

Apresentação de apoio para docentes de Arquitetura / Engenharia Civil

Capítulo 04

O que são os aços inoxidáveis?

Vídeos



100 anos de aço inoxidável

<http://worldstainless.org/publications/videos> (em inglês)

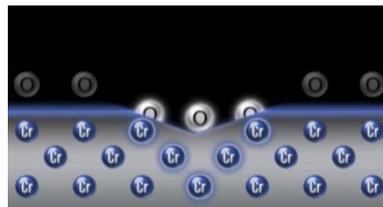
https://www.youtube.com/watch?v=IV5cHQRpm_Q (em português)



Aço Inox – Feito para durar

<http://worldstainless.org/publications/videos> (em inglês)

<https://www.youtube.com/watch?v=KhHtUBf0NSg> (em português)



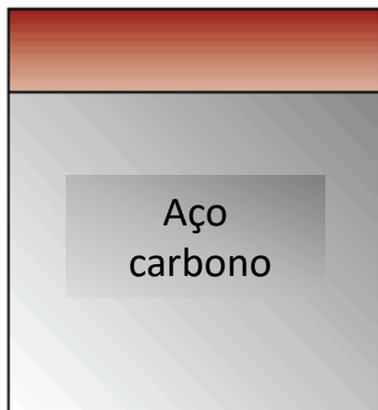
Aço Inox – auto protegido para durar

<http://worldstainless.org/publications/videos> (em inglês)

<https://www.youtube.com/watch?v=9pFXV6g0yfE> (em português)

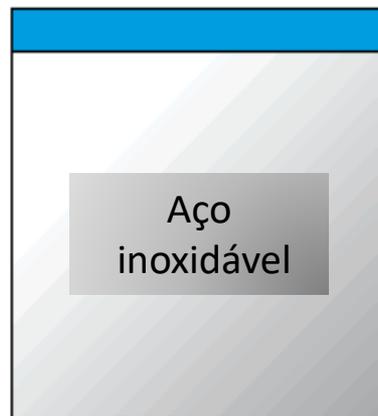
Os aços inoxidáveis são ligas à base de ferro contendo pelo menos 10,5% de cromo

