

1	Aços.....	1
1.1	Finalidade	1
2	Classificação	2
2.1	Crterios para Classificao dos Aos.....	2
2.2	Classificao Genrica	2
3	Classificao dos Aos por Designao Normativa.....	2
3.1	Classificao Normativa SAE/AISI.....	3
4	Classificao dos Aos Quanto ao Processamento	4
5	Classificao dos Aos Quanto a Microestrutura	5
6	Classificao Quanto a Composio Quimica.....	6
6.1	Aos Carbono	6
6.2	Aos Ligados.....	7
6.3	Aos de Alta Resistncia e Baixa Liga (ARBL)	8
7	Classificao Quanto as Propriedades.....	8
7.1	Aos Inoxidaveis	8
7.1.1	Definio.....	8
7.1.2	Classificao.....	8
7.1.3	Designaes	9
7.1.4	Aplicoes.....	9
8	Classificao Quanto as Aplicoes.....	10
8.1	Aos Estruturais	10
8.2	Aos para Molas	10
8.3	Aos para Beneficiamento	10
8.4	Aos para Cementao ou Nitretao	11
8.5	Aos para Ferramentas.....	11
8.5.1	Aplicoes.....	11
8.5.2	Requisitos Gerais.....	12
8.5.3	Classificao.....	12
8.5.4	Composio Quimica.....	12
9	Informoes Complementares.....	13
9.1	Influencia de Elementos de Liga	13
9.2	Equivalncia entre Aos Inoxidaveis.....	15
10	Bibliografia.....	16

1 Aços

Aços são ligas ferro com até ~2,0% de carbono, podendo conter outros elementos de liga tais como Cr, Mn, Si, Mo, V, Nb, W, Ti, Ni e outros elementos (denominados de residuais, provenientes do processo de fabricao, tais como o P, S, Si).

1.1 Finalidade

Os aços são um tipo de material metálico que são utilizados na fabricao de peas (engrenagens, eixos, parafusos, porcas, rolamentos, etc.), ferramentas (pás, martelos, serras, matrizes, punoes, etc.) ou estruturas (pontes, edificios, tanques).

O principal motivo do ferro ser o elemento mais consumido mundialmente é por ser utilizado na fabricao de aços (e também dos ferros fundidos).

A grande gama de aplicoes dos aços se deve ao baixo custo de obtencao, associado a grande versatilidade de propriedades que se pode obter a partir de pequenas mudancas na composio quimica, tratamentos térmicos e/ou no processamento e, principalmente da elevada ductilidade aliada a grande tenacidade e elevada dureza.

2 Classificação

Para classificar alguma coisa é preciso ter um critério. Podemos classificar um objeto de acordo com o critério cor (verde/azul/amarelo) ou peso (leve/pesado).

2.1 Critérios para Classificação dos Aços

A classificação dos aços não obedece a um único critério, existindo classificações quanto à composição química, processamento, microestrutura, propriedades ou mesmo aplicações a que se destinam.

Basta uma rápida verificação dos índices de diversas publicações dedicadas ao assunto e logo se constatará que os aços estão classificados sob vários critérios quando o desejável seria que se utilizasse de um único parâmetro de classificação.



Figura 1 – Aplicação do aço na indústria automobilística.

Assim, como exemplos de diferentes tipos de aços frequentemente encontrados na literatura temos: aços ao carbono, aços para ferramentas, aços fundidos, aços inoxidáveis, etc. Note-se que os critérios de classificação utilizados foram, respectivamente, a composição (ao carbono), a aplicação (para ferramentas), o processamento (fundidos) ou a propriedade (inoxidável).

Existe uma relação entre tais critérios já que o processamento e a composição determinam a microestrutura do material obtido. Por sua vez, a microestrutura (junto com a geometria e algumas variáveis do ambiente) determinam as propriedades que por sua vez determinam o campo de aplicação do material.

A figura 2 ilustra a interação destes critérios e o texto a seguir discute os tipos de aços existentes em cada critério mencionado.

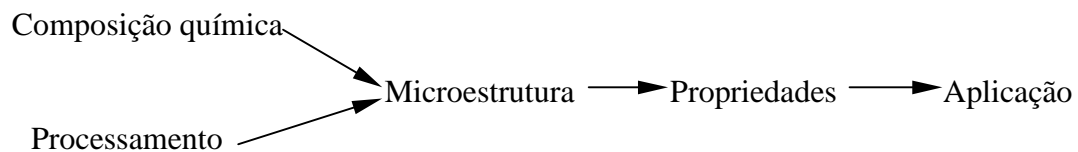


Figura 2 – Interação entre os critérios de classificação do aço.

2.2 Classificação Genérica

Nessa classificação, os aços são ordenados de acordo com o teor de carbono, conforme segue:

Aço extra-doce: < 0,15%C

Aço meio-doce: 0,15%C até 0,30%C

Aço meio-duro: 0,30%C até 0,60%C

Aço duro: 0,60%C até 0,70%C

Aço extra-duro: 0,70 até 2,00%C

3 Classificação dos Aços por Designação Normativa

É interessante salientar que as diversas instituições normativas, tanto nacionais quanto internacionais, estabeleceram critérios de designação para os diversos tipos de aço utilizados na indústria. Dentre as mais importantes, encontram-se as designações ABNT¹ e AISI² e SAE³.

¹ ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

² AISI – American Iron and Steel Institute

³ SAE – Society of Automotive Engineers

3.1 Classificação Normativa SAE/AISI

Essa designação normativa estabelece uma chave alfanumérica para a identificação dos aços, que segue o seguinte critério:

 $yyAxxB$

em que:

yy → tipo de aço (ao carbono, ao manganês, ao cromo)

A → acréscimo de elementos de liga especiais (acrescentar quando aplicável)

Aços ao boro – xyBxx: B denota aço ao Boro

Aços ao chumbo – xxLxx : L denota aço ao Chumbo

Aços ao vanádio – xxVxx : V denota aço ao Vanádio

xx → percentual de carbono contido no aço x 100

B → requisitos adicionais de qualidade (temperabilidade) (acrescentar quando aplicável)

