

Aços para Estampagem

Prof. Paulo Marcondes, PhD.

DEMEC / UFPR

Classificação dos aços



**Aços baixo carbono convencionais para estampagem
(plain-carbon steels)**

- QC** – *qualidade comercial*
- EM** – *estampabilidade média*
- EP** – *estampabilidade profunda*
- EEP** – *estampabilidade extra-profunda*

PRODUTOS COMERCIALIZADOS PARA INDÚSTRIAS AUTOMOBILÍSTICA E DE AUTOPEÇAS



⬇️ Aços para operações de estampagem (NBR-5906) - Valores Típicos:

QUALIDADE	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% PESO)						PROPRIEDADES MECÂNICAS				
	C	Mn	Si	P	S	Al	LE (MPa)	LR (MPa)	LE/LR (%)	AL (%)	DOB.
EM							280	370	76	38	0E
EP	0,04	0,23	0,01	0,014	0,012	0,045	260	360	72	40	0E
EPA							250	350	71	40	0E

Aços para Estampagem

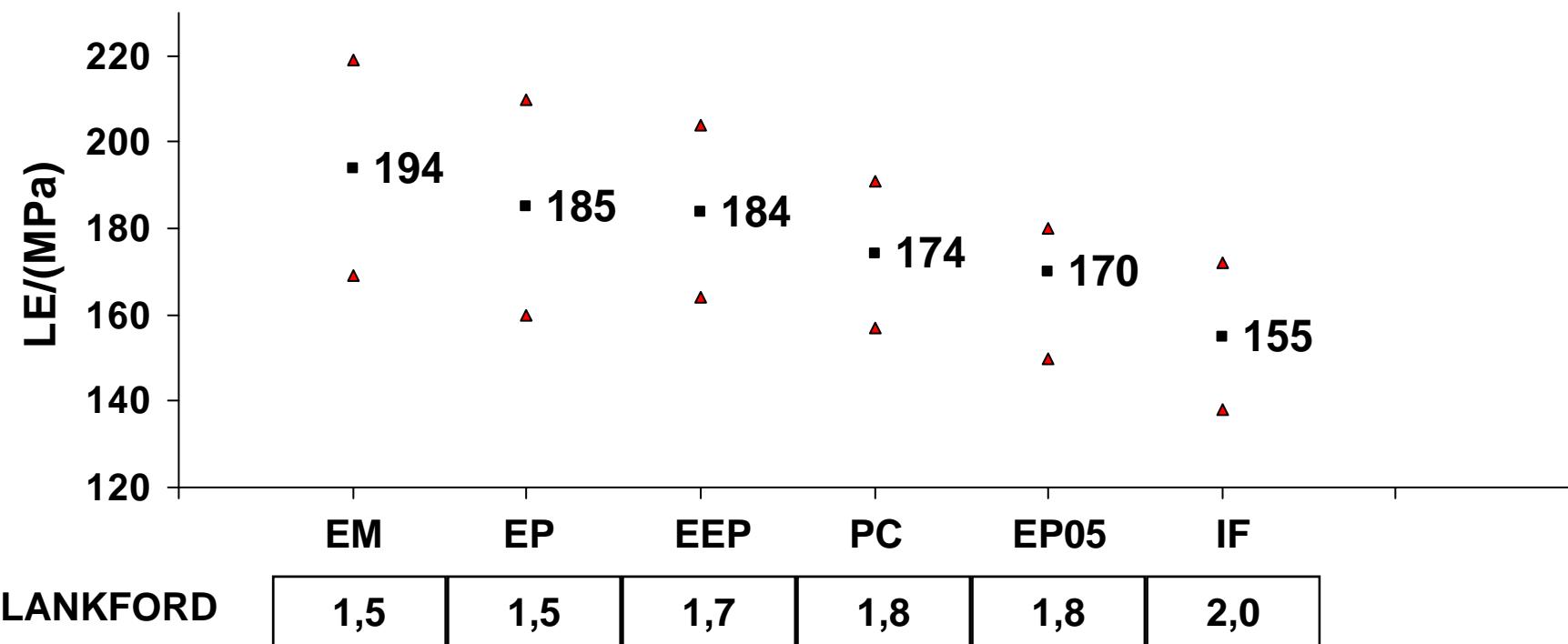
GRAU ESTAMPAGEM	NTU	NBR	DIN	EN
MÉDIA	USI-EM	NBR5915EM	ST-12	FeP01
PROFUNDA	USI-EP	NBR5915EP	ST-13	FeP03
EXTRA PROF.	USI-EFP	NBR5915EEP	-	FeP03
PEÇA CRÍTICA	USI-EEP-PC	-	ST-14	FeP04
PEÇA EXTRA CRÍTICA	-	-	-	FeP05
ULTRA CRÍTICA	USI-IF	-	ST-15	FeP06

Aços para Estampagem

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% EM PESO) - TÍPICO

GRAU	C	Mn	P	S	Al	Ti
EM	0,05	0,23	0,018	0,015	0,043	-
EP	0,05	0,23	0,017	0,015	0,043	-
EEP	0,04	0,23	0,016	0,015	0,044	-
PC	0,04	0,21	0,014	0,014	0,042	-
FEP05	0,005	0,20	0,010	0,008	0,045	-
IF	0,003	0,15-	0,013	0,007	0,030	0,065

Propriedades Mecânicas



Aços Alta Resistência



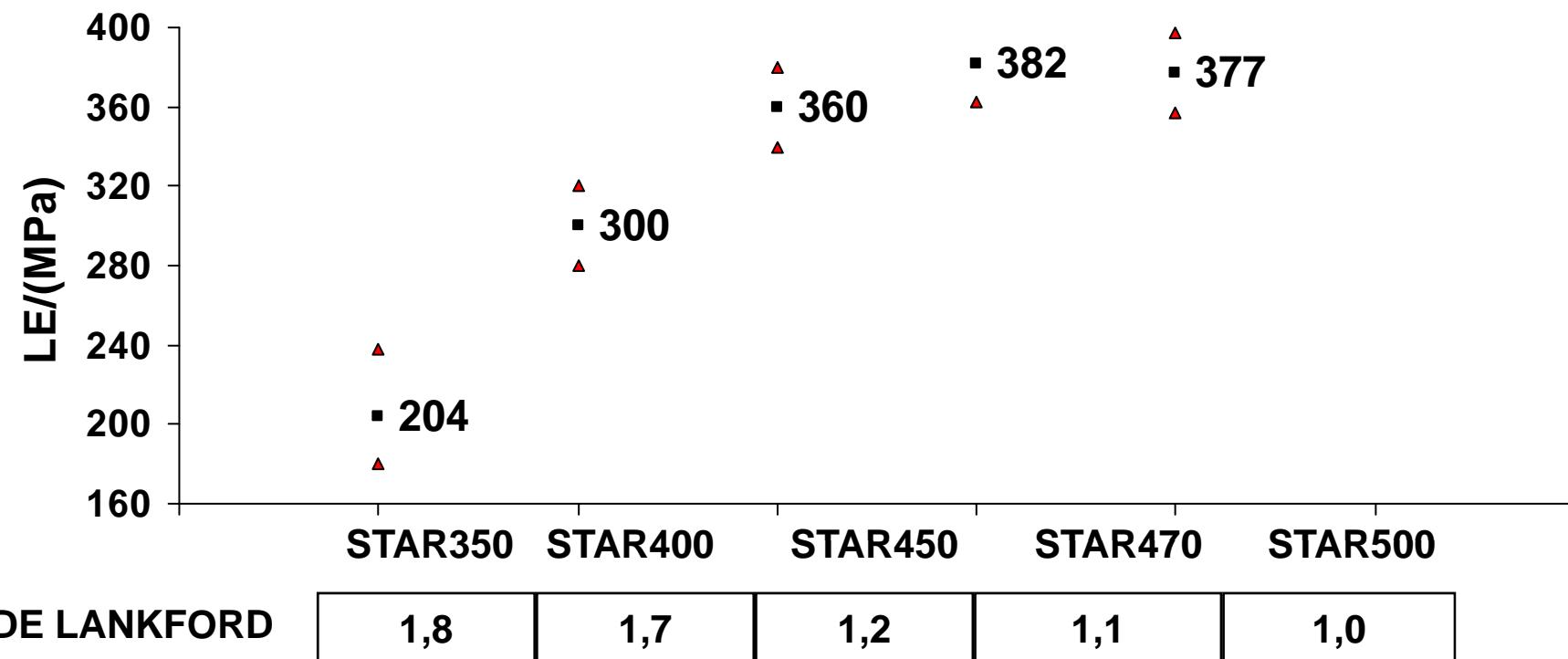
NTU	SEW	MECANISMO
USI-STAR-350	ZSTE 180 BH ZSTE 220 BH	ENDURECIMENTO APÓS CURA DA PINTURA (AÇO REFORÇADO)
USI-STAR-400	ZSTE 260 P	ENDURECIMENTO SOLUÇÃO SÓLIDA (AÇO REFORÇADO)
USI-STAR-450	ZSTE 340	ENDURECIMENTO POR PRECIPITAÇÃO E SOLUÇÃO SÓLIDA
USI-STAR-470	ZSTE 340	
USI-STAR-500	ZSTE 380	

