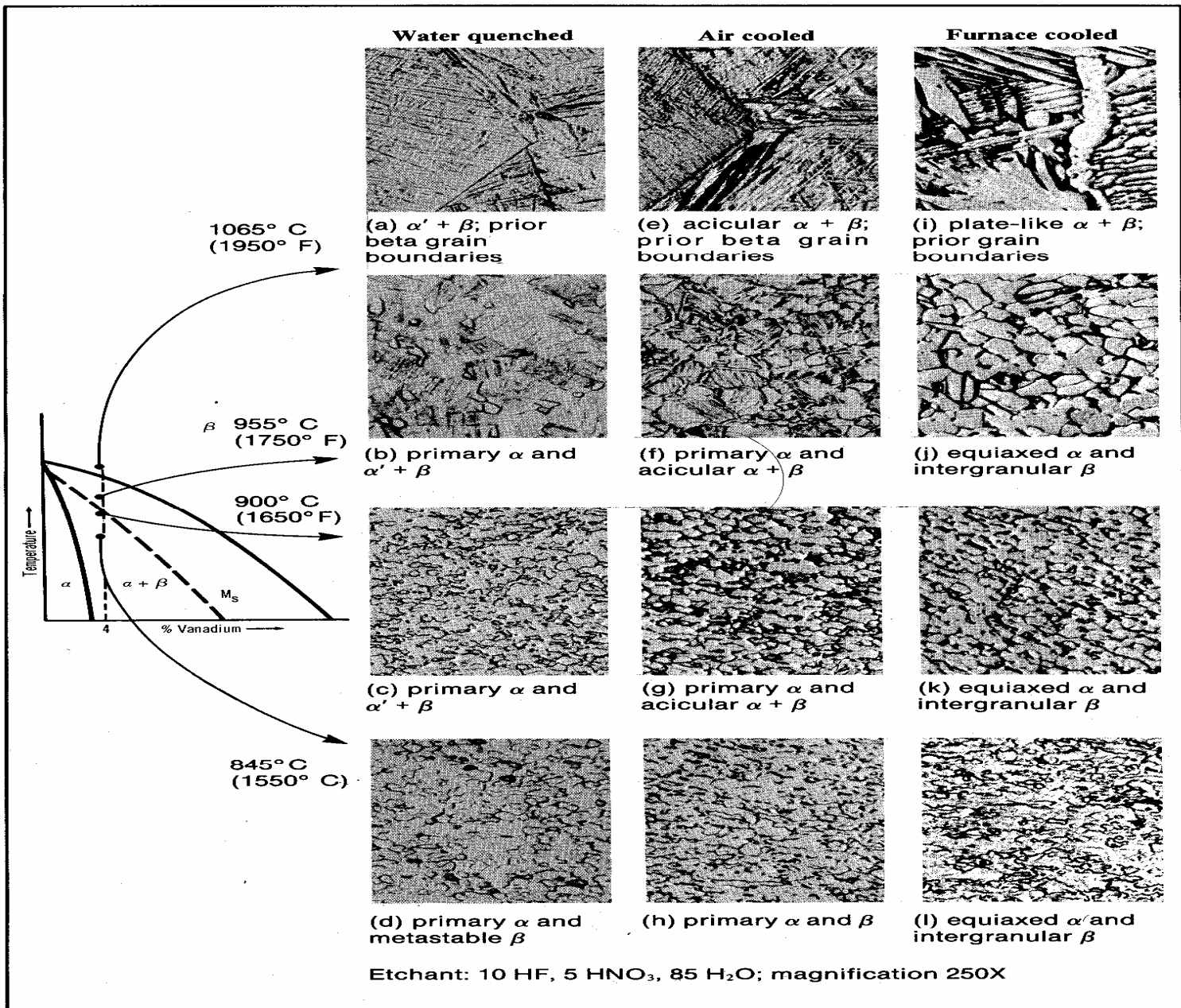


# A Transformação de fases pode ocorrer por:

- Difusão (quando o resfriamento é lento)
- Mecanismo Martensítico (resfriamento rápido com pouca mobilidade atômica).



# Processo de formação do Ti-6Al-4V



**Vantagens das microestruturas equiaxiais e aciculares****Equiaxiais**

Alta ductibilidade

Alta resistência mecânica

Melhor tolerância ao hidrogênio

Melhor propriedade de fadiga de baixo ciclo

**Acicular**

Superior propriedade de fluência

Alto valor de tenacidade a fratura

Densidade  
Capacidade de trat. térmico  
Endurecimento (TT →  $\alpha$ )  
Forjabilidade  
Resistência mecânica

**Estrutura**

$\alpha$

**Estrutura**

$\alpha + \beta$

**Estrutura  $\beta$**

Resistência a fluência  
Soldabilidade