Óxido de Superfície (ferrugem) > 20µm de espessura



< 11 % Cromo

Camada passiva superficial ~ 2nm de espessura

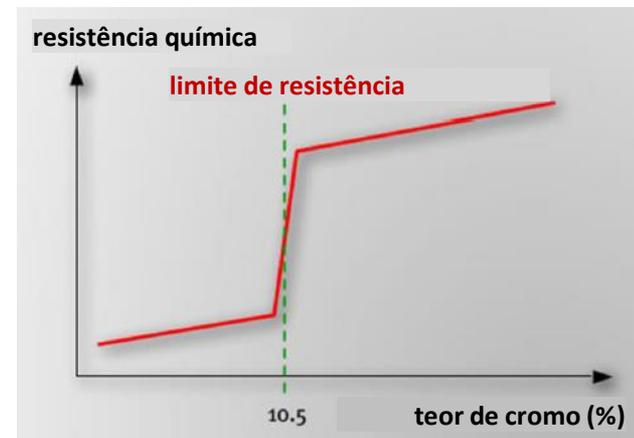


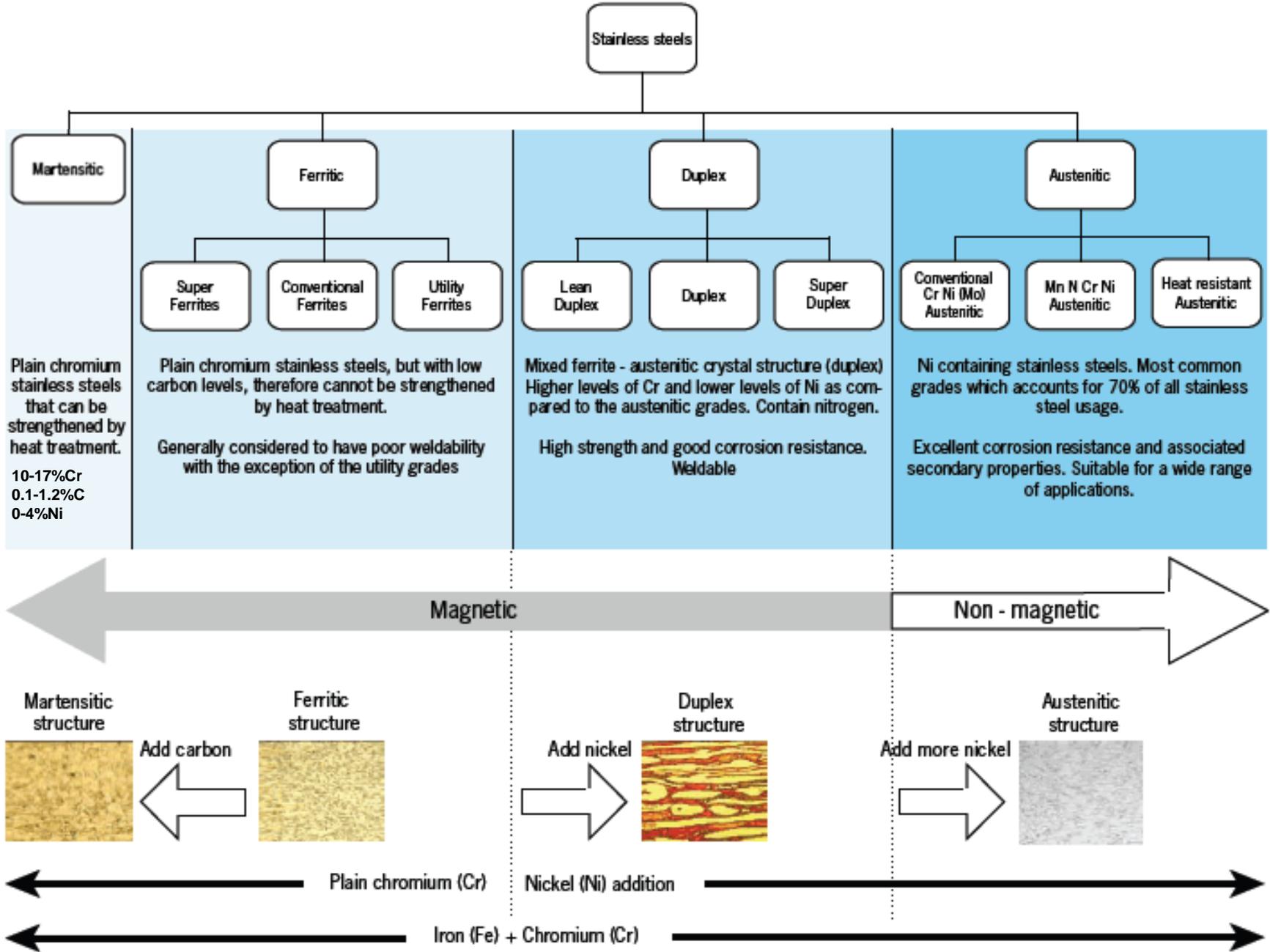
> 11 % Cromo

→ **resistência à corrosão**

O filme passivo se forma em poucos minutos

Aumentar a quantidade de Cromo aumenta a eficácia do filme passivo... mas existem outros fatores importantes que influenciam a resistência à corrosão (veja o Capítulo 3)





Aços Cr-Ni (Austeníticos)⁴

Subgrupos:

▪ Cr-Ni	Tipicamente EN 1.4301/AISI 304	Cr: 18 Ni: 9	Fe: Balanceado
▪ Cr-Ni-Mo	Tipicamente EN 1.4401/AISI 316	Cr: 18 Ni 10 Mo: 2.5	Fe: Balanceado

