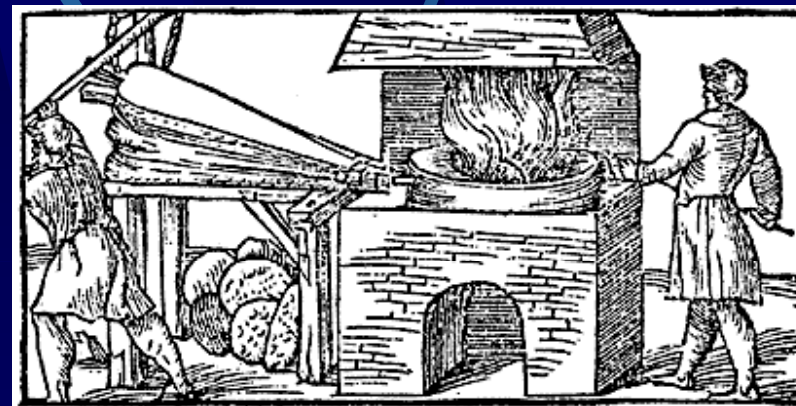


# Aço - Histórico

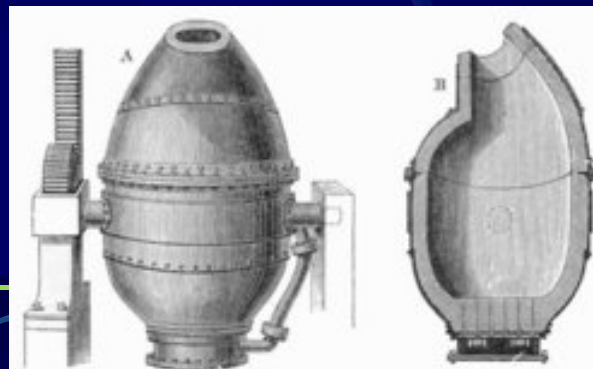


- Fornos primitivos, com foles manuais, ainda hoje usados na África Central

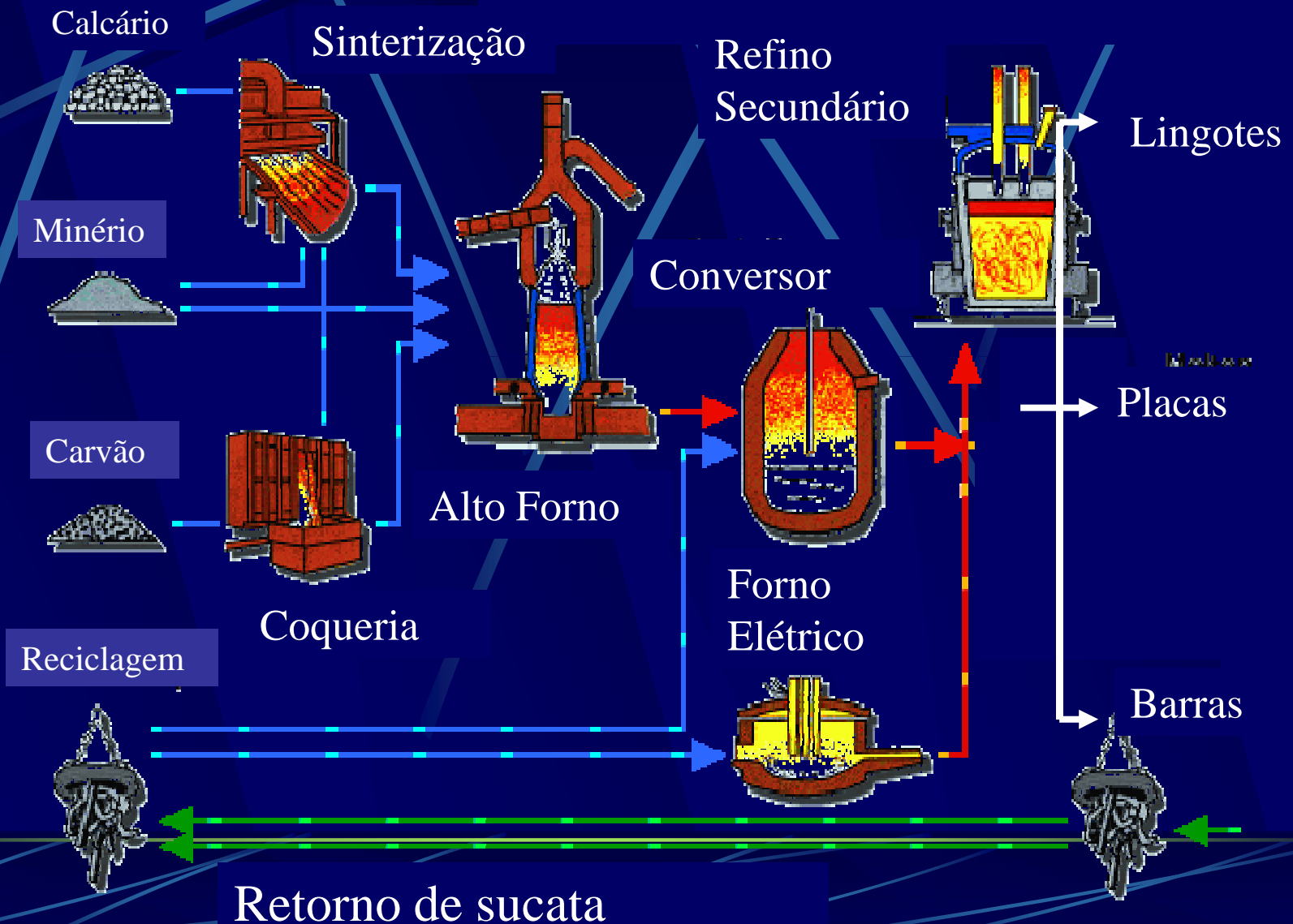


- Fornos primitivos, com foles manuais, utilizados na Europa medieval.