Tabela 1 – Lista parcial da denominação normativa ABNT, AISI/SAE

Tipo de aço		Chave numérica
Aço carbono		10xx
ressulfurado		11xx
ressulfurado e refosforizado		12xx
Aço manganês	Mn 1.75%	13xx
Aço níquel	Ni 3.50%	23xx
	Ni 5.00%	25xx
Aço níquel cromo	Ni 1.25% ; Cr 0.65 e 0.80%	31xx
	Ni 1.75% ; Cr 1.07%	32xx
	Ni 3.50% ; Cr 1.50% e 1.57%	33xx
	Ni 3.00% ; Cr 0.77%	34xx
Aço molibdênio	Mo 0.20 e 0.25%	40xx
	Mo 0.40 e 0.52%	44xx
Aço cromo molibdênio	Cr 0.50 , 0.80 e 0.95% ; Mo 0.12 , 0.20 , 0.25 e 0.30%	41xx
Aço níquel cromo molibdênio	Ni 1.82% ; Cr 0.50 e 0.80% ; Mo 0.25%	43xx
	Ni 1.05% ; Cr 0.45% ; Mo 0.20 e 0.35%	47xx
	Ni 0.30% ; Cr 0.40% ; Mo 0.12%	81xx
	Ni 0.55% ; Cr 0.50% ; Mo 0.20%	86xx
	Ni 0.55% ; Cr 0.50% ; Mo 0.25%	87xx
	Ni 0.55% ; Cr 0.50% ; Mo 0.35%	88xx
	Ni 3.25% ; Cr 1.20% ; Mo 0.12%	93xx
	Ni 0.45% ; Cr 0.40% ; Mo 0.12%	94xx
	Ni 0.55% ; Cr 0.20% ; Mo 0.20%	97xx
	Ni 1.00% ; Cr 0.80% ; Mo 0.25%	98xx
Aço níquel molibdênio	Ni 0.85 e 1.82% ; Mo 0.20 e 0.25%	46xx
	Ni 3.50% ; Mo 0.25%	48xx
Aços cromo	Cr 0.27, 0.40, 0.50 e 0.65%	50xx
	Cr 0.80, 0.87, 0.92, 0.95, 1.00 e 1.05%	51xx
	Cr 1.45% ; C 1.00% min	52xxx
Aço cromo vanádio	Cr 0.60, 0.80 e 0.95% ; V 0.10 e 0.15%	61xx
Aço cromo tungstênio	W 1.75 ; Cr 0.75%	72xx
Aço silício manganês	Si 1.40 e 2.00% ; Mn 0.65, 0.82 e 0.85% ; Cr 0 e 0.65%	92xx

Outra denominação normativa de importância ao mercado brasileiro é a alemã, regulamentada pelas normas DIN.

Nessa denominação, temos:

a) Aços comuns para construção mecânica

É indicado a tensão de ruptura à tração, em [kgf/mm²], precedido de **St** (=Stahl, aço)

Exemplo: St 37, St42, St58

b) Aços carbono de qualidade

São indicados com a letra **C**, seguido do teor de carbono multiplicado por 100.

Exemplo: C20, C45

c) Aços liga

1) Aços de baixa liga

É constituído de dois algarismos que indicam o teor de carbono multiplicado por 100, seguido pelos símbolos químicos dos elementos de liga que caracterizam o aço, acrescido por números que exprimem os teores desses elementos de liga multiplicados por um fator K, que é dependente do elemento de liga em questão.

Exemplos:

- 20 Cr Mo 9 15 – aço ao cromo e molibdênio, com:
0,20% C
1,25% Cr
1,5% Mo
- 22 Cr Mo 54 – aço ao cromo e molibdênio com:
0,22% C
1,25% Cr
0,4% Mo
- 25 S 20 – aço resulfurado com:
0,25% C
0,20% S

2) Aços de alta liga (ver item 6.2)

São aços cuja quantidade percentual de elementos de liga presentes é maior do que 5%. A designação para esses tipos de aço é formada pela letra "X" seguida pela quantidade de carbono multiplicado por 10, seguida dos símbolos dos elementos químicos existentes, seguido de números que representam a quantidade percentual desses elementos de liga.

Exemplos:

- X 10 Cr Ni Ti 18 9 2
Aço ao cromo, níquel e titânio com: 0,10% C, 18%Ni e 2%Ti

4 Classificação dos Aços Quanto ao Processamento

Por processamento entende-se o tipo de operação que se executa sobre o aço visando mudar a forma e/ou a estrutura.

Os processamentos que visam impor uma forma são a conformação mecânica (a frio ou a quente, tal como a laminação, extrusão, trefilação), a fundição e a consolidação por sinterização (metalurgia do pó). Assim, existem aços trabalhados (a quente ou a frio), fundidos ou sinterizados.

Os processamentos que visam alterar a estrutura são os tratamentos térmicos, tais como recozimento, normalização, recristalização, coalescimento e a têmpera (e revenimento).

O processamento altera a microestrutura do aço e portanto, afeta as propriedades. A tabela 2 ilustra a relação entre processamento, microestrutura e propriedades.

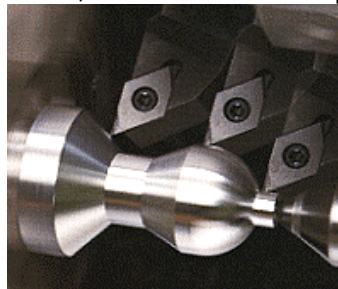


Figura 3 – Aço durante o processo de usinagem.

Tabela 2 – Relação entre o processamento, microestrutura e propriedades dos aços

PROCESSAMENTO	MICROESTRUTURA	PROPRIEDADES
Trabalhado a frio	Encruada (alta densidade de discordâncias) Grãos alongados (orientados)	Elevada resistência Baixa ductilidade Grande anisotropia
Trabalhado a quente	Recristalizada (baixa densidade de discordâncias) Grãos refinados e equiaxiais Ausência de tensões residuais	Moderada resistência Elevada ductilidade Moderada anisotropia
Fundido	Estrutura dendrítica Grãos colunares e equiaxiais Baixa densidade de discordâncias Presença de segregação Presença de tensões residuais Presença de porosidade (em muitos casos)	Baixa resistência Moderada ductilidade Moderada anisotropia
Sinterizado	Recristalizada (baixa densidade de discordâncias) Heterogeneidade química Presença de poros	Baixa resistência Baixa ductilidade Moderada anisotropia

5 Classificação dos Aços Quanto à Microestrutura

A classificação de acordo com a microestrutura é típica da área metalúrgica, existindo os seguintes grupos:

a) Aços Encruados

Estes aços geralmente são de microestrutura predominantemente ferrítica, com um pouco de perlita, sendo resultantes de processos de deformação a frio. Normalmente são aços de baixo teor de carbono (inferior a 0,4% C) e com baixa quantidade de elementos de liga.

b) Aços Ferríticos-Perlíticos

Obviamente os aços ferríticos-perlíticos possuem teor de carbono abaixo de 0,8% (hipoeutetóides), e são resultantes de processos em que houve resfriamento lento tais como material trabalhado a quente, recozido ou normalizado.

c) Aços Martensíticos

Os aços constituídos de martensita revenida geralmente são aplicados em situações em que se exige resistência elevada ao longo de toda a seção transversal, tais como eixos e punções.

Os aços martensíticos com carbonetos primários são aplicados em situações que exigem resistência ao desgaste elevada, tais como em ferramentas de corte ou de trabalho a quente. A martensita propicia a elevada resistência e os carbonetos primários propiciam durezas elevadas.

d) Aços Bainíticos

Sob determinadas combinações de resistência e dureza a estrutura bainítica propicia maior tenacidade que a martensítica, tornando tais aços preferíveis em situações que se necessita resistência associada à tenacidade.

e) Aços Austeníticos

Uma vez que a austenita não é um constituinte estável em temperatura ambiente, sua estabilização depende da presença de elementos de liga, tais como o cromo e o manganês.