Propriedades Comuns:

- Ótima resistência à corrosão, aumenta em função do teor de liga
- .. mas podem ser suscetíveis a corrosão sob tensão (SCC) em ambientes com altas temperaturas e cloretos (piscinas, por exemplo)
- Alta ductilidade e resistência ao impacto em todas as temperaturas (incluindo as muito baixas)
- A resistência do material pode ser aumentada pelo trabalho a frio (mas não pelo tratamento térmico)
- Ótima resistência ao fogo
- Ótimas propriedades de deformação a frio e a quente (ductilidade, alongamento)
- Fácil de soldar (TIG, MIG)

Os mais conhecidos e ainda os mais empregados atualmente

Cores: ▪ Resistência à corrosão ▪ Propriedades mecânicas ▪ Fabricação

Aços Cr-Mn (Austeníticos com Manganês)⁵

Classificação típica:

- Cr-Mn-Ni-N Tipicamente EN 1.4372/AISI 201 Cr: 17 Mn: 7 Ni: 4 N:0.15 Fe: Balanceado

Propriedades Comuns:

- Menor resistência à corrosão
- ... mas muito mais suscetível a corrosão sob tensão (SCC) e ao pitting, particularmente quando os níveis de Ni e Cr são baixos
- Maior resistência
- Pobre comportamento frente à deformação a frio devido ao elevado endurecimento
- Maquinabilidade ruim
- Mais difícil de soldar
- Custam menos que os Cr-Ni Austeníticos ... mas mais que Cr ferríticos

Usado
principalmente
na Índia e na
China

Cores: ■ Resistência à corrosão ■ Propriedades mecânicas ■ Fabricação

Aços Cr (Ferríticos)⁶

Subgrupos:

▪ Cr	Tipicamente EN 1.4016/AISI 430	Cr: 17	Fe: Balanceado
▪ Cr-Mo	Tipicamente EN1.4521/AISI 444	Cr: 18 Mo: 2 Ti+Ni: 0.4	Fe: Balanceado

Propriedades Comuns:

- Não afetado pela corrosão sob tensão (SCC)
- Boa ductilidade (embora menor que dos austeníticos)
- Não são adequados para uso em temperaturas muito baixas
- A resistência pode ser aumentada pelo trabalho a frio (mas não pelo tratamento térmico)
- Ótimas propriedades de conformação a frio: (menor efeito mola, menor desgaste da ferramenta mas menor alongamento, requer um processo de estampagem profunda diferente dos austeníticos)
- Graus estabilizados (com Nb e / ou Ti) são fáceis de soldar (TIG, MIG)

Oferecem um ótimo desempenho / custo para muitas aplicações e são cada vez mais utilizados

Cores:

- Resistência à corrosão
- Propriedades mecânicas
- Fabricação

Aços Cr (Martensíticos)⁷

Subgrupos:

▪ C-Cr	Tipicamente EN1.4021/AISI 420	Cr: 13	C:0.2	Fe: Balanceado
▪ C-Cr-Ni	Tipicamente EN1.4057/AISI431	Cr: 16	Ni: 2 C: 0.2	Fe: Balanceado
▪ Precipitation Hardening	Tipicamente EN1.4542/AISI630	Cr: 17	Ni: 4 Cu:4	Fe: Balanceado

Propriedades Comuns:

- Aceitável a boa resistência à corrosão, aumenta com o teor de liga
- Alta resistência obtida por tratamento térmico (não por trabalho a frio). Alongamento limitado.
- Não é adequado para uso em temperaturas muito baixas
- Não é adequado para moldagem, muitas vezes processado por usinagem
- Pode ser soldado (TIG, MIG), mas geralmente requer tratamento térmico pós-soldagem

Cores: ▪ Resistência à corrosão ▪ Propriedades mecânicas ▪ Fabricação

Usados como aços de engenharia com resistência à corrosão

Duplex (Austenítico-Ferrítico)⁸

Subgrupos:

▪ Cr-Ni	Tipicamente EN1.4362	Cr: 23	Ni: 4	Fe: Balanceado	
▪ Cr-Ni-Mo	Tipicamente EN1.4462	Cr: 22	Ni: 5	Mo: 3	Fe: Balanceado

Propriedades Comuns:

- Excelente resistência à corrosão, aumenta com o teor de liga
- Insensível à corrosão sob tensão
- Alta resistência, boa ductilidade
- A resistência pode ser aumentada pelo trabalho a frio (mas não pelo tratamento térmico)
- Boas propriedades de conformação a frio e a quente (ductilidade, alongamento)
- Soldável (TIG, MIG)

Oferecem a melhor combinação de resistência à corrosão e propriedades mecânicas

Cores:

▪ Resistência à corrosão

▪ Propriedades mecânicas

▪ Fabricação

Propriedades Físicas^{9, 10}

Materiais	Módulo de Elasticidade Gpa	Coeficiente de Expansão Térmica $10^{-6}^{\circ}\text{K}^{-1}$	Condutividade térmica $\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$	Ferro-magnetismo	Densidade Kg/dm^3
Cr-Ni Austeníticos	210	18	15	Não	7,8
Cr-Mn Austeníticos	210	17	15	Não	7,8
Cr Ferríticos	220	11	23	Sim	7,7
Cr-Ni (Mo)-N Duplex	210	14	15	Intermediário	7,8
Cr-C Martensíticos	215	11	30	Sim	7,7
Aço carbono	210	12	18	Sim	7,8
Cobre	135	17	380	Não	8,3
Alumínio	70	22	230	Não	3,9
Vidro	65	9	1,7	Não	2,5
Concreto	48	10	1	Não	2,5

Normas dos Aços Inoxidáveis

Principais entidades normativas:

ISO



EN



ASTM/AISI



UNS



JIS



Notas:

A maioria dos países refere-se às normas acima, que são amplamente aceites.
Muitas das classificações são muito semelhantes em todas as normas.

Lista de normas Americanas: ref 11

Lista de normas Europeias: ref 12

Tabelas de correspondência estão disponíveis: refs 13 - 15

Principais tipos de aços inoxidáveis utilizados em Arquitetura e Construção: EN 10088-4 (para chapa/ placa / tira)^{16, 17}

Classe	ASTM UNS	C peso%	Cr peso%	Ni peso%	Mo peso%	Outros peso%	Uso típico ^{3,4}
4003	S40977	0,02	11,5	0,5	-	-	interiores aquecidos e não aquecidos
4016	430	0,04	16,5	-	-	-	Revestimento decorativo de interior
4509	S43932	0,02	18	-	-	Nb Ti	Coberturas de interiores e canaletas de águas pluviais - muitas vezes revestidos a estanho para pátina
4510	439	0,02	17	-	-	Ti	
4521	444	0,02	17,8	-	2,1	Ti	mercado de encanamento doméstico
4301	304	0,04	18,1	8,1	-	-	interiores e exteriores de edifícios em ambientes industriais normais, longe da costa
4307	304L	0,02	18,1	8,1	-	-	
4306	304L	0,02	18,2	10,1	-	-	
4401	316	0,04	17,2	10,1	2,1	-	aplicações permanentemente úmidas, locais com atmosfera costeira, atmosferas industriais poluídas ou próximas a estradas onde os sais de degelo são um problema
4404	316L	0,02	17,2	10,1	2,1	-	
4571	316Ti	0,04	16,8	10,9	2,1	Ti	
4529	N08926	0,01	20,5	24,8	6,5	N, Cu	túneis rodoviários e piscinas cobertas
4547		0,01	20,0	18,0	6,1	N, Cu	
	S31254						

Principais tipos de aços inoxidáveis utilizados em Arquitetura e Construção: EN 10088-5 (barras / arames / perfis)¹⁸