- Conversor Bessemer

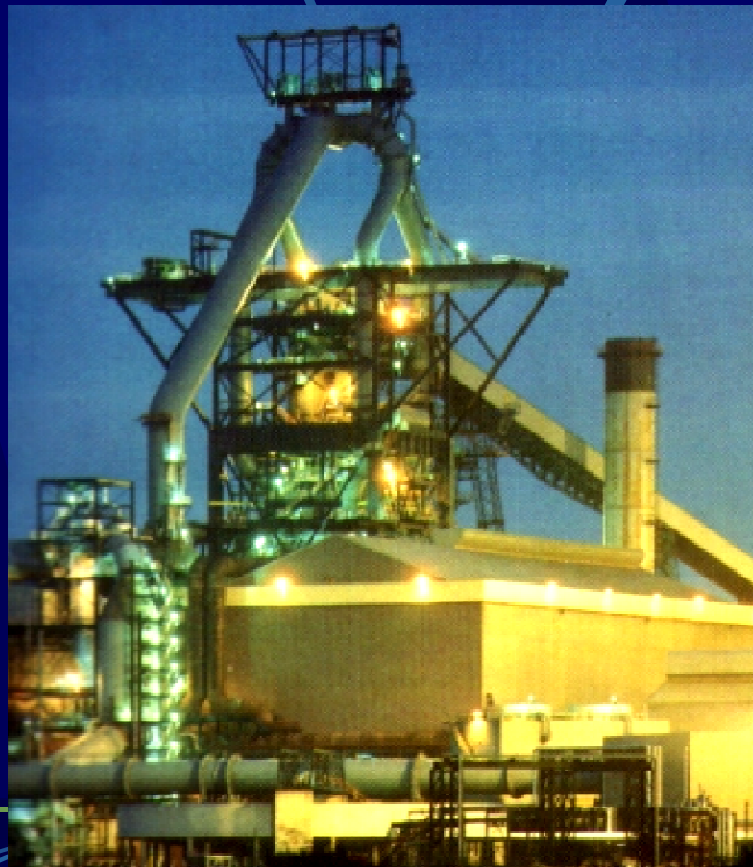


# Processamento do aço - Geral



# Aço

- Obtenção do aço nos dias de hoje

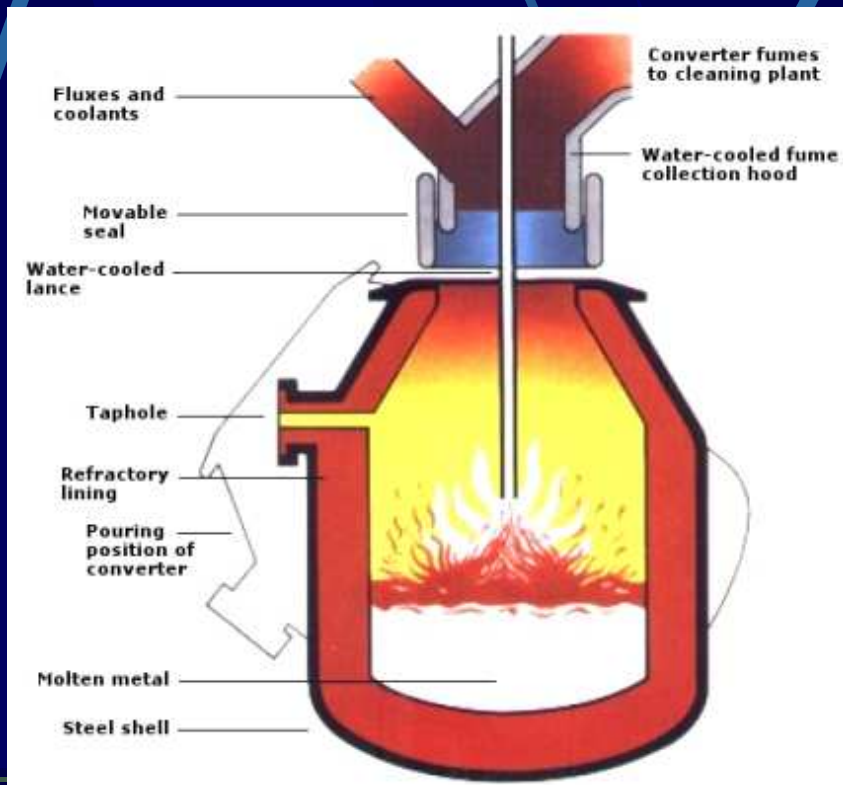


- Alto-forno utilizado na produção de aço