A austenita, por ser não magnética, encontra aplicação em situações em que se deseja minimizar efeitos de campos magnéticos induzidos, tais como em suportes de bússolas.



Figura 4 – Aplicação do aço inoxidável em tubulação de indústria petroquímica.

Além disso, a austenita, quando estabilizada pelo manganês, pode se transformar em martensita mediante impacto, possuindo elevada resistência ao impacto e à abrasão, sendo utilizada para revestimentos de moinhos e outros componentes de equipamentos de moagem (britadores ou martelos).

Há ainda o caso de aços austeníticos inoxidáveis, porém neste caso a resistência a oxidação é predominantemente devida aos elevados teores de cromo e níquel presentes em tais aços.

f) Aços Dúplex ou Bifásicos

Por aços dúplex costuma-se denominar duas categorias distintas de estruturas.

Na primeira, do tipo austenítico-ferrítica (delta), encontram-se certos aços inoxidáveis, cuja resistência mecânica e à corrosão é superior àquela obtida nos inox austeníticos.

A segunda categoria consiste de microestrutura ferrítico-martensítica, resultante de têmpera a partir de temperatura de dentro da zona crítica (entre as linhas A1 e A3 do diagrama Fe-C). Os aços de baixo carbono com esta estrutura apresentam combinação de resistência e ductilidade mais elevadas que os equivalentes ferríticos-perlíticos.

6 Classificação Quanto à Composição Química

6.1 Aços Carbono

A maior quantidade de aço consumida pertence à categoria dos aços carbono. Isto se deve ao baixo custo, em relação aos aços ligados e à ampla gama de propriedades que pode ser obtida mediante variação do teor de carbono e do estado de fornecimento (encruado, temperado, etc.).

Pode-se estabelecer a seguinte subdivisão dos aços carbono para fins de aplicação.

a) Baixo carbono (abaixo de 0,3%)

São aplicados em situações que exigem ductilidade elevada, por exemplo, chapas para estampagem, tubos, fios para arames lisos e farpados, ou telas. Neste caso o estado de fornecimento pode ser laminado a quente, recozido ou normalizado.

Podem ser aplicados em situações que envolvem exigências quanto à soldabilidade, pois o baixo carbono é necessário para evitar formação de martensita que ocorre no resfriamento subsequente à soldagem.

Os aços de baixo carbono, quando combinados com elementos de liga e cementados, são aplicados quando se necessita combinar resistência ao desgaste (dureza superficial) com tenacidade (no núcleo), tais como eixos, engrenagens, pinos, ferramentas de impacto. Ex.: 8620, 4320.

b) Aços de médio carbono (entre 0,3 e 0,5%C)

Aços de médio carbono são aplicados em produtos forjados pois possuem ductilidade a quente (para forjamento) associado à média resistência a frio no estado forjado (ferrítico-perlítico).

Quando combinados com elementos de liga, são utilizados em situações que exijam alta resistência (obtida mediante têmpera e revenido) mantendo ainda alguma ductilidade. A temperabilidade é obtida mediante emprego de elementos de liga. Ex.: eixos e engrenagens de caminhão. Aço 4340, 8640.

c) Aços de alto teor de C (acima de 0,5%C)

São utilizados em casos que se exige elevados limites de escoamento, tais como molas e vergalhões de concreto. O alto limite de escoamento é obtido mediante encruamento ou, se no presença de elementos de liga, mediante têmpera e revenido.



Figura 5 – Aplicações dos aços ligados na indústria em geral.

Quando combinados com elementos de liga, também são utilizados para fins de obtenção de dureza elevada, através de carbonetos primários (VC, Mo₂C, WC) como no caso de aços ferramentas.

6.2 Aços Ligados

O uso de elementos de liga geralmente é feito com as seguintes finalidades:

- Aumentar a profundidade de têmpera (temperabilidade)
- Aumentar a resistência ao revenido (isto é, evitar o amolecimento entre 300 e 550°C).
- Introduzir propriedades especiais tais como:
 - resistência à corrosão em aços inoxidáveis
 - resistência ao desgaste em aços Hadfield
 - resistência à quente em aços ferramenta (rápidos)

Pode-se dividir em três categorias:

a) Aços de baixa liga

São aços cuja quantidade dos elementos de liga é inferior a 5% e têm a finalidade de aumentar a temperabilidade e a resistência ao revenido.

Os elementos típicos são: Cr, Mo, Ni, Mn e Si

São aplicados para os seguintes fins:

- Aumentar muito a temperabilidade: Aplicado em peças grandes que devem ter alta resistência no núcleo.
- Facilitar a transição (atenuar a queda de dureza) entre o núcleo e a superfície de aço cementados, visando evitar destacamento.
- Elevar a dureza de camadas nitretadas pela formação de nitretos de alumínio ou cromo.

Os aços de baixa liga são os mais consumidos dentre os aços ligados.

b) Aços de média liga (Σ E.L. entre 5 e 10%)

Os aços de média liga são os que têm a somatória dos elementos de liga entre 5% e 10%. São aplicados em situações que envolvem elevada resistência mecânica em temperaturas elevadas (500°C) tais como aços para trabalho a quente (matrizes). Ex.: Aços tipo H (0,3%C; 5%Cr; 1,5%Mo; 1%Si).

Há ainda casos onde se exigem resistência ao impacto associado com elevada dureza, tais como aços ferramentas para trabalho a frio temperáveis ao ar. Tais aços possuem elevada temperabilidade sendo aplicáveis às matrizes de recorte, estampagem e lâminas de tesouras. Os mesmos apresentam baixas distorções após a têmpera (devido ao resfriamento ao ar) sendo recomendados para manutenção de precisão dimensional. Ex.: Aço ferramenta A2 (1%C; 0,6%Mn; 0,25%Si; 5%Cr; 0,25%V e 1%Mo).

c) Aços de alta liga (Σ E.L. > 10%)

A quantidade dos elementos de liga nesses aços é maior do que 10%. São aços que podem ser aplicados em diversas finalidades, tais como:

- Elevada resistência à oxidação (aços inoxidáveis, %Cr>12%).
- Elevada resistência mecânica e ao desgaste (aços D6: 2%C; 0,3%Mn; 0,85%Si; 12%Cr; 0,75%W) sendo aplicáveis em matrizes para forjamento e estampagem.
- Capacidade de corte, como nos aços rápidos, utilizados como ferramentas de corte por manterem dureza a quente (aços M1: 0,85C; 0,3Mn; 0,3Si; 4Cr; 1,5W; 1V 8,5Mo)
- Capacidade de endurecer sob impacto (aços Hadfield: 1C; 12,7Mn; 0,5Si) utilizados para moinhos e martelos para britagem de rochas. Estes aços são austeníticos e se transformam em martensíticos sob impacto com as rochas durante o serviço.