Aços Alta Resistência

COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% EM PESO) - TÍPICO

GRAU USI-STAR	C	Mn	P	S	Al	Nb	Si
350	0,01	0,20	0,050	0,014	0,042	-	-
400	0,05	0,60	0,090	0,015	0,045	-	-
450/470	0,06	1,00	0,020	0,015	0,050	0,025	0,040
500	0,15	1,40	0,020	0,010	0,037	0,029	0,038

Propriedades Mecânicas



⬇️ Aços estruturais (NBR-6655 e 6656) - valores típicos:

QUALIDADE	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% PESO)								PROPRIEDADES MECÂNICAS				
	C	Mn	Si	P	S	Al	Nb	Ti	LE (MPa)	LR (MPa)	LE/LR (%)	AL (%)	DOB.
LN20	0,10	0,40	0,01	0,015	0,012	0,040	-	-	275	400	69	35	0E
LN24	0,12	0,40	0,18	0,013	0,012	0,026	-	-	305	450	68	36	0,5E
LN28	0,12	0,90	0,10	0,019	0,010	0,026	-	-	322	462	70	34	1E
LNE23	0,04	0,23	0,01	0,014	0,013	0,040	-	-	260	360	72	40	0E
LNE26	0,10	0,72	0,16	0,018	0,009	0,043	-	-	307	434	71	36	0E
LNE38	0,08	0,85	0,02	0,019	0,007	0,043	0,031	-	475	536	89	26	0E
LNE50	0,10	1,21	0,07	0,021	0,008	0,051	0,061	0,025	550	610	90	26	0,5E
LNE381MD GM	0,07	0,80	0,05	0,020	0,006	0,046	0,028	-	450	504	89	31	0E
LNE381MD MANGELS	0,09	0,95	0,04	0,020	0,005	0,042	0,031	-	467	541	86	26	0E

⬇️ Aços desenvolvidos através de Engenharia de Aplicação nos clientes (NTU) - Valores Típicos:



QUALIDADE	APLICAÇÃO	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% PESO)										PROPRIEDADES MECÂNICAS				
		C	Mn	Si	P	S	Al	Nb	Ti	B	LE (MPa)	LR (MPa)	LE/LR (%)	AL (%)	DOB.	
USI-EPA-MD	ESTAMPAGEM	0,03	0,23	0,01	0,015	0,010	0,040	-	-	0,0020	240	350	69	42	0E	
USI-LN-380	ESTRUTURAL	0,07	0,50	0,01	0,016	0,006	0,050	0,020	0,051	-	483	538	90	25	0E	
USI-LN-500	ESTRUTURAL	0,08	1,00	0,03	0,017	0,005	0,047	0,035	0,071	-	583	652	89	23	0,5E	
USI-STAR-450	ESTRUTURAL	0,07	0,46	0,01	0,020	0,011	0,044	0,037	-	-	420	500	84	29	0E	
USI-STAR-500	ESTRUTURAL	0,07	0,55	0,01	0,017	0,010	0,042	0,037	-	-	430	510	84	28	0E	
USI-LN-600	ESTRUTURAL	0,09	1,15	0,08	0,019	0,005	0,043	0,047	0,100	-	655	736	89	23	0E	
USI-RW-46	FREIO	0,12	0,80	0,02	0,020	0,009	0,040	0,027	-	-	450	540	83	28	1E	

Configuração dos Materiais então Padronizados

- Valores Típicos

QUALIDADE	APLICAÇÃO	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% PESO)							PROPRIEDADES MECÂNICAS				
		C	Mn	Si	P	S	Al	Nb	LE (MPa)	LR (MPa)	LE/LR (%)	AL (%)	DOB.
USI-RW-28/300	ARO	0,07	0,40	0,01	0,016	0,013	0,030	-	277	389	71	37	0E
USI-RW-30/340	ARO	0,09	0,50	0,01	0,017	0,013	0,030	-	282	409	69	37	0E
USI-RW-32/350	DISCO	0,12	0,45	0,01	0,016	0,014	0,042	-	298	424	70	35	0E
USI-RW-35/390	DISCO	0,14	0,59	0,02	0,019	0,013	0,046	-	329	453	73	34	1E
USI-RW-44/450	DISCO	0,10	0,55	0,02	0,016	0,008	0,045	0,023	388	488	80	31	0E