# Aço

- Obtenção do aço nos dias de hoje

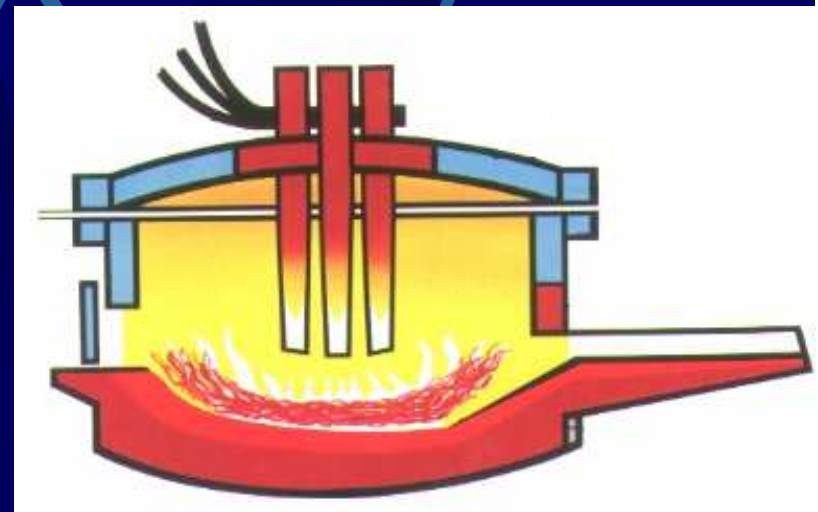
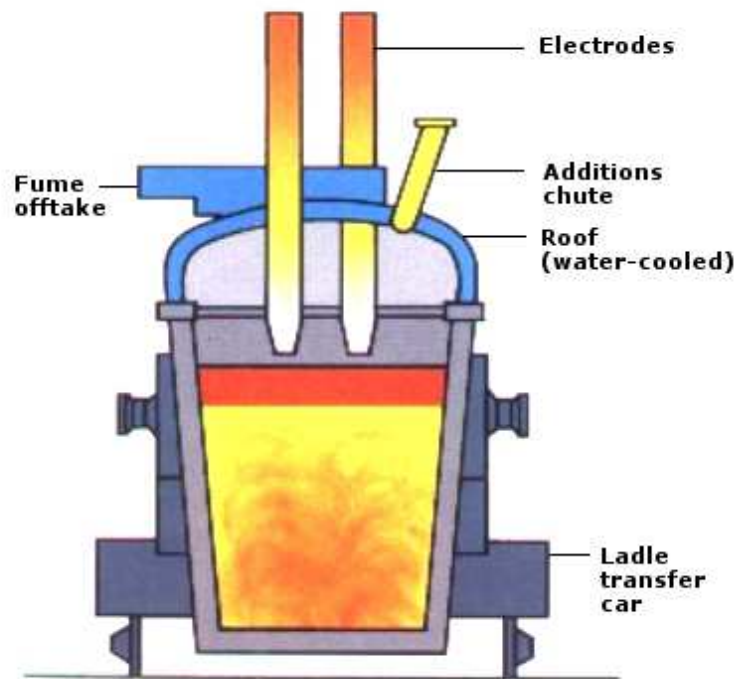


-Aciaria - Conversor LD



# Aço

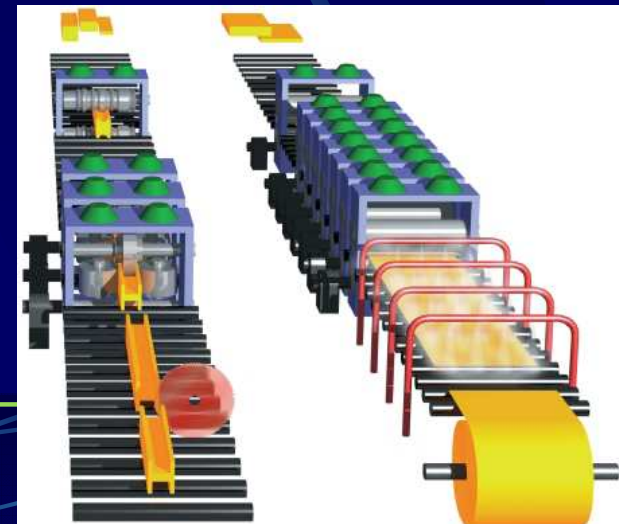
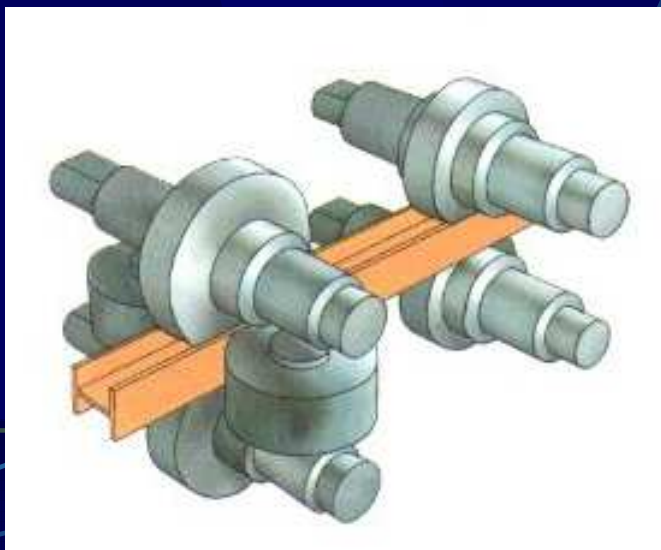
## ● Fornos elétricos