Classe	ASTM UNS	C Peso%	Cr Peso%	Ni Peso%	Mo Peso%	Outros Peso%	Uso Típico ⁶
4003	S40977	0,02	11,5	0,5	-	-	
4016	430	0,04	16,5	-	-	-	Ganchos para ardósia
4542	630	0,04	16,0	4,0		Cu,Nb	Barras de ancoragem
4301	304	0,04	18,11	8,1	-	-	Vergalhão Fixadores A2
4307	304L	0,02	8,118	8,1	-	-	
4311	304N	0,02	,1	8,6	-	N	
4567	304Cu	0,02	17,1	8,6	-	Cu	
4401	316	0,05	16,6	10,1	2,1	-	interior e exterior de edifícios em atmosferas industriais normais, longe da costa Vergalhão
4404	316L	0,02	16,6	10,1	2,1	-	
4429	« 316LN »	0,02	16,6	11,1	2,6	N	
4529	« 926 »	0,01	20,5	24,8	6,5	N, Cu	Túneis rodoviários e piscinas cobertas
4547	S31254	0,01	20,0	18,0	6,1	N, Cu	
4362	S32304	0,02	22,5	3,6	0,3	N, Cu	Vergalhões e componentes mecânicos
4462	S32205	0,02	21,5	4,6	2,8	N	Vergalhões e componentes mecânicos

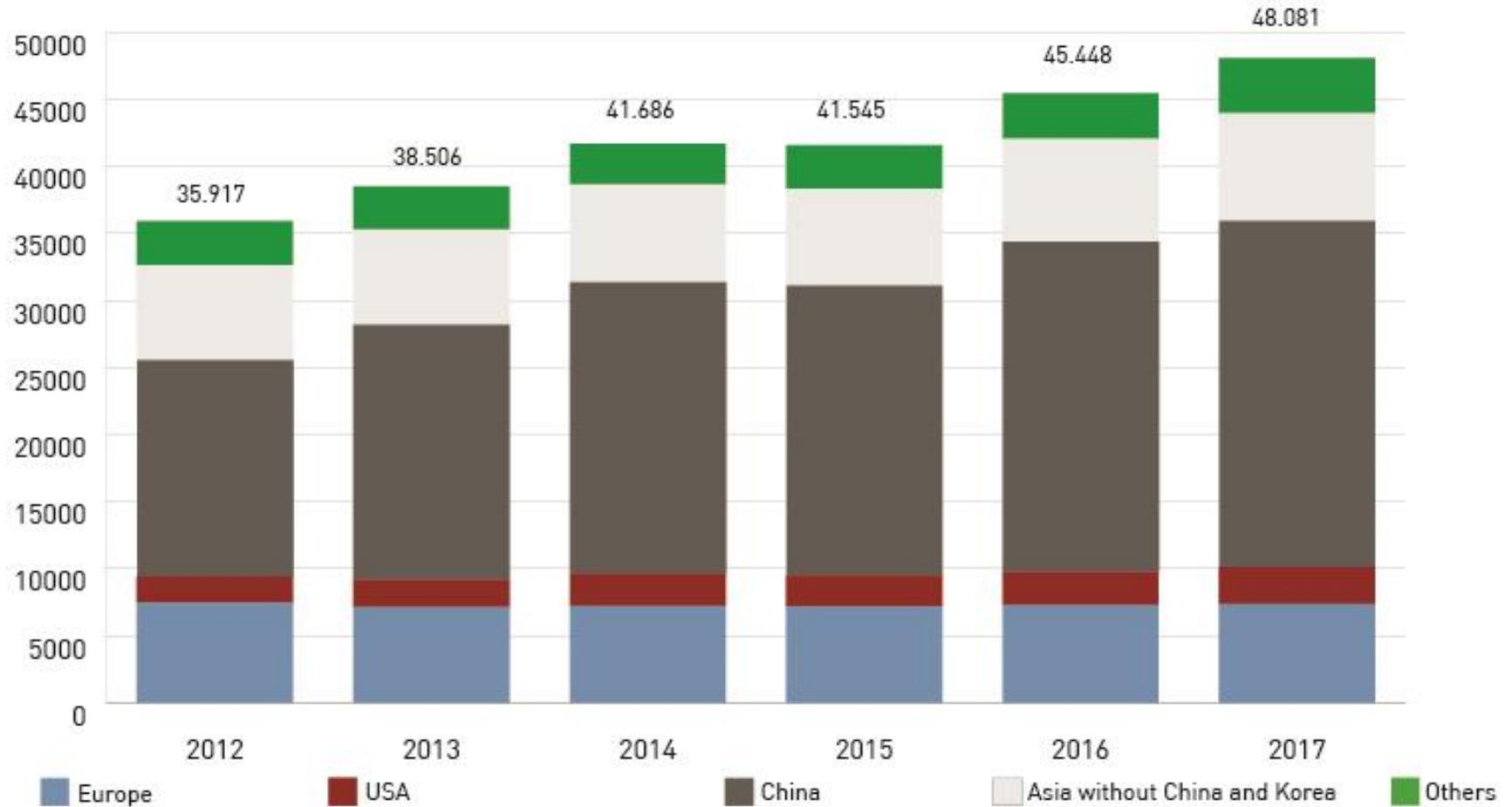
Divisão da produção mundial por família¹⁹