Mecanismos de resistência nos aços convencionais

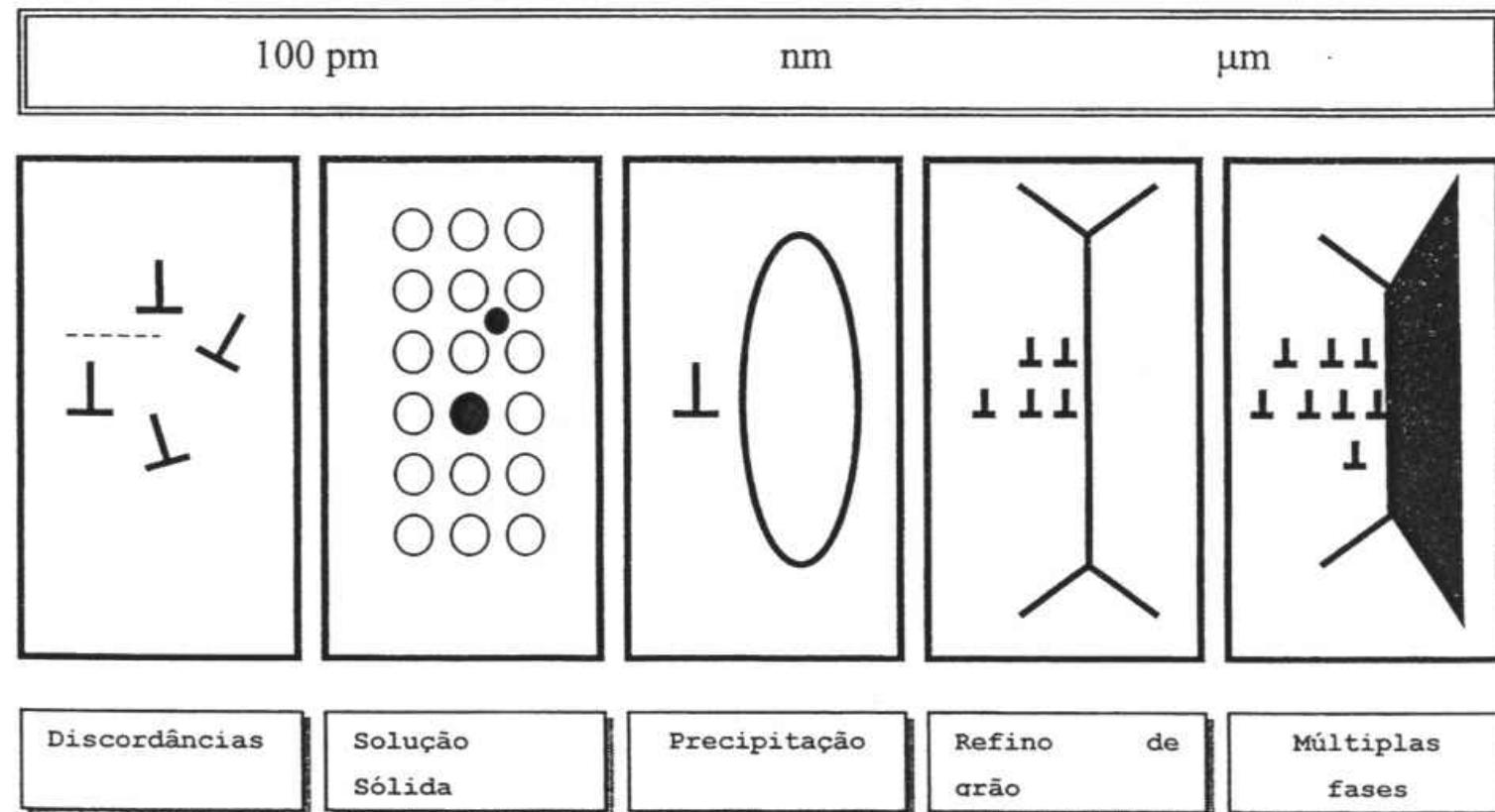


Para os aços convencionais de estampagem, a microestrutura é composta basicamente por ferrita e perlita e presença de precipitações (carbonetos, nitretos, ...)

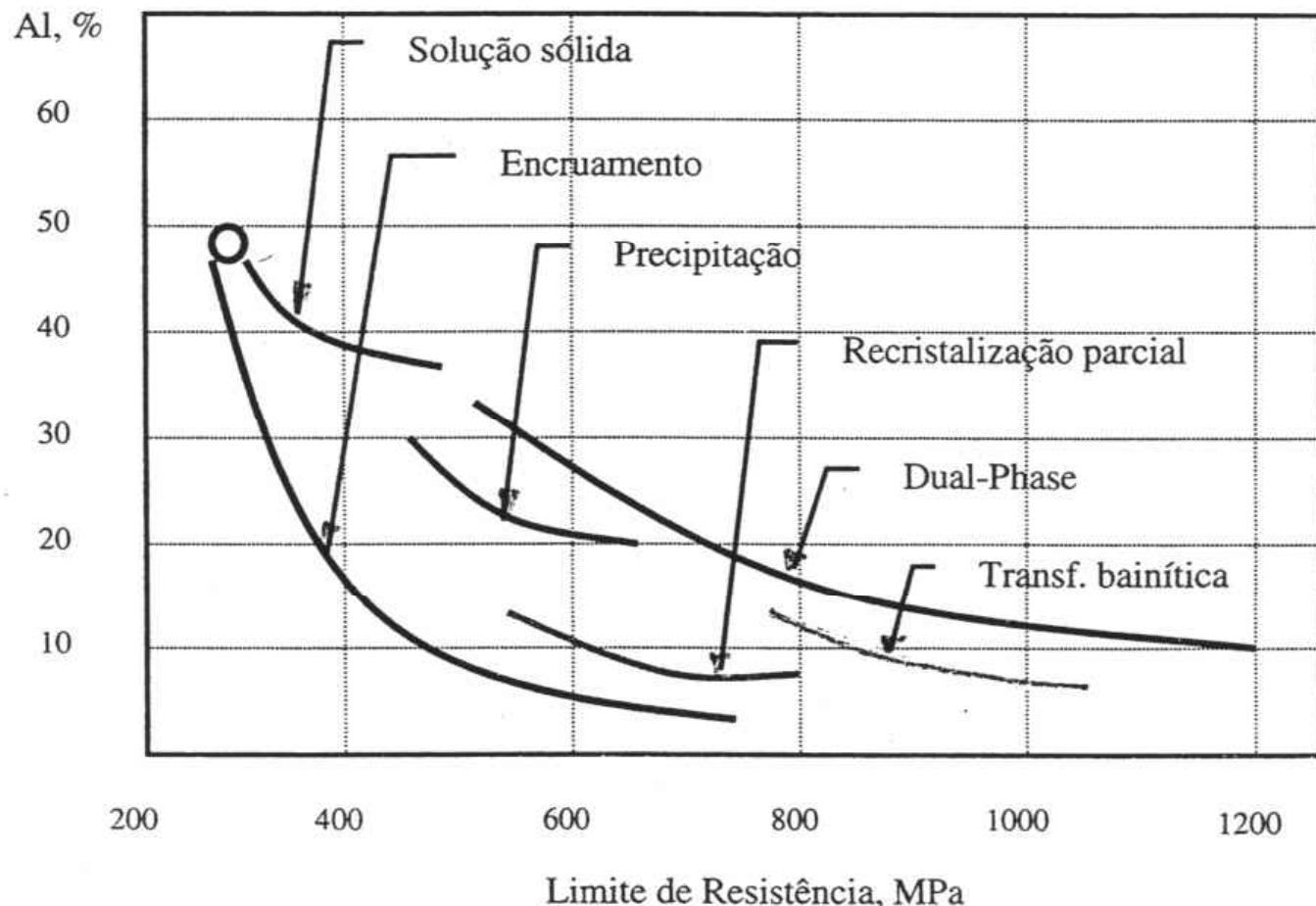
Mecanismos para aumentar a resistência mecânica:

- Solução sólida;
- Encruamento (discordâncias);
- Precipitação;
- Transformação de fases e
- Tamanho de grão.

Mecanismos de resistência nos aços convencionais



Representação esquemática dos diversos mecanismos de endurecimento dos materiais (escala relativa).



Alteração Deformação na ruptura (%) e limite de resistência (MPa) de chapas de aço laminadas a frio em função do mecanismo de endurecimento.

As partes de uma carroceria que necessitam aumento na segurança e alta performance são o alvo dos aços especiais de alta resistência. Atualmente as aplicações estão centradas nos aços:

⌘ HSS (High Strength Steel)

- ⌘ HSLA (High strength low alloy) - microligado
- ⌘ BH (Bake-Hardening)
- ⌘ IF (Interticiose Free)