# Aço

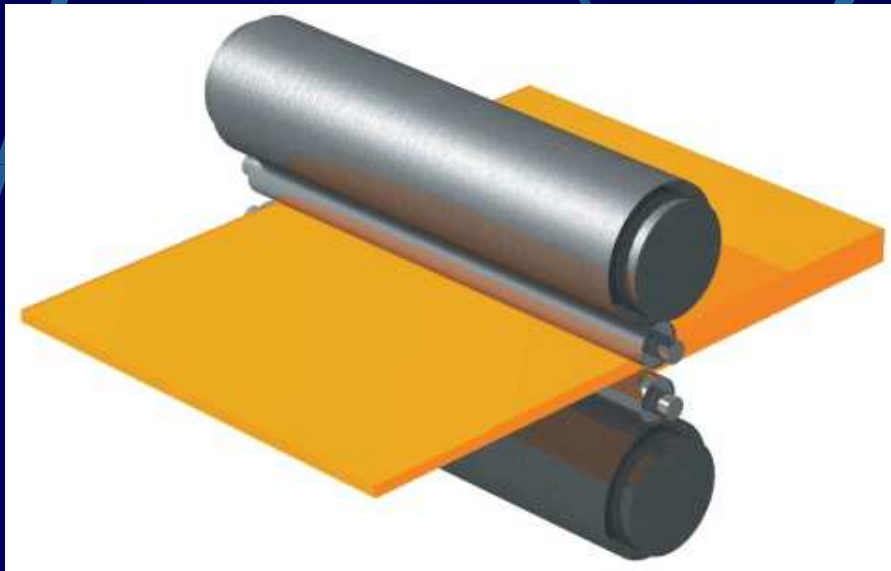


- Laminação a quente



# Aço

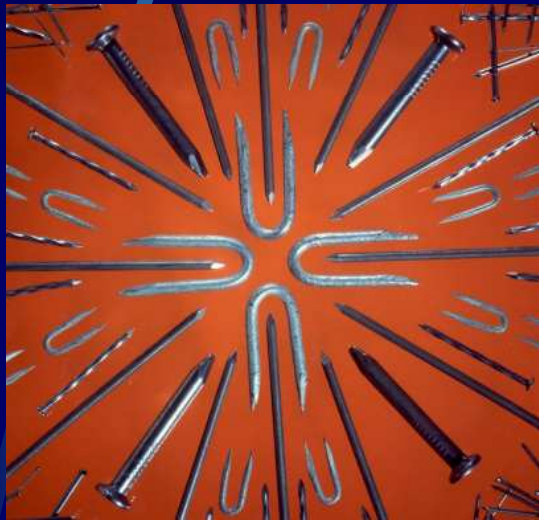
- Produtos planos





# Aço

## ● Produtos diversos



## Maiores produtores

2011 (Mt) 2012 (Mt)



Fonte: WorldSteel Association

# MATERIAIS METÁLICOS

## FERROSOS

Ligas Fe-C

Ferros Fundidos

Aços

- Ao-carbono
- Baixa liga
- ARBL
- Ligados

Fe-Cr  
(-Ni)  
(INOX)

- Ferríticos
- Austeníticos
- Martensíticos
- Duplex
- PH

Outras Fe

Fe-Ni  
(MARAGING)

Fe-C-Mn  
(HADFELD)

## NÃO FERROSOS

Ligas leves

Ligas Al

Ligas Ti

Ligas Mg

Ligas Be

Bronzes

Ligas Cu

Latões

Cu-Ni

Ligas Ni

Ligas Tm↘

Ligas Tm↗  
(REFRATÁRIOS)

# LIGAS FERRO-CARBONO

$0 < \%C < 2$

$2 < \%C < 4$

AÇOS

FERROS FUNDIDOS

Sem liga ou  
Ao-carbono

Se não possuir  
nenhum elemento de  
liga em quantidade  
superior aos mínimos  
indicados

Aço ligado

Aço de  
baixa liga

Se nenhum elemento  
de liga atingir um  
teor de 5%

Aço de  
alta liga

Se pelo menos um el.  
de liga ultrapassar  
um teor de 5%

Teores máximos de alguns  
elementos nos aços sem liga:

- |              |             |
|--------------|-------------|
| • Al – 0,10% | • Ni – 0,30 |
| • Bi – 0,10  | • Nb – 0,06 |
| • B – 0,0008 | • Pb – 0,40 |
| • Cr – 0,30  | • Se – 0,10 |
| • Co – 0,10  | • Si – 0,50 |
| • Cu – 0,05  | • Ti – 0,05 |
| • Mn – 1,65  | • W – 0,01  |
| • Mo – 0,08  | • V – 0,10  |



Independentemente de ser ou não ligado, um aço pode ser classificado segundo vários critérios:

### Resistência mecânica

#### Valor da tensão limite de elasticidade:

- Aços comuns  
 $\sigma < 600 \text{ MPa}$
- Aços de alta resistência  
 $600 < \sigma < 1100 \text{ MPa}$
- Aços de muito alta resistência  
 $1100 < \sigma < 1800 \text{ MPa}$
- Aços de ultra alta resistência  
 $\sigma > 1800 \text{ MPa}$

### Teor em C

- *Baixo teor em C*  
( $\%C < 0,3$ )
- *Médio teor em C*  
( $0,3 < \%C < 0,7$ )
- *Alto teor em C*  
( $\%C > 0,7$ )