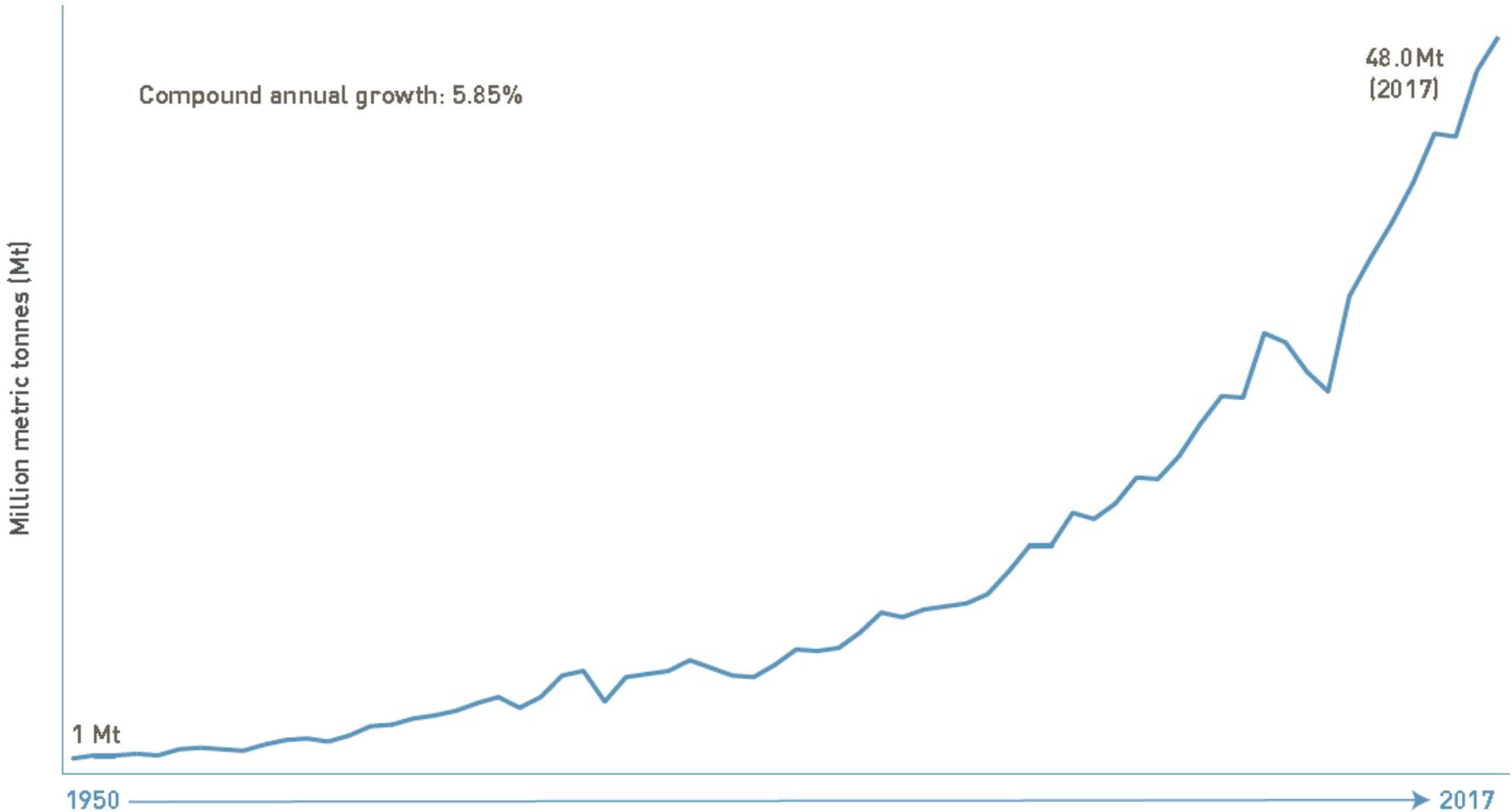
Preços altos de Ni favorecem a substituição dos tipos CrNi por Cr-Mn ou Cr
Os tipos Duplex, atualmente marginais, deverão crescer no futuro