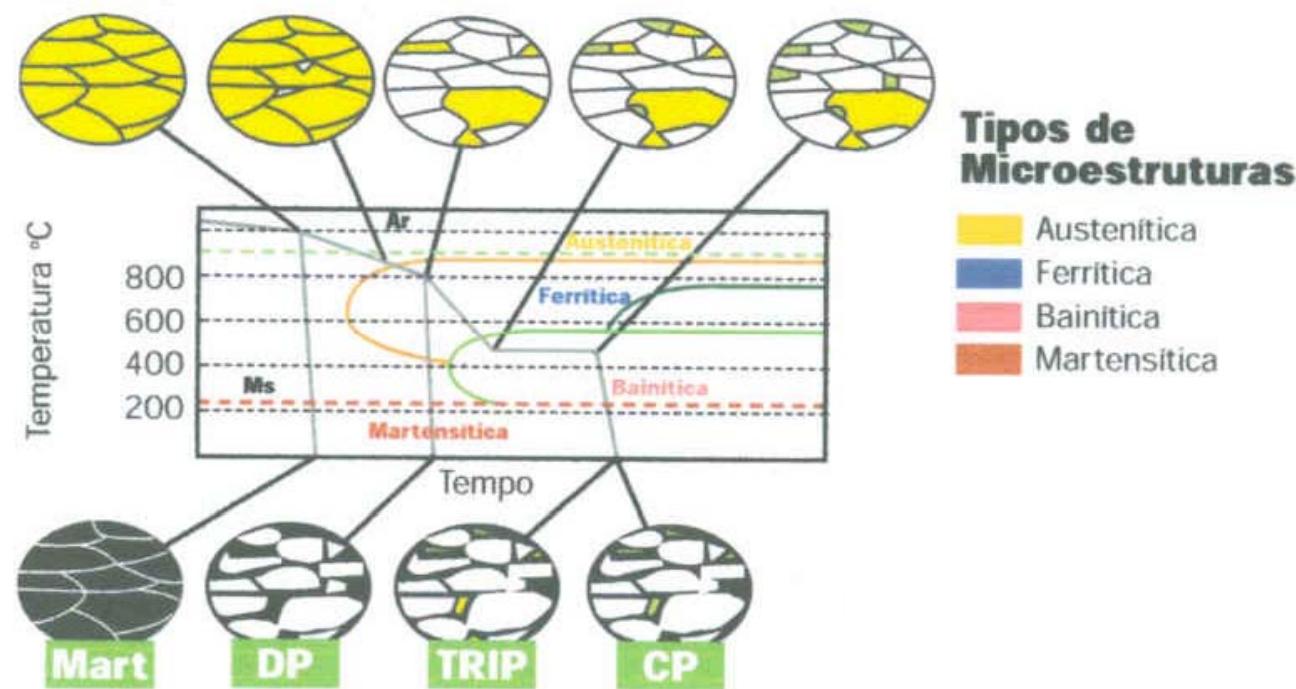
⌘ AHSS (Advanced High Strength Steel)

- ⌘ DP (Dual Phase),
- ⌘ TRIP (Transformation Induced Plasticity),
- ⌘ CP (Complex Phase),
- ⌘ MS (Martensitic Phase).

Aços para estampagem - Perspectivas futuras



Curvas de Resfriamento e Evolução das Microestruturas na Produção de AHSS



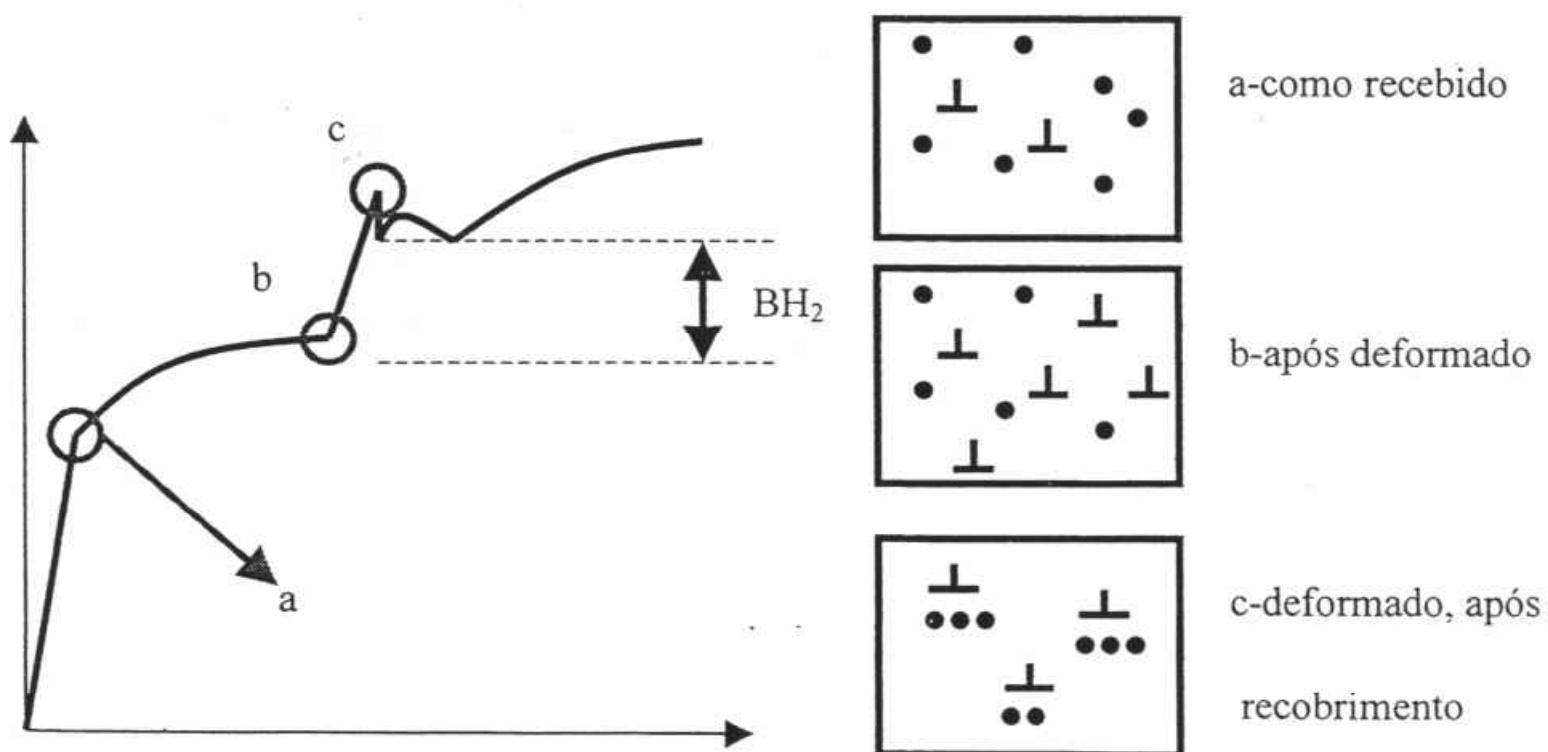
Aços para estampagem - Perspectivas futuras



IF – livre de intersticiais

endurecidos por solução sólida (C e N)
20 ppm de carbono (0,002% C)

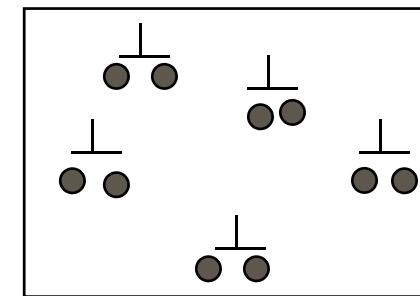
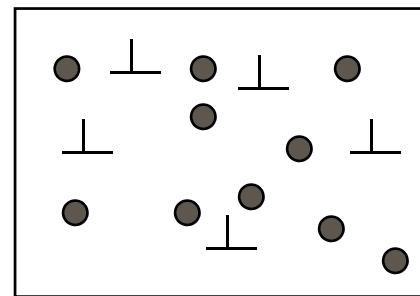
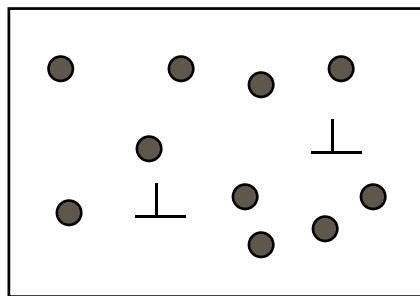
Efeito bake-hardening