### Utilização

- Aços de construção
- Aços-ferramenta
  - Aços rápidos
  - Aços trabalho quente
  - Aços trabalho a frio
  - Aços resist ao choque
- Aços especiais
  - Resist. à corrosão
  - Resistentes a altas temperaturas
  - Aços para molas, etc

# AÇOS AO CARBONO E DE BAIXA LIGA

- Propriedades dependem do tratamento térmico e % de deformação plástica
- Elevada rigidez
- Podem atingir elevada resistência e dureza
- Material por excelência para construção mecânica



# AÇOS AO CARBONO

## Baixo Carbono (%C<0,3)

- Grande ductilidade
- Apropriados para elevado trabalho mecânico e para soldagem
- Construção de pontes, edifícios, navios, caldeiras, e peças de grandes dimensões em geral
- Não temperáveis

## Médio Carbono (0,3<%C<0,7)

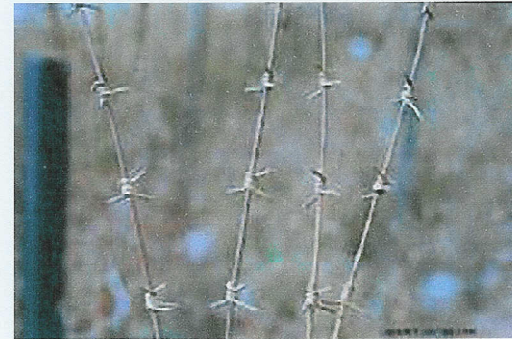
- Temperados e revenidos atingem boas tenacidade e resistência
- Usados em engrenagens, bielas, trilhos, etc

## Alto Carbono (%C>0,7)

- Elevadas dureza e resistência depois de têmpera
- Pequenas ferramentas de baixo custo
- Componentes agrícolas sujeitos a desgaste
- Molas, engrenagens, came e excêntricos

Os aços ao carbono podem ainda ser obtidos no estado de “laminado a frio” (*cold finished*) ou de “laminado a quente” (*hot finished*), este último para %C<0,25.

## Aços Baixo Carbono



Barbed wires  
Aramos farpados



Domestic washer sheets  
Chapas para lavadoras domésticas

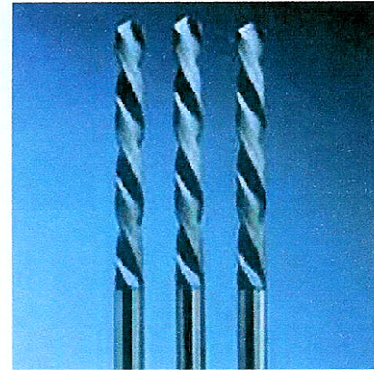




## Aços Médio Carbono

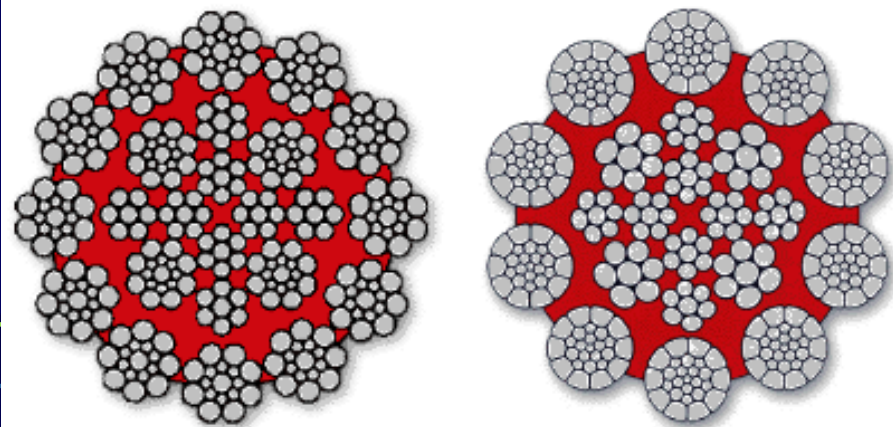
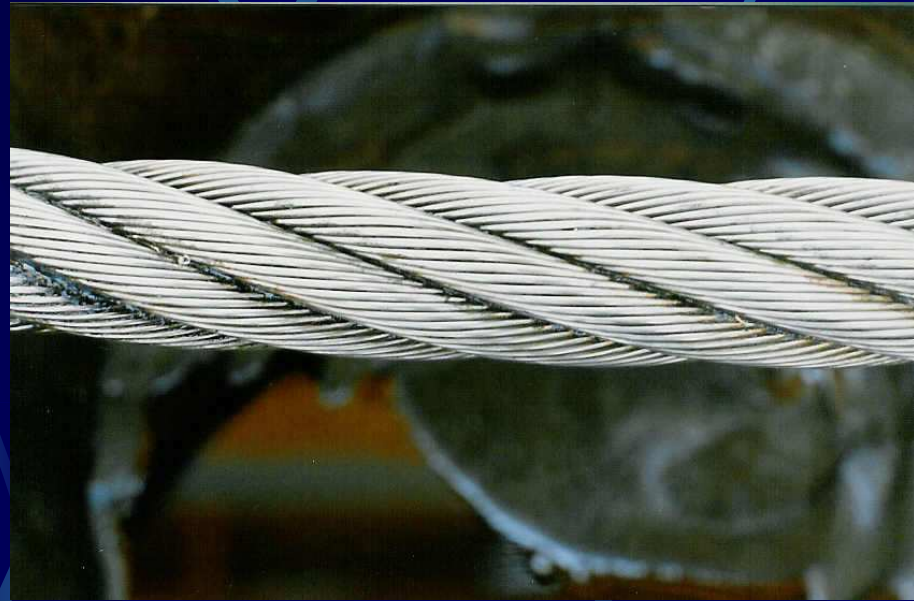