Figura 6 – Alguns exemplos de peças construídas em aços liga

	CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA – CEFET-SP ÁREA ELETROMECAÂNICA	Folha:	8 de 16
	Tecnologia Mecânica	Professor:	Caruso

6.3 Aços de Alta Resistência e Baixa Liga (ARBL)

São aços cujas normas AISI-SAE não classifica como aços ligados (tais como 4340, 8620, 4320), apesar de conterem elementos de liga adicionados para fins de obtenção de resistência mecânica e à corrosão atmosférica superiores aos aços de baixo carbono.

Os aços ARBL apresentam resistência entre 300 e 700 MPa, tendo sido desenvolvidos para elevar a relação entre resistência e peso, visando aplicação em estruturas móveis. A soma de elementos de liga geralmente não ultrapassa a 2%, e o teor de carbono situa-se abaixo de 0,3%.

7 Classificação Quanto às Propriedades

De todos os critérios em que se costumam classificar os aços, este é o menos sistemático, podendo-se destacar os seguintes casos mencionados na literatura:

- Aços de alta resistência e baixa liga;
- Aços de alta resistência;
- Aços inoxidáveis;
- Aços indeformáveis (baixa distorção dimensional resultante da têmpera e revenimento);
- Aços para fins elétricos e magnéticos (note-se que esta terminologia refere-se tanto à propriedade quanto à finalidade do aço).

7.1 Aços Inoxidáveis

7.1.1 Definição

Os aços-inoxidáveis são aqueles que contém um mínimo de 10,5% de Cromo como principal elemento de liga. São aços onde não ocorre oxidação em ambientes normais. Alguns aços inoxidáveis possuem mais de 30% de Cromo ou menos de 50% de Ferro. Suas características de resistência são obtidas graças à formação de um óxido protetor que impede o contato do metal base com a atmosfera agressiva. Alguns outros elementos como níquel, molibdênio, cobre, titânio, alumínio, silício, nióbio, nitrogênio e selênio podem ser adicionados para a obtenção de características mecânicas particulares.

7.1.2 Classificação

Os aços inoxidáveis são divididos em cinco famílias, de acordo com a microestrutura, estrutura cristalina das fases presentes ou tratamento térmico utilizado. As cinco famílias são: martensíticos, ferríticos, austeníticos, dúplex (austenítico e ferrítico) e endurecíveis por precipitação.

a) Martensíticos

Os aços inoxidáveis martensíticos são ligas Fe-Cr-C que possuem uma estrutura cristalina martensítica na condição endurecida. São ferromagnéticos, endurecíveis por tratamento térmico e resistentes à corrosão somente em meios de média agressividade. O conteúdo de cromo é, geralmente, situado entre 10,5 e 18% e o conteúdo de carbono não pode ser superior a 1,2%. Os conteúdos de carbono e cromo são balanceados para garantir uma estrutura martensítica. Alguns elementos como nióbio, silício, tungstênio e vanádio são, às vezes, adicionados para modificar o comportamento do aço durante o revenimento. Pequenas quantidades de níquel podem ser adicionadas para melhorar a resistência à corrosão. Da mesma maneira, enxofre e selênio podem ser adicionados para melhorar usinabilidade.

b) Ferríticos

São ligas de Fe-Cr, de estrutura cristalina cúbica de corpo centrado (CCC). Seu conteúdo de cromo se situa na faixa de 11 a 30%. Alguns graus podem conter molibdênio, silício, alumínio, titânio e nióbio para a obtenção de certas características. Também podem ser adicionados enxofre e selênio para melhoria da usinabilidade. São ferromagnéticos, podem possuir boas ductilidade e conformabilidade mas suas características de resistência em altas temperaturas são ruins se comparadas à dos austeníticos. Sua tenacidade também pode ser limi-

	CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA – CEFET-SP ÁREA ELETROMECÂNICA	Folha:	9 de 16
	Tecnologia Mecânica	Professor:	Caruso

tada a baixas temperaturas e em seções pesadas. Não são endurecíveis por tratamento térmico e dificilmente por trabalho a frio.

c) Austeníticos

Constituem a maior família de aços inoxidáveis, tanto em número de diferentes tipos quanto em utilização. A exemplo dos ferríticos, não são endurecíveis por tratamento térmico. São não magnéticos na condição recozida e são endurecíveis apenas por trabalho a frio. Normalmente, possuem excelentes propriedades criogênicas e excelentes resistências mecânica e à corrosão em altas temperaturas. O conteúdo de cromo varia entre 16 e 26%, o de níquel é menor ou igual a 35% e o de manganês é menor ou igual a 15%. Podem ser adicionados, também, molibdênio, cobre, silício, alumínio, titânio e nióbio, para a obtenção de melhores características de resistência à oxidação.

d) Dúplex

São ligas bifásicas baseadas no sistema Fe-Cr-Ni. Estes aços possuem, aproximadamente, a mesma proporção das fases ferrita e austenita e são caracterizados pelo seu baixo teor de carbono (<0,03%) e por adições de molibdênio, nitrogênio, tungstênio e cobre. Os teores típicos de cromo e níquel variam entre 20 e 30% e 5 e 8%, respectivamente. A vantagem dos aços dúplex sobre os austeníticos da série 300 e sobre os ferríticos, são a resistência mecânica (aproximadamente o dobro), maiores tenacidade e ductilidade (em relação aos ferríticos) e uma maior resistência a corrosão por cloretos.

e) Endurecíveis por precipitação

São ligas cromo-níquel que podem ser endurecidas por tratamento de envelhecimento. Podem ser austeníticos, semi-austeníticos ou martensíticos, sendo que a classificação é feita de acordo com a sua microestrutura na condição recozida. Para viabilizar a reação de envelhecimento, muitas vezes se utiliza o trabalho a frio, e a adição de elementos de liga como alumínio, titânio, nióbio e cobre.

7.1.3 Designações

Os aços inoxidáveis são normalmente designados pelos sistemas de numeração da AISI, UNS⁴ ou por designação própria do proprietário da liga. Entre estes, o sistema da AISI é o mais utilizado. Nele, a maioria dos graus de aços inoxidáveis possuem uma classificação com três dígitos. Os aços austeníticos fazem parte das séries 200 e 300, enquanto que a série 400 designa tanto aços ferríticos quanto martensíticos.

A série UNS, por sua vez, possui um maior número de ligas que a AISI, pois incorpora todos os aços inoxidáveis de desenvolvimento mais recente. Nesta série, os aços inoxidáveis são representados pela letra S, seguida de cinco números. Os três primeiros representando a numeração AISI (se tiverem). Os dois últimos algarismos serão 00 se o aço for um aço comum da designação AISI. Se forem diferentes, significa que o aço tem alguma característica especial reconhecida pela UNS.