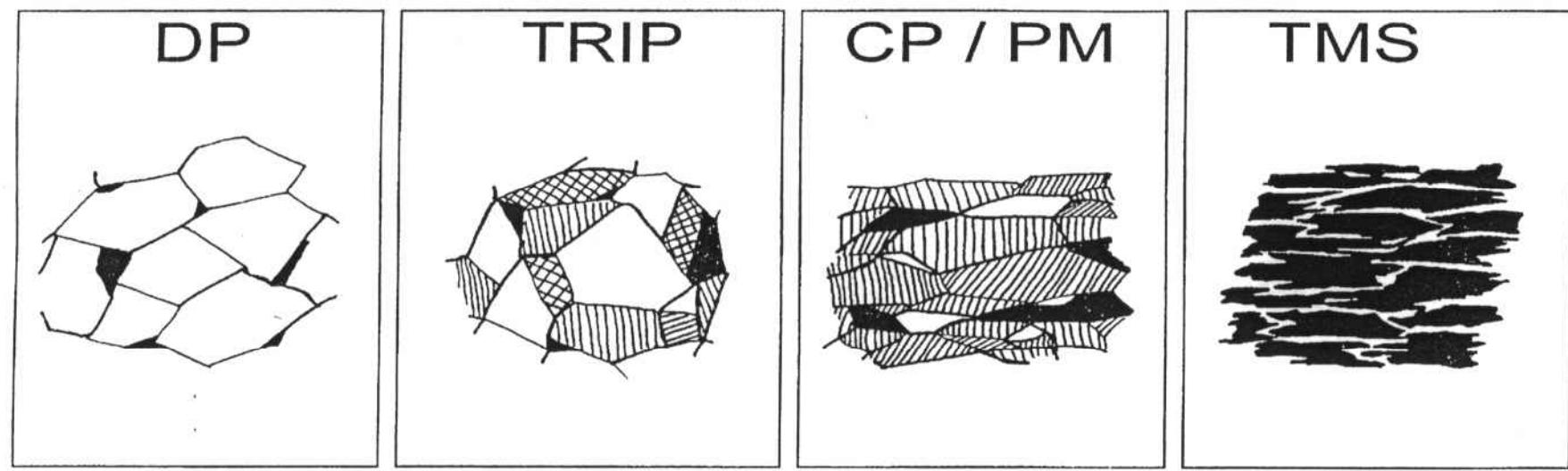
Esquema mostrando o efeito bake-hardening

Efeito bake-hardening

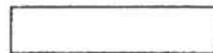
Durante o processo de secagem da pintura (170 oC), realizada após a conformação, os átomos intersticiais de carbono se difundem para as discordâncias, imobilizando-as e aumentando a tensão de escoamento (~ 40 MPa).