## Aços Alto Carbono



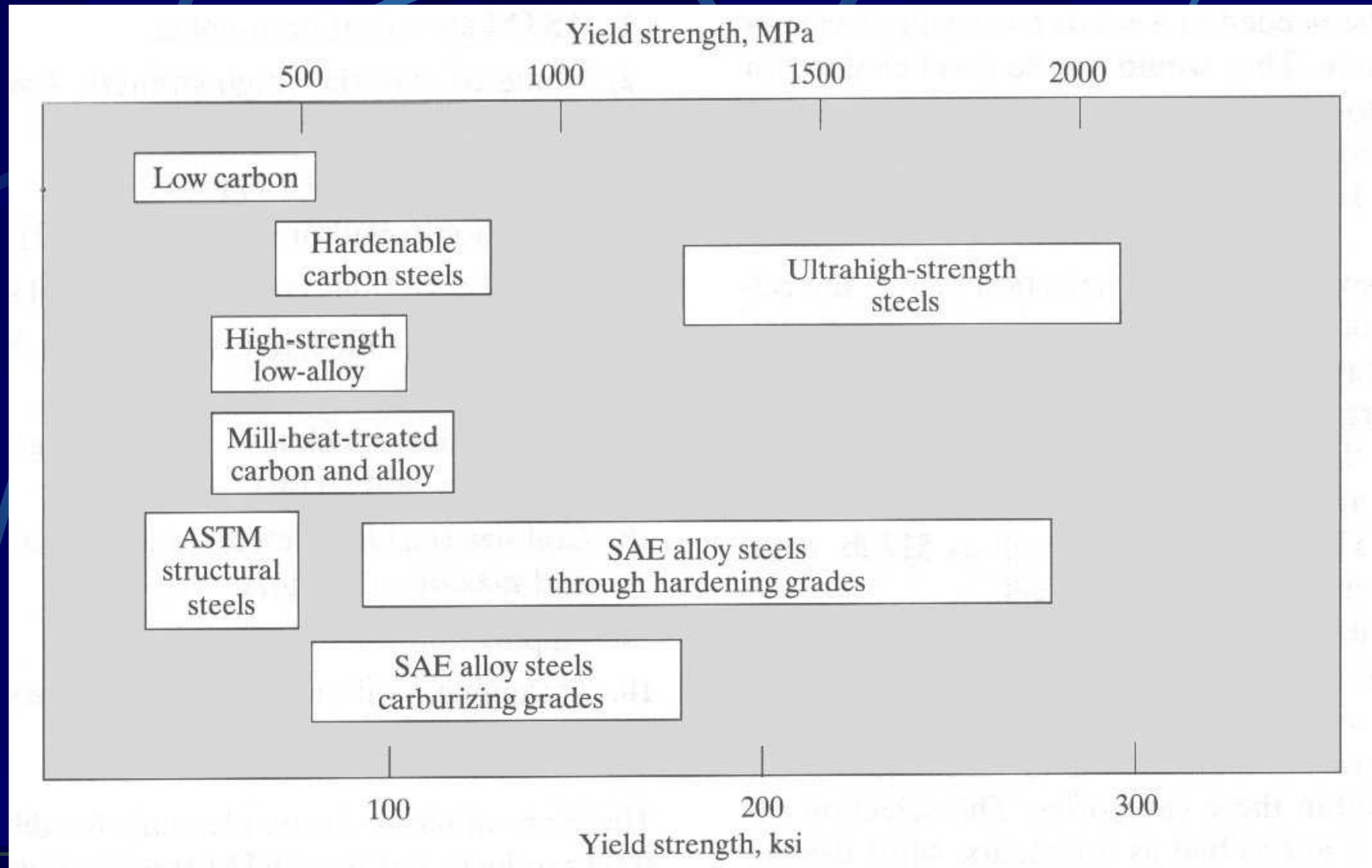
Drills and hackblade  
brocas e lâminas de serras