7.1.4 Aplicações

a) Martensíticos

Estes aços são especificados quando a aplicação requer elevadas resistência à tração, à fluência e à fadiga, combinadas com requisitos moderados de resistência à corrosão e utilizações em até 650 °C. Entre as suas aplicações estão turbinas a vapor, motores a jato e turbinas a gás. Alguns destes aços encontram aplicações, também, como tubulações de vapor, reaquecedores de geradores a vapor e tubulações superaquecidas utilizadas em refinarias de combustíveis fósseis, cutelaria, peças de válvulas, engrenagens, eixos, cilindros laminadores, instrumentos cirúrgicos e odontológicos, molas, cames e esferas de rolamentos.

b) Ferríticos

⁴ Unified Numbering System

	CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA – CEFET-SP ÁREA ELETROMECCÂNICA	Folha:	10 de 16
	Tecnologia Mecânica	Professor:	Caruso

Suas várias classes encontram aplicações em sistemas de exaustão de automóveis, como recipientes de alimentos, em trocadores de calor e em tubulações contendo soluções com cloretos e água do mar.

Austeníticos

Podem, em função dos elementos de liga presentes na sua composição, resistir a corrosão atmosférica, em várias soluções aquosas, na presença de alimentos, em ácidos oxidantes (como o nítrico), fosfóricos e acéticos, em soluções diluídas contendo cloretos e em ácidos sulfurosos.

c) Dúplex

Graças a sua elevada resistência mecânica, os aços inoxidáveis dúplex podem ser utilizados em menores espessuras. Sua desvantagem é que não pode ser utilizado em temperaturas acima de 300 °C, sob pena de perder algumas de suas características mecânicas, sobretudo a tenacidade. É bastante utilizado nas indústrias de gás, petróleo, petroquímica, polpa e papel, principalmente na presença de meios contendo aquosos contendo cloretos.

d) Endurecíveis por precipitação

Possuem boas resistência mecânica, tenacidade e ductilidade. Sua resistência à corrosão é de moderada a boa. Suas características lhe garantem aplicação nas indústrias aeroespacial e de alta tecnologia.

8 Classificação Quanto às Aplicações

Esta classificação é a mais freqüente na literatura técnica, possivelmente devido à associação imediata entre o tipo de aço e a aplicação pretendida para o mesmo, podendo-se destacar os seguintes exemplos:

- Aços estruturais
- Aços para molas
- Aços para beneficiamento
- Aços para cementação ou nitretação
- Aços ferramentas (para trabalho a frio, a quente, impacto, etc.)

8.1 Aços Estruturais

Os requisitos fundamentais esperados nos aços destinados à construção de estruturas metálicas (pontes, torres de linhas de transmissão, edifícios) são:

- a) resistência mecânica
- b) soldabilidade
- c) disponibilidade no mercado
- d) preço baixo

Os aços ao carbono comuns atendem a esses requisitos principais, sendo que os mais utilizados são os que se encontram na faixa de 0,15%C até 0,35%C. São exemplos mais comuns os aços AISI 1015 e 1020 e os DIN C15 e C20.

8.2 Aços para Molas

São aços carbono comuns, em alguns casos com adições de elementos de liga, principalmente o manganês, apresentando como características básicas um alto limite de elasticidade e resistência à fadiga.

São exemplos de aços para molas os AISI 1070, 1080, 1090; da norma DIN podemos citar: 50 Mn 7, 50 Cr V 4.

8.3 Aços para Beneficiamento

Por beneficiamento entendemos o tratamento térmico de têmpera seguido de revenimento. Os aços utilizados para essa finalidade possuem C > 0,25%, com ou sem a adição de elementos de liga.

Os requisitos para a seleção desse tipo de aço são:

- a) propriedades mecânicas da peça e do material
- b) características geométricas da peça
- c) solicitações estáticas e dinâmicas sobre a peça
- d) temperabilidade.

Pode-se citar como exemplos de aços para beneficiamento: AISI 4130, 4140, 4330, 4340, 5130, 5140, 8640, 8660. Aços para beneficiamento segundo as normas DIN são 25 Cr Mo 4, 42 Cr Mo 4, 50 Cr Mo 4, 60 Ni Cr Mo 2, 50 Cr V 4.

8.4 Aços para Cementação ou Nitretação

São aços que caracteristicamente possuem um baixo teor de carbono ($C < 0,25\%$), com ou sem a presença de elementos de liga. São empregados em elementos de máquinas que devem ter grande resistência ao desgaste (grande dureza superficial) e ótima ductilidade no seu núcleo, tendo portanto ótima capacidade de absorção de impactos.

Os aços costumeiramente utilizados para cementação ou nitretação são: AISI 1010, 1016, 3120, 5120, 4320, 8620. Da norma DIN cita-se: C10, C20, 15 Cr Ni 6, 18 Cr Ni 8.

8.5 Aços para Ferramentas

Os aços ferramentas são particularmente importantes pois são empregados na fabricação de peças e utensílios que serão utilizados na fabricação de outras peças e utensílios. Exemplos de peças feitas de aços ferramentas são:

- a) fieiras
- b) matrizes para injeção de plásticos
- c) bits de usinagem
- d) martelos pneumáticos.

Os primeiros aços ferramentas (e ainda utilizados atualmente) foram os aços comuns ao carbono, sem elementos de liga, sendo que a partir de 1868 muitos aços complexos, altamente ligados, foram desenvolvidos visando atender às crescentes exigências de severidade em serviço, estabilidade dimensional e facilidade de fabricação (usinabilidade e isenção de trincas durante o tratamento térmico).

8.5.1 Aplicações

As diversas aplicações dos aços ferramentas podem ser classificadas de acordo com o tipo de solicitação envolvida no produto.

Assim, pode-se subdividir, para fins didáticos, as aplicações dos aços ferramentas nos seguintes grupos:

a) Trabalho a frio

Considera-se como trabalho a frio as aplicações que ocorrem na temperatura ambiente ou abaixo de 200°C , tais como: matrizes para estampagem, dobramento, compactação de pós, facas industriais, tesouras, ferramentas de corte e usinagem de papel e madeira, pinos guias, punções, calibres, padrões, instrumentos de medição, etc. Neste campo, as solicitações podem envolver de um lado resistência ao desgaste (por exemplo em tesouras) e de outro tenacidade (por exemplo em martelos).

b) Trabalho a Quente

São aplicações que ocorrem acima de 200°C e, portanto, são mais severas que o item anterior, englobando os seguintes casos: matrizes para fojamento a quente, moldes para fundição sob pressão, extrusão, facas para tesouras de corte a quente, fieiras, etc.

Algumas ferramentas para trabalho a quente trabalham em contato com material aquecido a 1100°C ou mais, provocando o aquecimento da ferramenta a níveis superiores a 550°C .

c) Ferramentas de usinagem.



Figura 7 – Aplicação estrutural do aço carbono.

São aplicações ainda mais severas que o item anterior, pois trata-se da usinagem de metais, devendo apresentar maior dureza, resistência ao revenimento e ao desgaste em temperaturas elevadas, devendo trabalhar de modo contínuo em temperaturas entre 550 e 600°C. Exemplos típicos são: brocas, alargadores, machos, cossinetes, fresas, bits, ferramentas de corte, desbaste e acabamento para tornos e ferramentas para plainas.