Novos aços para estampagem



Ferrit



Austenit



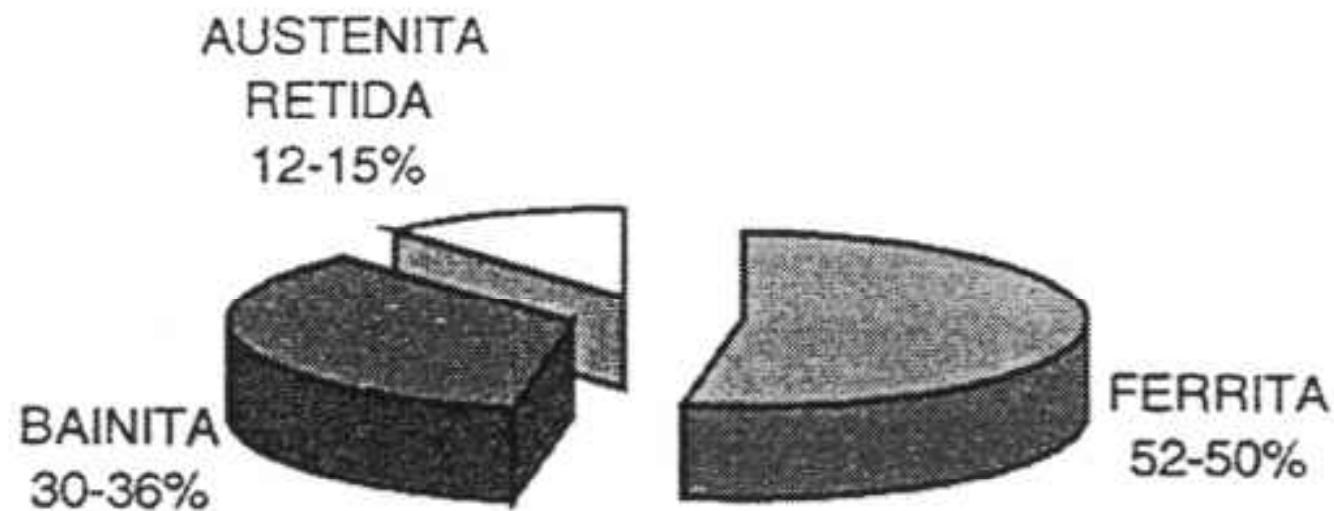
Bainit



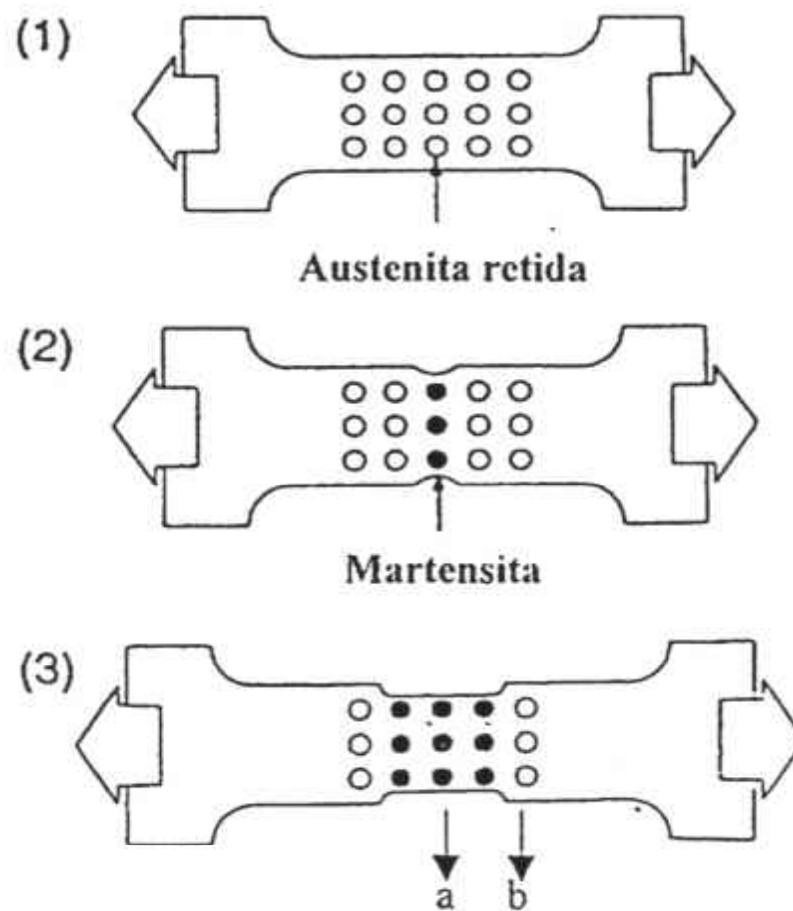
Martensit



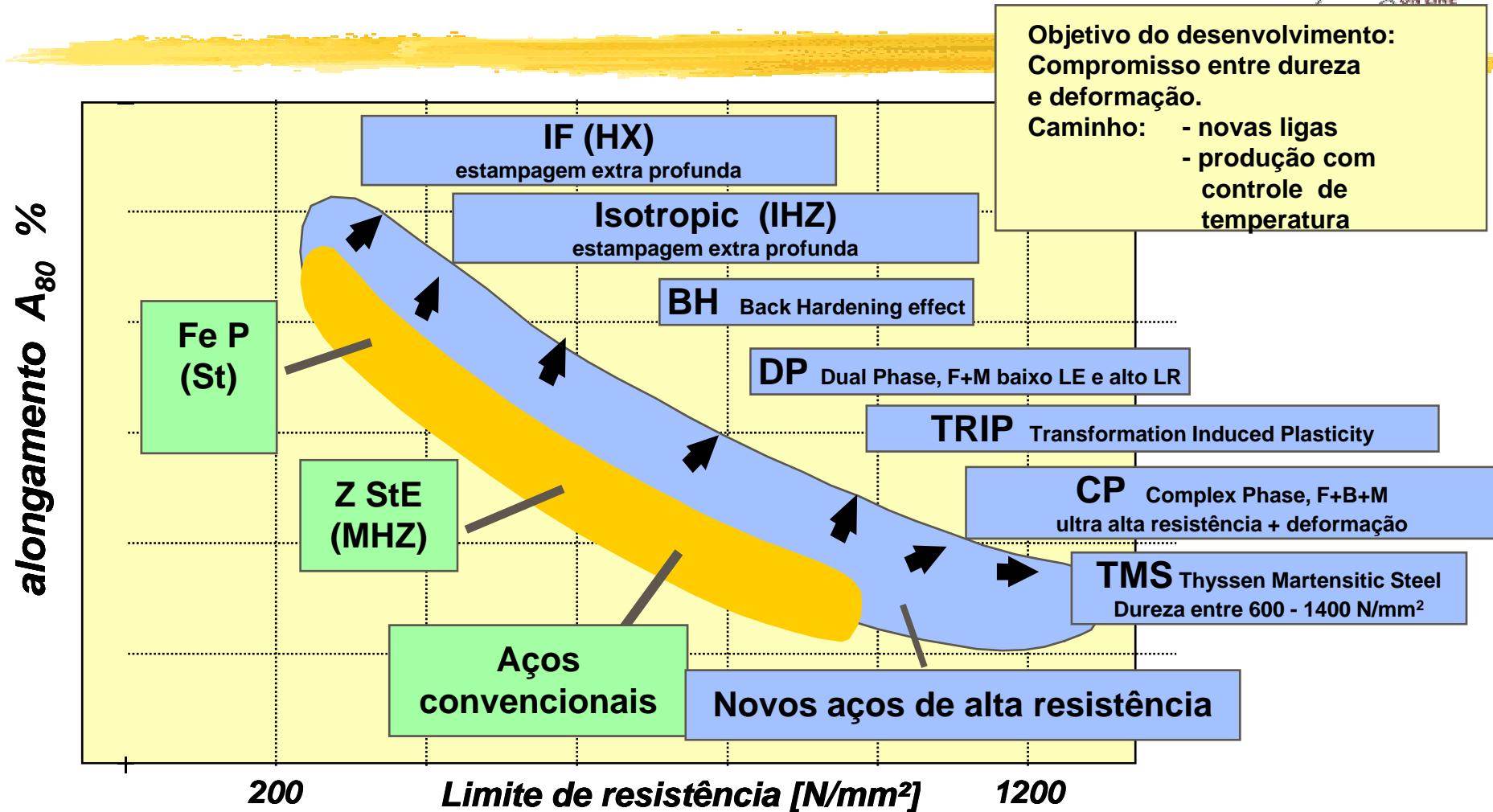
Percentual de fases nos aços TRIP



Mecanismo de deformação dos aços TRIP



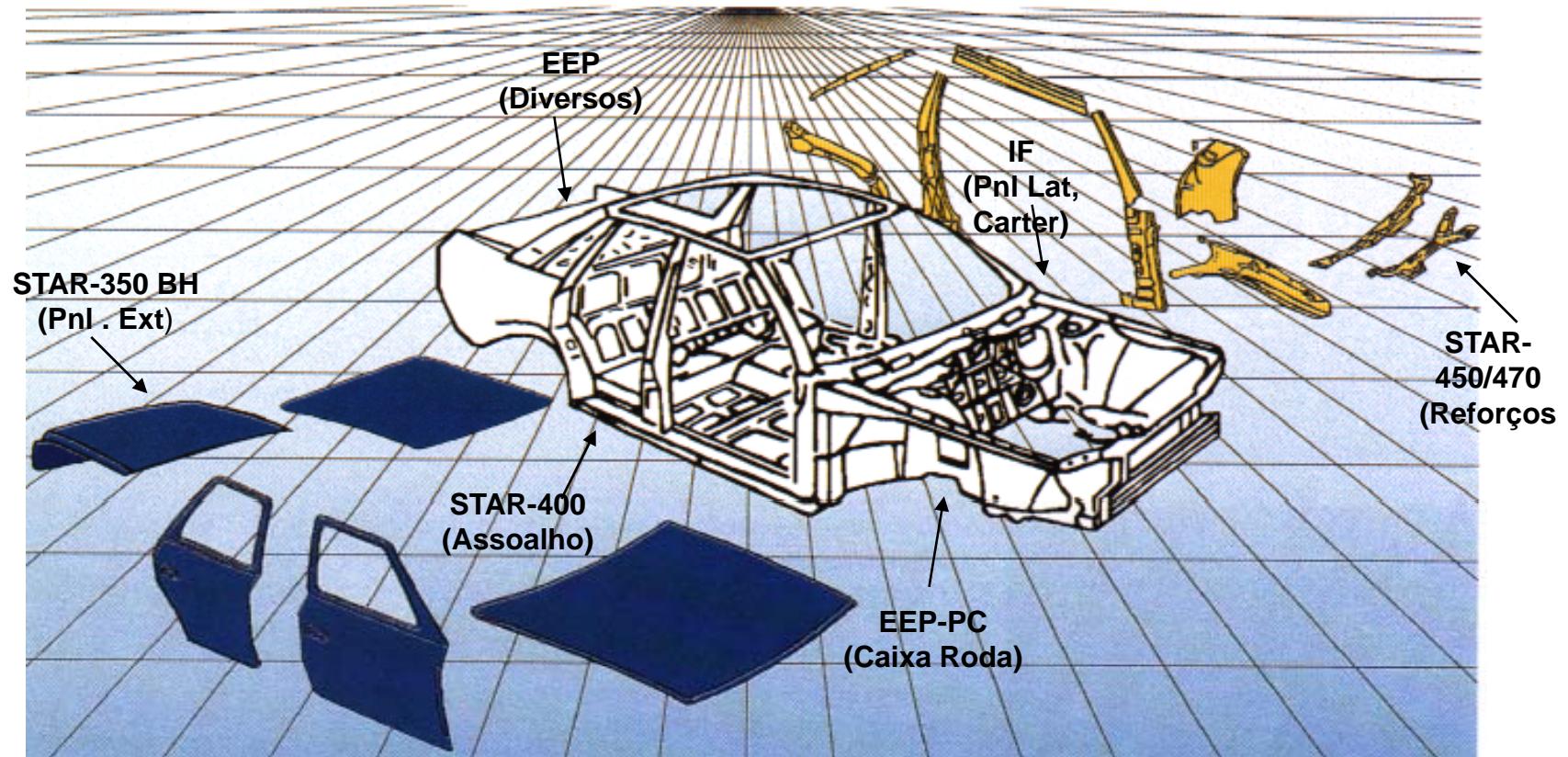
Novos Materiais para Construção de Carrocerias



St – tira a frio

ZStE – laminado a frio de fina granulação

Exemplos típicos de aplicação de aços



AÇOS BAKE HARDENED



ABORDAGEM METALÚRGICA

Aço refosforado com carbono em solução

EFEITO

durante o processo de secagem da pintura depois do processo de conformação, os átomos intersticiais de carbono se difundem para as discordâncias imobilizando-as, aumenta-se a tensão de escoamento

APLICAÇÕES

painéis expostos conformados levemente tais como, teto, capôs, portas e caixa de rodas

AÇOS MICROLIGADOS ISOTRÓPICOS



ABORDAGEM METALÚRGICA

**controle de precipitados para formar a textura de
recristalização desejada**

EFEITO

**minimiza a tendência ao orelhamento e variação de
espessura após a deformação**

APLICAÇÕES

partes expostas a luminosidade como capôs e portas

LIVRES DE INTERSTICIAIS DE ALTA RESISTÊNCIA IFHSS



ABORDAGEM METALÚRGICA

Aumento de resistência pela adição de P, Si ou Mn ao aço IF

EFEITO

Aço de alta resistência com alto valor de Lankford, i.e. boa conformabilidade; baixa taxa de escoamento/resistência; boa absorção de energia de impacto

EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

Partes internas: reforços e estruturas laterais.