Produção de aciaria de aço inoxidável em kt (métrico)

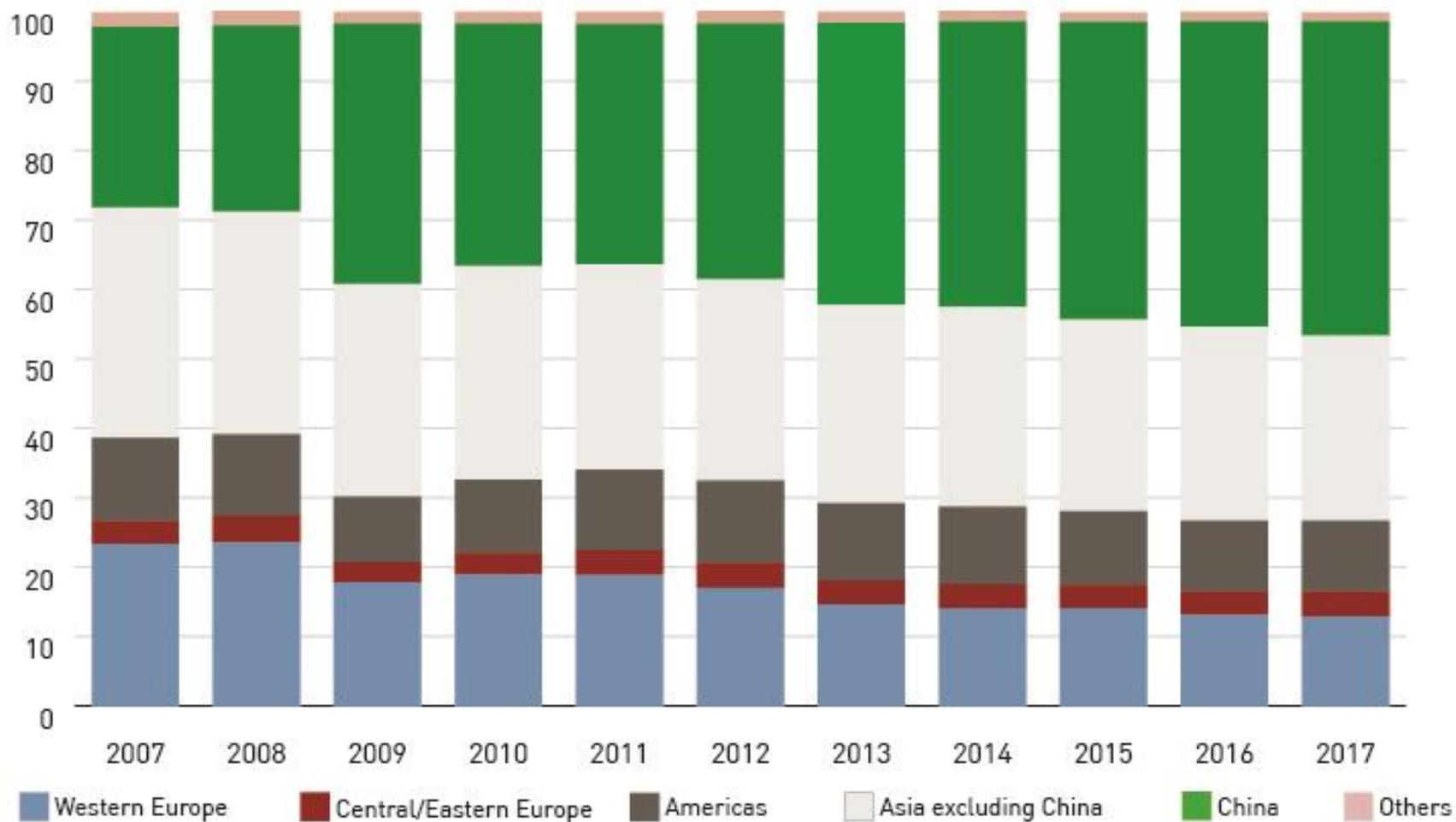
Outros: Brasil, Rússia, Coreia do Sul, Indonésia