8.5.2 Requisitos Gerais

Normalmente as ferramentas e matrizes são fabricadas por usinagem (estando o material com baixa dureza, por exemplo, no estado recozido ou coalescido) e, após atingida a forma desejada para o produto, o mesmo sofre tratamento térmico para que se desenvolvam as propriedades necessárias para a aplicação específica a que se destinam.

Assim, os aços ferramentas devem atender a requisitos de fabricação (usinagem e tratamento térmico) e a requisitos relativos à aplicação, sendo freqüente haver conflitos entre ambos.

8.5.3 Classificação

Os aços ferramentas não apresentam uma metodologia racional de classificação, uma vez que alguns são identificados pelo meio de têmpera empregado em seu tratamento, outros pelas propriedades e outros ainda pelo tipo de elemento de liga presente.

A classificação abaixo é aquela adotada pelas AISI, e SAE. Há ainda outros tipos de aços ferramentas, designados pelas letras L e F de uso menos freqüente. Na tabela abaixo tem-se listados as composições dos diversos tipos de aços ferramentas.

Tabela 3 - TIPOS DE AÇOS FERRAMENTAS (AISI/SAE)

TIPO	DESIGNAÇÃO	APLICAÇÕES
W	Temperáveis em água (Water)	Trabalho a frio
S	Resistentes ao choque (Shock)	Trabalho a frio ou a quente
O	Aço ferramenta para trabalho frio – temperável em óleo (Oil)	Trabalho a frio
A	Aço ferramenta para trabalho a frio – temperável ao ar (Air)	Trabalho a frio
D	Aços ferramentas para trabalho a frio – matrizes (Dies)	Trabalho a frio e a quente
H	Aços ferramentas para trabalho a quente (Hot)	Trabalho a quente
T	Aços rápidos ao tungstênio (Tungsten)	Usinagem
M	Aços rápidos ao molibdênio (Molibden)	Usinagem
P	Aços para moldes (Plastics)	Molde para injeção de plásticos

8.5.4 Composição Química

Tabela 4 - Composição química dos principais aços ferramentas

TIPO	NOME (*)	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	V (%)	W (%)	Mo (%)	Outros (%)
W	W1	0,6 a 1,4							
	VW-1	1,2	0,4	0,25	0,20	0,10	1,00		
	VAP	0,95							
	VET-3	0,70							
	W2	0,6 a 1,4					0,25		
S	VETD	1,00				0,25			
	S1	0,50		1,00	1,5	0,2	2,00	0,2	
	VW-3	0,45			1,4				
	S2	0,5		1,00				0,5	
	S5	0,55	0,80	2,00				0,4	
	S7	0,50			3,25			1,4	

Tabela 4 - Composição química dos principais aços ferramentas

TIPO	NOME (*)	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Cr (%)	V (%)	W (%)	Mo (%)	Outros (%)
O	O1	0,90	1,00		0,50	0,12	0,50		
	VND	0,95	1,25		0,50		0,50		
A	A2	1,00			5,00			1,00	
D	D2	1,50		0,30	12,00	0,9		1,00	
	VD-2	1,50			12,00			0,95	
	D3	2,25			12,00	0,2			
	VC-130	2,50			11,50				
	D6	2,10			12,00	0,2	0,80		
	VC-131	2,10			11,50		0,70		
H	H10	0,40			3,25	0,40		2,50	
	VCM	0,32			2,90	0,50		2,80	
	H11	0,35		1,00	5,00	0,40		1,50	
	VPC	0,38			5,00	0,40		1,35	
	H12	0,35		1,00	5,00	0,40	1,25	1,25	
	VPCW	0,35			5,00	0,25	1,35	1,50	
	H13	0,35		1,00	5,00	1,00		1,50	
	VH13	0,40			5,00	1,00		1,50	
	H21	0,35			3,25	0,35	9,50		
	VW-9	0,30			2,65		8,50		
T	T1	0,70			4,00	1,00	18,00		
	VWT-1	0,75			4,25	1,10	18,00		
M	M2	0,85			4,00	2,00	6,25	5,00	
	VWM-2	0,90			4,25	1,90	6,20	5,00	
	M7	1,00			4,00	2,00	1,75	8,75	
	VWM-7	1,00			3,80	2,00	1,80	8,70	
	M35	0,80			4,00	2,00	6,00	5,00	5,00 % Co
	VK-5E	0,92			4,15	1,85	6,30	5,00	4,80 % Co
	M41	1,10			4,25	2,00	6,75	3,75	5,00 % Co
	VKM-41	1,10			4,15	2,00	6,80	3,75	5,25 % Co
M42	1,10			3,75	1,15	1,50	9,50	8,00 % Co	
VKM-42	1,10			3,75	1,15	1,50	9,50	8,00 % Co	
P	P4	0,07max			5,00			0,40	
	VEP	0,04max			3,80				
	P20	0,30	0,60		0,75			0,25	1% Ni
VP-20	0,36			1,80			0,20		

(*) **em negrito**, designação segundo AISI/SAE. Em letra não grifada, nome segundo VILLARES.

Na tabela 4 estão listados apenas os elementos adicionados intencionalmente, podendo haver a presença de impurezas (Si, Mn) em baixos teores, não apresentados na tabela.

Constata-se que, além do carbono, os elementos mais freqüentemente empregados são o Cr, V, Mo, W (formadores de carbonetos) e, com menor freqüência, o Mn, Si Ni e Co. Nem todos os elementos mencionados estão presentes simultaneamente num dado aço ferramenta.

9 Informações Complementares

9.1 Influência de Elementos de Liga

A adição de elementos de liga justifica-se pois muitas vezes pequenos acréscimos de determinados componentes causam significativa melhora nas propriedades dos aços. As características que levam ao emprego de tais elementos são:

- **Fósforo**: em teores elevados, prejudica os aços tornando-os frágeis e quebradiços.
- **Enxofre**: também é prejudicial pois além de frágeis torna os aços ásperos e granulados devido aos gases que produz na matriz metálica. Em alguns casos, é conveniente a adição de enxofre em proporções de até 0,30%, o que torna o aço fácil de usinar pois os cavacos destacam-se em pequenos pedaços, permitindo altas velocidades de corte.

	CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA – CEFET-SP ÁREA ELETROMECAÂNICA	Folha:	14 de 16
	Tecnologia Mecânica	Professor:	Caruso

- **Carbono:** é o mais importante devido à necessidade de haver carbonetos na estrutura para conferir a dureza e a resistência necessárias a aplicação. Geralmente o teor de carbono é elevado, situando-se entre 0,8 e 2%. Quando tenacidade é um fator importante para a aplicação (tais como martelos e talhadeiras devido aos esforços de impacto), emprega-se teores de carbono mais baixos (entre 0,5 e 0,7%C), tal como nos aços resistentes ao choque (tipo S).
- **Silício:** tem função desoxidante na fabricação do aço. Normalmente situa-se entre 0,10 e 0,30%, pois teores mais elevados tendem a favorecer a grafitação. Em alguns poucos casos (aços resistentes ao choque) emprega-se silício elevado (1% ou 2%) para fins de aumento de temperabilidade e aumento da resistência ao revenido sem que haja abaixamento da linha Ms (favoreceria a austenita retida). Para estas combinações de médio carbono (0.5 a 0.7%) e alto silício (1 a 2%), a tendência à grafitação é reduzida devido ao baixo carbono e eventual presença de elementos formadores de carbonetos (Mo, Cr, V).
- **Manganês:** atua também como desoxidante além de dessulfurante. É empregado em teores inferiores a 0,5%. O manganês tem forte efeito na temperabilidade, porém a partir de teores mais elevados (1,5%). O mesmo forma carbonetos menos estáveis que o ferro, não contribuindo para a resistência ao revenido.
- **Cromo:** é o elemento adicionado com a função principal de elevar a temperabilidade, pois é o que apresenta melhor relação custo/benefício. Além disso o cromo forma carbonetos endurecedores que são facilmente solúveis no tratamento de austenitização que precede a têmpera.
O efeito de aumento de temperabilidade pelo cromo geralmente é máximo para teores de 4%Cr, sendo este o valor tipicamente empregado em aços ferramentas para trabalho a quente e em aços rápidos. No caso de aços para trabalho a frio, o teor de cromo pode atingir 12% quando se deseja dureza elevada. Neste caso o teor de cromo é mais elevado para fins de gerar maior quantidade de carbonetos de cromo na matriz (o teor de carbono situa-se, então, em cerca de 2%C). O cromo tem ainda o efeito (em teores acima de 4%) de elevar a resistência a quente por aumentar a resistência a oxidação e contribuir para a formação do pico de dureza secundária.
- **Vanádio:** atua como forte desoxidante (geralmente empregado em teores até 0.5%). O vanádio tem forte efeito sobre a temperabilidade quando dissolvido na austenita. Entretanto a sua função principal é a de atuar como estabilizador de grão pois o seu respectivo carboneto é de difícil solubilização na austenita no tratamento de têmpera, evitando que haja o crescimento da mesma. Em aços rápidos (devido ao emprego de corte a quente), o teor de vanádio situa-se entre 1 e 2%.
- **Tungstênio:** também atua como formador de carbonetos, favorecendo a obtenção do pico de dureza secundária no tratamento de revenimento. Em teores inferiores a 1,5% (mesmo com alto carbono) o tungstênio tem pequeno efeito no aumento de dureza. Em teores próximos a 4% há aumento significativo da resistência ao desgaste, a ponto de dificultar operações de retificação após a têmpera. Em teores de 12 a 20%, o tungstênio eleva significativamente a dureza a quente (até 600°C) e, por isso, é empregado frequentemente em aços rápidos (grupo W e/ou grupo T).
- **Molibdênio:** tem efeitos similares ao tungstênio, tendo sido usado para substituí-lo. O custo do molibdênio é maior, porém a quantidade empregada é menor (normalmente o teor de molibdênio substitui duas vezes a quantidade de tungstênio. Por exemplo, 18% de W equivalem a 6%Mo mais 5%W). A maioria dos aços rápidos emprega Molibdênio e Tungstênio.
- **Cobalto:** tem a função principal de aumentar a dureza a quente dos aços rápidos, apesar de não ser endurecedor. O cobalto aumenta a temperatura solidus, permitindo que se empregue temperaturas mais elevadas de austenitização na têmpera. Isto permite maior dissolução de carbonetos (dos outros elementos, tais como carbonetos de vanádio, mo-

libdênio e tungstênio, já que o cobalto por si só não é formador de carbonetos). O efeito final do cobalto é o de aumentar a dureza no estado temperado (por elevar a dissolução de outros elementos). Aços rápidos com 5 ou 10% são usados para obter maior velocidade em corte contínuo (em corte intermitente há problema de quebra de ferramenta devido elevada dureza e baixa tenacidade).

- **Alumínio:** tem efeito semelhante ao silício. devido a sua grande afinidade com o oxigênio. Também é considerado desoxidante. Muitas vezes é utilizado nos aços a serem nitrados, pois o alumínio tem também grande afinidade com o nitrogênio.
- **Boro:** em quantidades que variam de 0,001% até 0,003%, o boro melhora a temperabilidade e a resistência à fadiga.
- **Chumbo:** em pequenas quantidades (0,2% até 0,25%), este elemento melhora a usabilidade do aço, sem qualquer prejuízo às propriedades mecânicas.

9.2 Equivalência entre Aços Inoxidáveis

A tabela 5 mostra a equivalência entre alguns aços inoxidáveis, dentre os utilizados no mercado brasileiro. Note-se que a tabela em questão é somente **parcial e informativa**, devendo ser utilizada com cautela, analisando-se os diversos aspectos apresentados pelo projeto do componente a ser fabricado com o material selecionado, levando-se em conta todas as variáveis conhecidas.