Partes não expostas: assoalho, parte interna de capôs e portas.

Partes expostas: para-lamas e capôs.

AÇOS REFORADOS



ABORDAGEM METALÚRGICA

Aumento de resistência em solução sólida pela adição de P

EFEITO

**Alta resistência com boa conformabilidade e
resistência ao amassamento**

APLICAÇÕES

Partes internas: estruturas, reforços

Partes expostas: capôs e teto

AÇOS DUPLA FASE DUAL PHASE STEEL

ABORDAGEM METALÚRGICA

fina dispersão de martensita e/ou fases de bainita numa matriz ferrítica mole

EFEITO

**excelente combinação de resistência e conformabilidade
alta taxa de endurecimento por deformação
excelente absorção de energia / efeito do alongamento**

APLICAÇÕES

Estruturas e reforços

**barra de impacto da porta, vigas do pára-choques
dianteiro e traseiro.**



AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA



ABORDAGEM METALÚRGICA

Aumento de resistência por carbono e magnésio em solução e Nb e/ou Ti precipitados

EFEITO

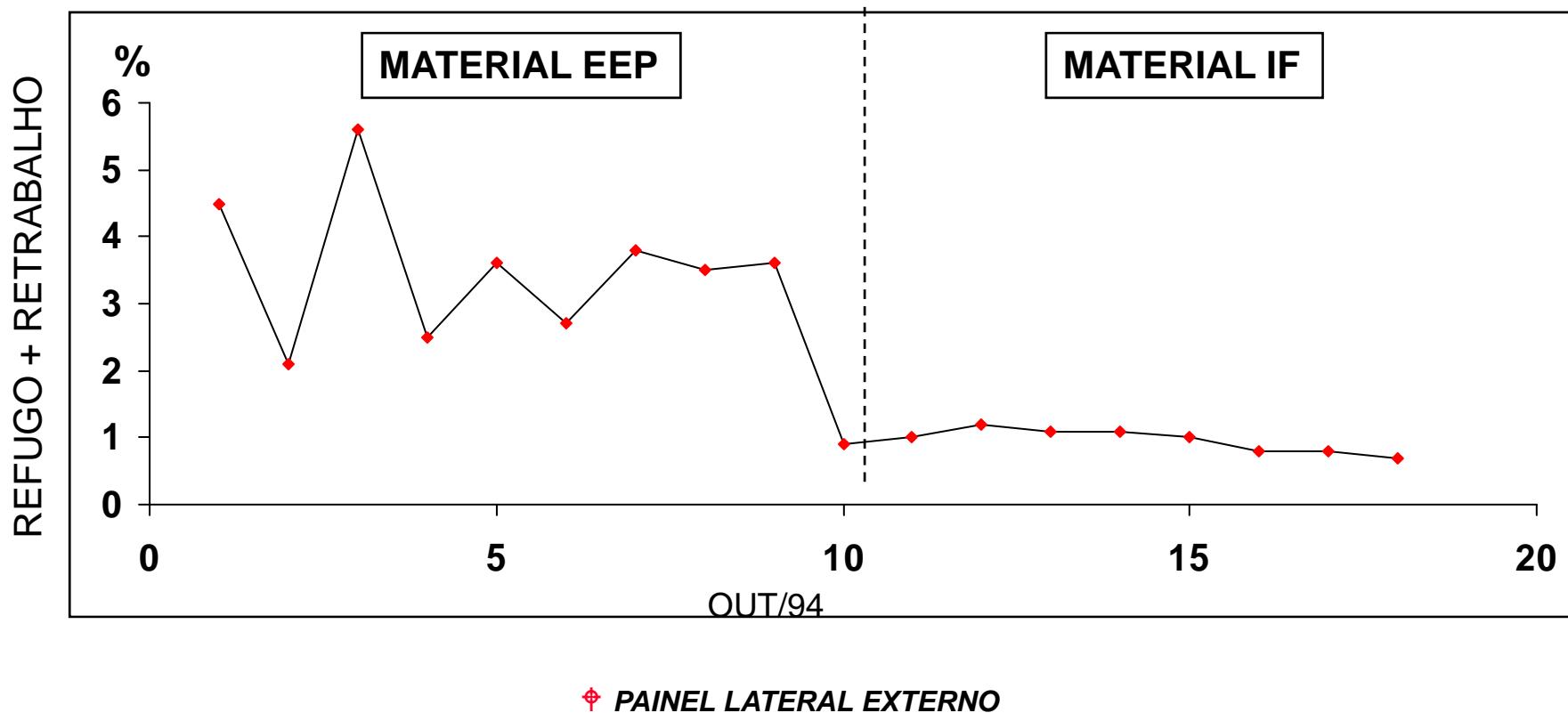
**Alto limite de resistência
conformabilidade limitada
boa soldabilidade**