## Aços Alto Carbono





# AÇOS AO CARBONO - PROPRIEDADES





# APLICAÇÕES DOS AÇOS AO CARBONO

## NAVIOS

- Aço “macio” com %C entre 0,18 e 0,23 para facilitar a soldabilidade



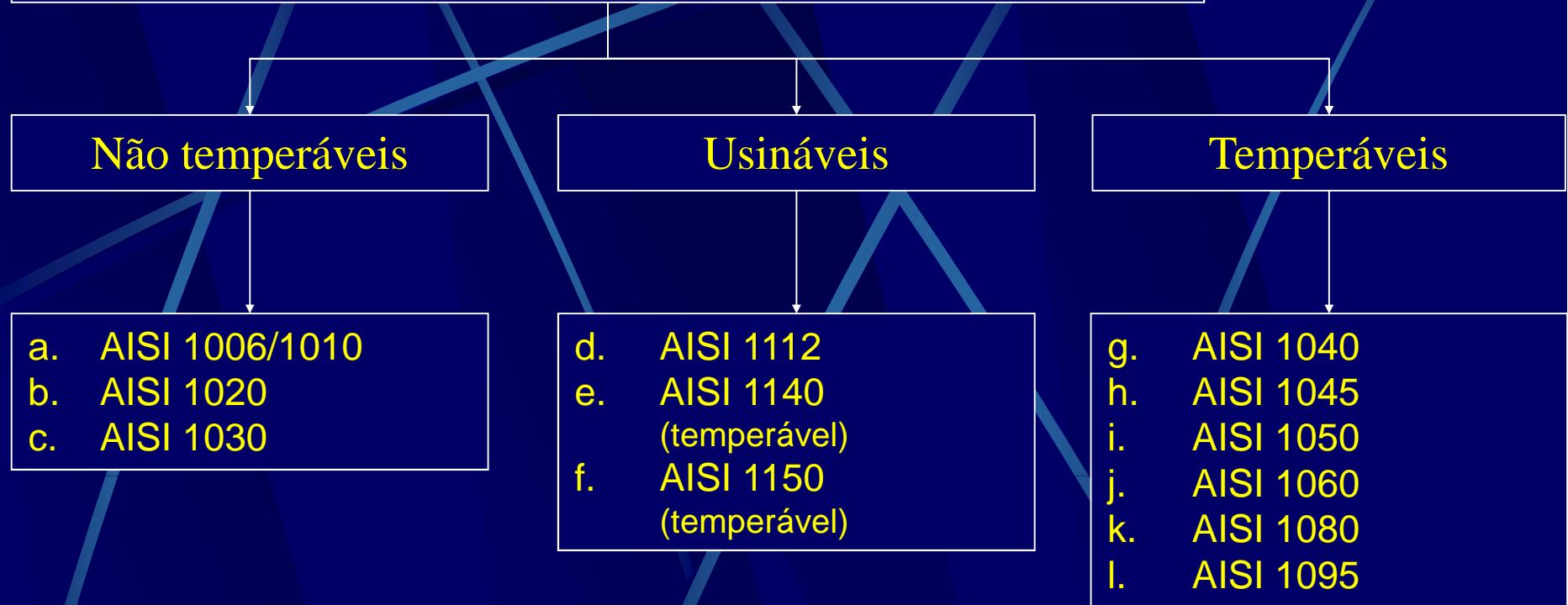
## AUTOMÓVEIS

- Carroceria: 1006, 1008
- Suspensão e direção: 1021~1046
- Motor: 1046, 1049 virabrequim, 1041 (biela), 1041, (válv. Admissão)

## MOLAS

- 1050, 1070, 1095 temp. e revenidos

# TIPOS DE AÇOS AO CARBONO



## *Algumas recomendações na seleção de aços ao carbono*

- a e b devem ser usados para peças que levarão extensa deformação plástica
- NUNCA SOLDAR AÇOS COM %C SUPERIORES A 0,3
- c e j são por vezes usados para obter melhor resist. sem tratamento térmico.
- Peças laminadas a frio devem ser encomendadas no estado recozido
- d~f devem usar-se quando peças requerem usinagem
- g~j utilizados para endurecimento superficial
- k~l são para têmpera total

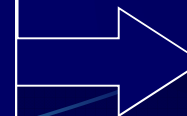
# VANTAGENS E LIMITAÇÕES DOS AÇOS AO CARBONO

- Ampla faixa de propriedades
- Relativamente baratos
- Representam 80% de toda a produção de aço



- Resistência sempre inferior a 700MPa (sem tratamento term.)
- Têmpera difícil para grandes espessuras (perigo de distorção/trinca)
- Baixa resistência ao impacto a baixas temperaturas
- Baixa resistência à corrosão
- Rápida oxidação à temperaturas elevadas
- Difíceis de trabalhar para teores elevados de carbono
- Cuidado na soldagem de aços com  $\%C > 0,3$

AÇOS DE LIGA



# EFEITO DOS ELEMENTOS DE LIGA NOS AÇOS

Adicionam-se elementos de liga ao aço para obtenção de propriedades e características particulares que não são possíveis de outra forma:

- Melhorar as propriedades mecânicas
- Melhorar a temperabilidade
- Maior usinabilidade, resistência ao desgaste, à fadiga, etc
- Melhorar a resistência à corrosão e oxidação
- Melhorar as propriedades mecânicas à baixas e/ou altas temperaturas



## ELEMENTOS DE LIGA NOS AÇOS

Alloy steels: most important series

Series	additions
4xxx	Ni, Mo, Cr
5xxx	Cr 0.8-1.45
87xx	Ni – 0.55, Cr - 0.50, Mo – 0.25
86xx	Ni – 0.55, Cr - 0.50, Mo – 0.20
15xx	Mn – 1.30
13xx	Mn – 1.75