Tabela 5 - Equivalência entre aços inoxidáveis								
EUA	Alemanha		França	Japão	Itália	Reino Unido	Europa	Espanha
AISI	DIN 17006	W.N. 17007	AFNOR	JIS	UNI	BSI	EURO-NORM	UNE
201	–	–	–	SUS201	–	–	–	–
301	X12 CrNi 17 7	1.4310	Z12CN 17-07	SUS301	X12 CrNi 1707	301S21	X12 CrNi 17 7	X12 CrNi 17-07
302	X5 CrNi 18 7	1.4319	Z10CN 18-09	SUS302	X10 CrNi 1809	302S25	X10 CrNi 18 9	X10 CrNi 18-09
303	X10 CrNiS 18 9	1.4305	Z10CNF18.09	SUS303	X10 CrNiS 1809	303S21	X10 CrNiS 18 9	X10 CrNiS 18-09
303Se	–	–	Z10CNF18.09	SUS303Se	X10 CrNiS 1809	303S41	–	X10 CrNiS 18-09
304	X5 CrNi 18 10 X5 CrNi 18 12	1.4301 1.4303	Z 6 CN 18-09	SUS304	X5 CrNi 1810	304S15 304S16	X6 CrNi 18 10	X6 CrNi 19-10
304 N	–	–	–	SUS304N1	X5 CrNiN 1810	–	–	–
304 H	–	–	–	SUSF304H	X8 CrNi 1910	–	–	X6 CrNi 19-10
304 L	X2 CrNi 18 11	1.4306	Z 2 CN 18-10	SUS304L	X2 CrNi 1911	304S11	X3 CrNi 18 10	X2 CrNi 19-10
	X2 CrNiN 18 10	1.4311	Z2CN18.10Az	SUS304LN	X2 CrNiN 1811	–	–	–
305	–	–	Z 8 CN 18-12	SUS305	X8 CrNi 1812	305S19	X8 CrNi 18 12	X8 CrNi 18-12
305	–	–	Z6CNU 18-10	SUSXM7	–	–	X6 CrNiCu 18 10 4 Kd	–
309	X15 CrNiS 20 12	1.4828	Z15 CN 24-13	SUH 309	X16 CrNi 2314	309S24	X15 CrNi 23 13	–
309 S	–	–	–	SUS309S	X6 CrNi 2314	–	X6 CrNi 22 13	–
310	X12 CrNi 25 21	1.4845	–	SUH 310	X22 CrNi 2520	310S24	–	–
310 S	X12 CrNi 25 20	1.4842	Z12 CN 25-20	SUS310S	X5 CrNi 2520	–	X6 CrNi 25 20	–
314	X15 CrNiSi 25 20	1.4841	Z12CNS25-20	–	X16 CrNiSi 2520	–	X15 CrNiSi 25 20	–
316	X5CrNiMo 17 12 2	1.4401	Z6CND 17-11	SUS316	X5 CrNiMo 1712	316S31	X6 CrNiMo 17 12 2	X6 CrNiMo 17-12-03
316	X5CrNiMo 17 13 3	1.4436	Z6CND 17-12	SUS316	X5 CrNiMo 1713	316S33	X6 CrNiMo 17 13 3	X6 CrNiMo 17-12-03
316 F	X12CrNiMoS 18 11	1.4427	–	–	–	–	–	–
316 N	–	–	–	SUS316N	–	–	–	–
316 H	–	–	–	SUSF316H	X8 CrNiMo 1712	–	–	X5 CrNiMo 17-12
316 H	–	–	–	–	X8 CrNiMo 1713	–	–	X6 CrNiMo 17-12-03
316 L	X2 CrNiMo 17 13 2	1.4404	Z2CND 17-12	SUS316L	X2 CrNiMo 1712	316S11	X3 CrNiMo 17 12 2	X2 CrNiMo 17-12-03
316 L	X2CrNiMoN 1712 2	1.4406	Z2CND 17-12-Az	SUS316LN	X2 CrNiMoN 1712	–	–	–
316 L	X2 CrNiMo 18 14 3	1.4435	Z2CND 17-13	–	X2 CrNiMo 1713	316S13	X3 CrNiMo 17 13 3	X2 CrNiMo 17-12-03
316 L	X2CrNiMoN17 13 3	1.4429	Z2CND17-13-Az	–	X2 CrNiMoN 1713	–	–	–
316 L	X6CrNiMoTi17 12 2	1.4571	Z6CNDT17-12	–	X6 CrNiMoTi 1712	320S31	X6 CrNiMoTi 17 12 2	X6CrNiMoTi 1712-03
316 L	X10CrNiMoTi 18 12	1.4573	–	–	X6 CrNiMoTi 1713	320S33	X6 CrNiMoTi 17 13 3	X6CrNiMoTi 1712-03
316 L	X6CrNiMoNb17122	1.4580	Z6CNDNb1712	–	X6 CrNiMoNb 1712	–	X6 CrNiMoNb 17 12 2	–
316 L	X10CrNiMoNb1812	1.4583	–	–	X6 CrNiMoNb 1713	–	X6 CrNiMoNb 17 13 3	–
317	–	–	–	SUS317	X5 CrNiMo 1815	317S16	–	–
317 L	X2 CrNiMo 18 16 4	1.4438	Z2CND 19-15	SUS317L	X2 CrNiMo 1815	317S12	X3 CrNiMo 18 16 4	–
317 L	X2 CrNiMo 18 16 4	1.4438	Z2CND 19-15	SUS317L	X2 CrNiMo 1816	317S12	X3 CrNiMo 18 16 4	–
330	X12 NiCrSi 36 16	1.4864	Z12NCS 35-16	SUH 330	–	–	–	–

Tabela 5 - Equivalência entre aços inoxidáveis

EUA	Alemanha		França	Japão	Itália	Reino Unido	Europa	Espanha
AISI	DIN 17006	W.N. 17007	AFNOR	JIS	UNI	BSI	EURO-NORM	UNE
321	X6 CrNiTi 18 10 X12 CrNiTi 18 9	1.4541 1.4878	Z6CNT 18-10	SUS321	X6 CrNiTi 1811	321S31	X6 CrNiTi 18 10	X6 CrNiTi 18-11
321 H	–	–	–	SUS321H	X8 CrNiTi 1811	321S20	–	X7 CrNiTi 18-11
329	X8 CrNiMo 27 5	1.4460	–	SUS329J1	–	–	–	–
347	X6 CrNiNb 18 10	1.4550	Z6CNNb18-10	SUS347	X6 CrNiNb 1811	347S31	X6 CrNiNb 18 10	X6 CrNiNb 18-11
347 H	–	–	–	SUSF347H	X8 CrNiNb 1811	–	–	X7 CrNiNb 18-11
904L	–	1.4939	Z12CNDV 12-02	–	–	–	–	–
904L	X20 CrNiSi 25 4	1.4821	–	–	–	–	–	–
UNS 31803	X2 CrNiMoN 22 5	1.4462	–	–	–	–	–	–
UNS 32760	X3 CrNiMoN 25 7	1.4501	Z3CND 25-06Az	–	–	–	–	–
403	X 6 Cr 13 X 10 Cr 13 X 15 Cr 13	1.4000 1.4006 1.4024	Z12 C 13	SUS403	X12 Cr 13	403S17	X10 Cr 13 X12 Cr 13	X6 Cr 13
405	X 6 CrAl 13	1.4002	Z 6 CA 13	SUS405	X6 CrAl 13	405S17	X6 CrAl 13	X6 CrAl 13
405	X 10 CrAl 7	1.4713	Z 8 CA 7	–	–	–	X10 CrAl 7	–
405	X 10 CrAl 13	1.4724	–	–	X10 CrAl 12	–	–	–
405	X 10 CrAl 18	1.4742	–	–	–	–	X10 CrSiAl 18	–
409	X 6 CrTi 12	1.4512	Z 6 CT 12	SUH 409	X6 CrTi 12	409S19	X5 CrTi 12	–
409	–	–	–	–	X2 CrTi 12	–	–	–
410	X 6 Cr 13 X 10 Cr 13 X 15 Cr 13	1.4000 1.4006 1.4024	Z 10 C 13 Z 12 C 13	SUS410	X12 Cr 13	410S21	X12 Cr 13	X12 Cr 13
410 S	X 6 Cr 13	1.4000	Z 6 C 13	SUS410S	X6 Cr 13	403S17	X6 Cr 13	–

10 Bibliografia

1. COLPAERT, H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. São Paulo, SP. Ed. da Universidade de São Paulo, 1974
2. COSTA E SILVA, A. L. e MEI, P. R. Aços e ligas especiais. Sumaré, SP. ELETROMETAL Metais Especiais, 1988.