Taxa anual de crescimento da produção de aciaria de aços inoxidáveis (milhões de toneladas)



Consumo aparente de aço inoxidável por região



Referências (1/2)

1. <http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/TheStainlessSteelFamily.pdf>
2. <http://www.outokumpu.com/en/stainless-steel/about-stainless-steel/stainless-steel-types/pages/default.aspx>
3. D. Peckner Handbook of Stainless Steels Hardcover – June, 1977 ISBN-13: 978-0070491472 ISBN-10: 007049147X
4. http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Austenitics.pdf
5. New « 200 series steels »: An opportunity or a threat to the image of stainless steel? http://worldstainless.org/publications/brochures_and_posters
6. The ferritic solution http://worldstainless.org/publications/brochures_and_posters
7. Martensitic stainless steels http://worldstainless.org/publications/brochures_and_posters
8. Duplex stainless steels: <https://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/architecture/structural-duplex-stainless.php?d=1>
9. https://www.nickelinstitute.org/~Media/Files/TechnicalLiterature~/CapabilitiesandLimitationsofArchitecturalMetalsandMetalsforCorrosionResistancel_14057a_.pdf
10. http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Tables_TechnicalProperties_EN.pdf
11. http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/2014-8-Specification-and-Guideline-list.pdf
12. <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=370&featured=1>
13. http://www.worldstainless.org/what_is_stainless_steel/standards

Referências (2/2)

14. Chemical composition of stainless steel flat products for general purposes to EN 10088-2:
<http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=44>
15. Chemical composition of stainless steel long products for general purposes to EN 10088-3:
<http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=46>
16. EN 10088-4:2009 Stainless steels. Technical delivery conditions for sheet/plate and strip of corrosion resisting steels for construction purposes www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/EN10088-4_EN.pdf
17. Stainless steel flat products for building – the grades in EN 10088-4 explained:
<http://www.worldstainless.org/news/show/1881>
18. EN 10088-5: 2009 Stainless steels. Technical delivery conditions for bars, rods, wire, sections and bright products of corrosion resisting steels for construction purposes.
19. ISSF publication « Stainless Steel in Figures »:
http://www.worldstainless.org/statistics/publications_and_papers

Obrigado!