# ELEMENTOS DE LIGA NOS AÇOS

**TABLE 12-1** ■ *Compositions of selected AISI-SAE steels*

AISI-SAE Number	% C	% Mn	% Si	% Ni	% Cr	Others
1020	0.18–0.23	0.30–0.60				
1040	0.37–0.44	0.60–0.90				
1060	0.55–0.65	0.60–0.90				
1080	0.75–0.88	0.60–0.90				
1095	0.90–1.03	0.30–0.50				
1140	0.37–0.44	0.70–1.00				0.08–0.13% S
4140	0.38–0.43	0.75–1.00	0.15–0.30		0.80–1.10	0.15–0.25% Mo
4340	0.38–0.43	0.60–0.80	0.15–0.30	1.65–2.00	0.70–0.90	0.20–0.300% Mo
4620	0.17–0.22	0.45–0.65	0.15–0.30	1.65–2.00		0.20–0.30% Mo
52100	0.98–1.10	0.25–0.45	0.15–0.30		1.30–1.60	
8620	0.18–0.23	0.70–0.90	0.15–0.30	0.40–0.70	0.40–0.60	0.15–0.25% Y
9260	0.56–0.64	0.75–1.00	1.80–2.20			

## ***Influência dos elementos de liga nas propriedades dos aços***

- **Cr** ↑ temperabilidade e resistência à corrosão, temperatura e desgaste
- **Ni** ↑ temperabilidade e tenacidade, estabiliza austenita
- **Mn** ↑ temperabilidade, estabiliza austenita, controla efeito do **S**
- **Mo** ↑ temperabilidade e resistência à temperatura e desgaste, ↓ grão
- **V** ↑ temperabilidade e resistência ao desgaste, ↓ grão
- **Si** ↑ tenacidade, temperab. e permeabilidade magnética, desoxida
- **Al** ↑ nitretação, ↓ grão, desoxida
- **Cu** ↑ resistência à corrosão pela formação de um óxido superficial
- **Co** e **W** ( ↑ dureza a quente), **Nb Ti** (μligados),
- **S** ↑ usinabilidade, ↓ soldabilidade e ductilidade,
- além de **C** e **N**
- $C_{eq} = C + (Cr+Mo+V)/5 + Mn/6 + (Ni+Cu)/15$

## AÇOS DE BAIXA LIGA

### ✱ Aços Carbono:

10xx - comuns ( $Mn < 1\%$ ,  
 $P < .04$  e  $S < .05$ , +  
elementos residuais)

11xx - alto  $S$  (0,08 a 0,35)  
para usinabilidade

### ✱ Aços Mn:

13xx -  $Mn$  1,60-1,90

15xx -  $Mn$  1,00-1,60

### ✱ Aços Ni:

23xx -  $Ni$  3,25-3,75

25xx -  $Ni$  4,75-5,25

### ✱ Aços Mo:

40xx -  $Mo$  0,15-0,30

44xx -  $Mo$  0,35-0,45

45xx -  $Mo$  0,45-0,60

### ✱ Aços Cr:

50xx -  $Cr$  0,30-0,60

51xx -  $Cr$  0,70-1,15

501xx -  $Cr$  0,40-0,60

511xx -  $Cr$  0,90-1,15

521xx -  $Cr$  1,30-1,60

### ✱ Aços Si:

92xx -  $Si$  1,80-2,20



## AÇOS DE BAIXA LIGA (cont.)

### ☀ Aços Ni-Cr:

31xx - Ni 1,10-1,40; Cr 0,55-0,75

33xx - Ni 3,25-3,75; Cr 1,40-1,75

### ☀ Aços Ni-Mo:

46xx - Ni 1,65-2,00; Mo 0,20-0,30

48xx - Ni 3,25-3,75; Mo 0,20-0,30

### ☀ Aços Cr-Mo:

41xx - Cr 0,80-1,10; Mo 0,15-0,25

### ☀ Aços Cr-V:

61xx - Cr 0,70-1,10; V 0,10-0,15

### ☀ Aços Ni-Cr-Mo:

Ni

Cr

Mo

43xx - 1,65-2,00/0,70-0,90/0,20-0,30

47xx - 0,90-1,20/0,35-0,55/0,30-0,40

86xx - 0,40-0,70/0,40-0,60/0,15-0,25

87xx - 0,40-0,70/0,40-0,60/0,20-0,30

93xx - 3,00-3,50/1,00-1,40/0,08-0,15

98xx - 0,85-1,15/0,70-0,90/0,20-0,30

### Aços Cr Ni Mo

Série 43XX 1,8 Ni, 0,5 - 08 Cr, 0,20 Mo %  
86XX 0,5 Ni, 0,5 Cr, 0,20 Mo %

- Alto limite elástico, alta tenacidade, alta resistência à fadiga.
- Mo reduz fragilização de revenido.
- Praticamente temperável ao ar. (Bai.+Mar.)
- Res. à tração: 2000 MPa .



### Aços baixa liga **Cr**

Séries 51XX 0,8 - 1,0 %

52XX 1,45 %

Cr adicionado aos aços a fim de aumentar a temperabilidade, resistência mecânica e ao desgaste.

Cr forte ferritizante e formador de carbonetos  $(Fe, Cr)_3C$ .

- Aços para molas e rolamentos
- Suscetível à fragilização por revenido.



### Aços ao Mo

Série 40XX 0,25 %

- Temperabilidade levemente superior aos aços com mesmo teor de C
- Facilidade de obtenção de estrutura bainítica
- Retarda o amolecimento durante o revenimento

### Aços **Cr Mo**

Série 41XX 0,5 - 0,95 Cr

0,13 - 0,20 Mo

- Temperabilidade ao óleo
- Mo retarda fragilização por revenido