EXEMPLOS DE APLICAÇÕES

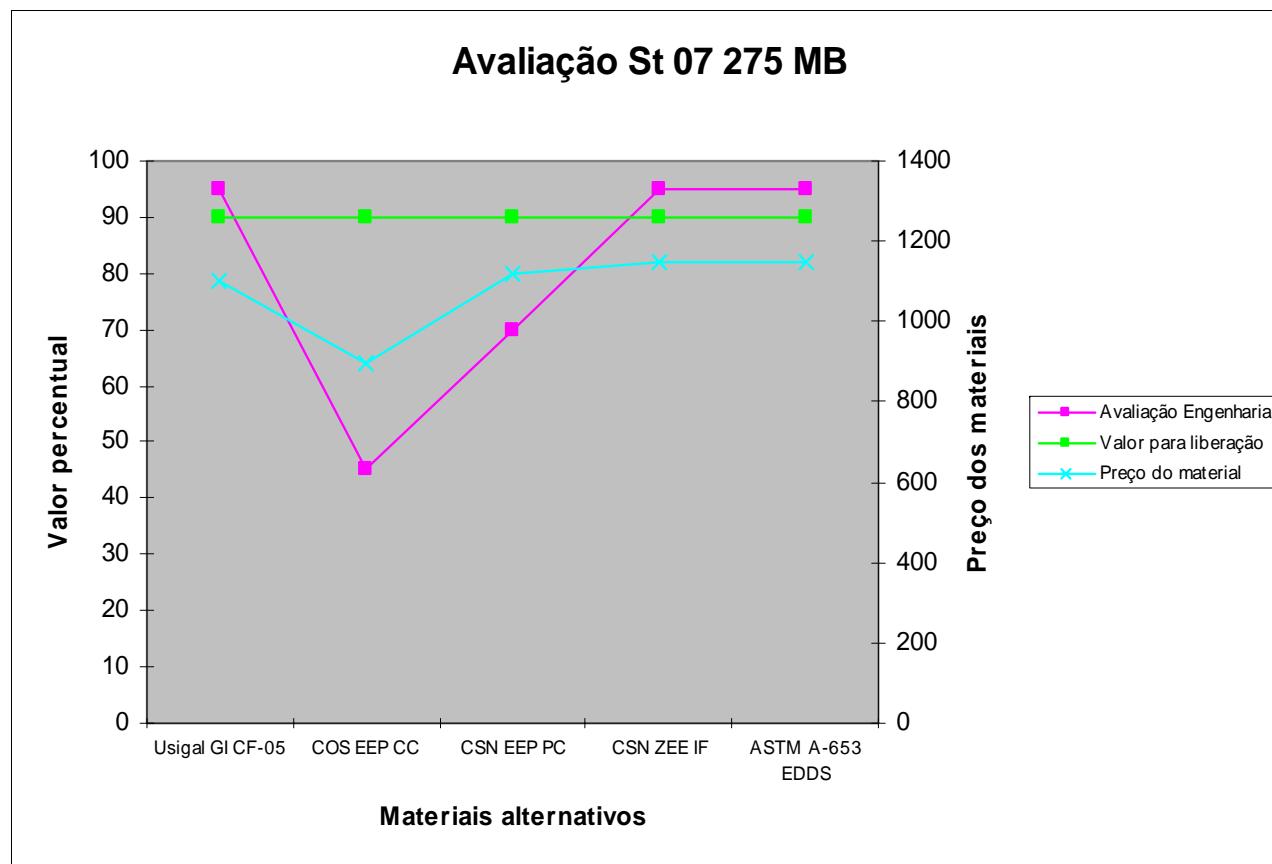
partes levemente conformadas

partes internas: estruturas, reforços

Resultados Aplicação Interstitial Free



Estudo de Caso - Projeto Nacionalização de Aços



Equivalências de Normas



Norma européia	EUA (ASTM)	JAPÃO (JFS/JIS)
Produtos planos laminados a quente		JFS A1001-98
Aços para estampagem e conformação a frio		
EN 10111-95	ASTM A1011-01	JIS G3131-96
DD11	CS Tipo B	SPHD
DD12		
DD13	DS Tipo B	SPHE
DD14		
Aços com alto limite de elasticidade para conformação a frio		
EN 10149/2-95	ASTM A1011-01	JIS G3134-90
S315MC	HSLAS Graduação 45 Classe 2	SPFH 490
S355MC	HSLAS-F Graduação 50 Classe 2	SPFH 540
S420MC	HSLAS-F Graduação 60 Classe 2	SPFH 590
S460MC	HSLAS Graduação 65 Classe 2	
S500MC	HSLAS-F Graduação 70 Classe 2	
S550MC	HSLAS-F Graduação 80 Classe 2	
S600MC		
S650MC		
S700MC	A514	
Aços doces não revestidos para estampagem		
Aços estampáveis		
EN 10130-98	ASTM A1008-01	JIS G3141-96
DC01	CS	SPCC
DC03	DS	SPCD
DC04	DDS	SPCE
DC05		
DC06	EDDS	

Equivalências de Normas



Aços laminados a frio revestidos de zinco por via eletrolítica (ZE)

JFS A 3021-98

EN 10152-94	ASTM A879-00	JIS G3313-90
DC01+ZE	CS	SPCC
DC03+ZE	DS	SPCD
DC04+ZE	DDS	SPCE
DC05+ZE		
DC06+ZE	EDDS	

Aços doces galvanizados a quente em contínuo para conformação a frio

JFS A 3011-98

EN 10142-00 - EN 10292-99	ASTM A653-01	JIS G3302-87
DX51D+Z	CS	SGCC
DX52D+Z	FS	SGCD1
DX53D+Z	DDS	SGCD2
DX54D+Z		SGCD3
DX56D+Z	EDDS	
DX51D+ZF	CS	SGCC
DX52D+ZF	FS	SGCD1
DX53D+ZF	DDS	SGCD2
DX54D+ZF		SGCD3
DX56D+ZF	EDDS	

Equivalentes de Normas



Aços revestidos a quente em contínuo de liga zinco-alumínio (ZA)

EN 10214-95 - EN 10292-99	ASTM A875-01	JIS G3317
DX51D+ZA	CS	SZACC
DX52D+ZA	FS	SZACD1
DX53D+ZA	DDS	SZACD2
DX54D+ZA	EDDS	SZACD3

Aços revestidos a quente em contínuo de liga alumínio-silício (AS)

EN 10154-96	ASTM A463-01	JIS G3314-77
DX51D+AS	CS	SA 1 C
DX52D+AS	FS	SA 1 C
DX53D+AS	DDS	SA 1 D
DX54D+AS		SA 1 E
DX55D+AS		
DX56D+AS	EDDS	

REVESTIMENTOS DE AÇOS LAMINADOS A FRIO PARA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA



REVESTIMENTOS ALCANÇADOS	
ELETROGALVANIZADOS	GALVANIZADOS A QUENTE
ZINCO	ZINCO
	ZINCO-LIGA DE FERRO
TRATAMENTO SUPERFICIAL	
FOSFATIZADO	TRATAMENTO QUÍMICO

Vantagens da Galvanização



ZINCAGEM

*Resistência
à
Corrosão*

*Facilidade de ligação
metalúrgica do Zn ao
aço base.*

*Camada de Proteção
Revestimento de Zinco*

*Proteção por barreira
(filme aderente de carbonato)*

*Proteção catódica
 $Zn \rightarrow$ Anodo do par
Aço/Zinco*

Zincagem Eletrolítica x Zincagem por Imersão à Quente



Eletrolítica

1 - Princípio:

*Aplicação do revestimento metálico
Corrente elétrica contínua*

2 - Natureza do Revestimento

Camada de Zinco puro sobre o substrato

3- Maior Custo

*4- Revestimento
Maior controle e possibilidade de produção
de revestimentos mais finos*

5- Pode se revestir apenas 1 face

Imersão à quente

1 - Princípio:

*Imersão do Substrato
Banho metálico fundido*

2 - Natureza do Revestimento

Camada de liga + Camada de zinco puro.

3- Menor Custo

*5- Revestimento
Difícil controle da espessura e uniformidade do revestimento superiores a 50g/m²*

5- Não se consegue revestir apenas 1 face

CARACTERÍSTICAS DAS CHAPAS ZINCADAS

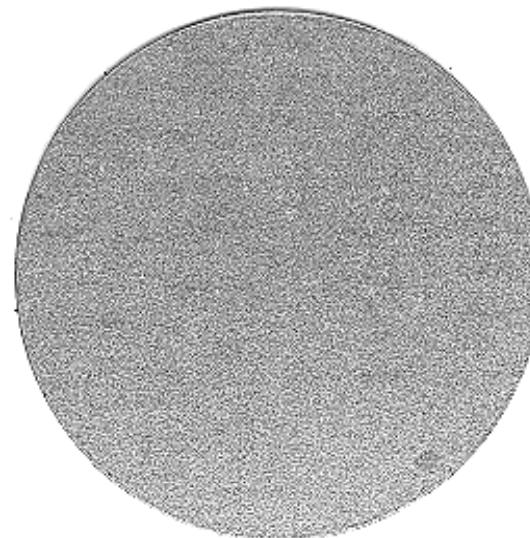


- *Aspecto Superficial:*

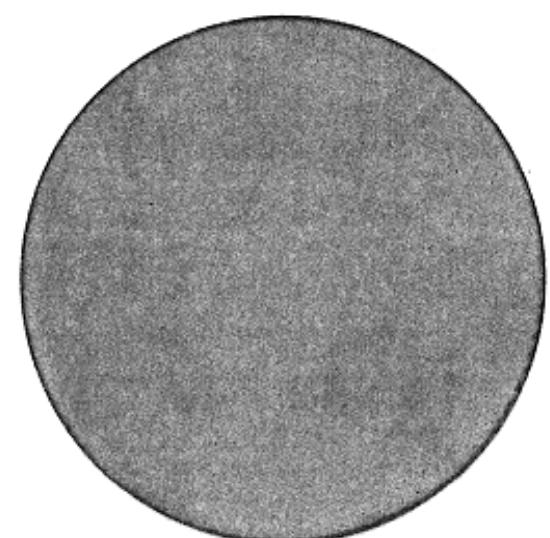
**CHAPA ZINCADA
CRISTAIS NORMAIS**



**CHAPA ZINCADA
CRISTAIS MINIMIZADOS**



GALVANEW-CSN



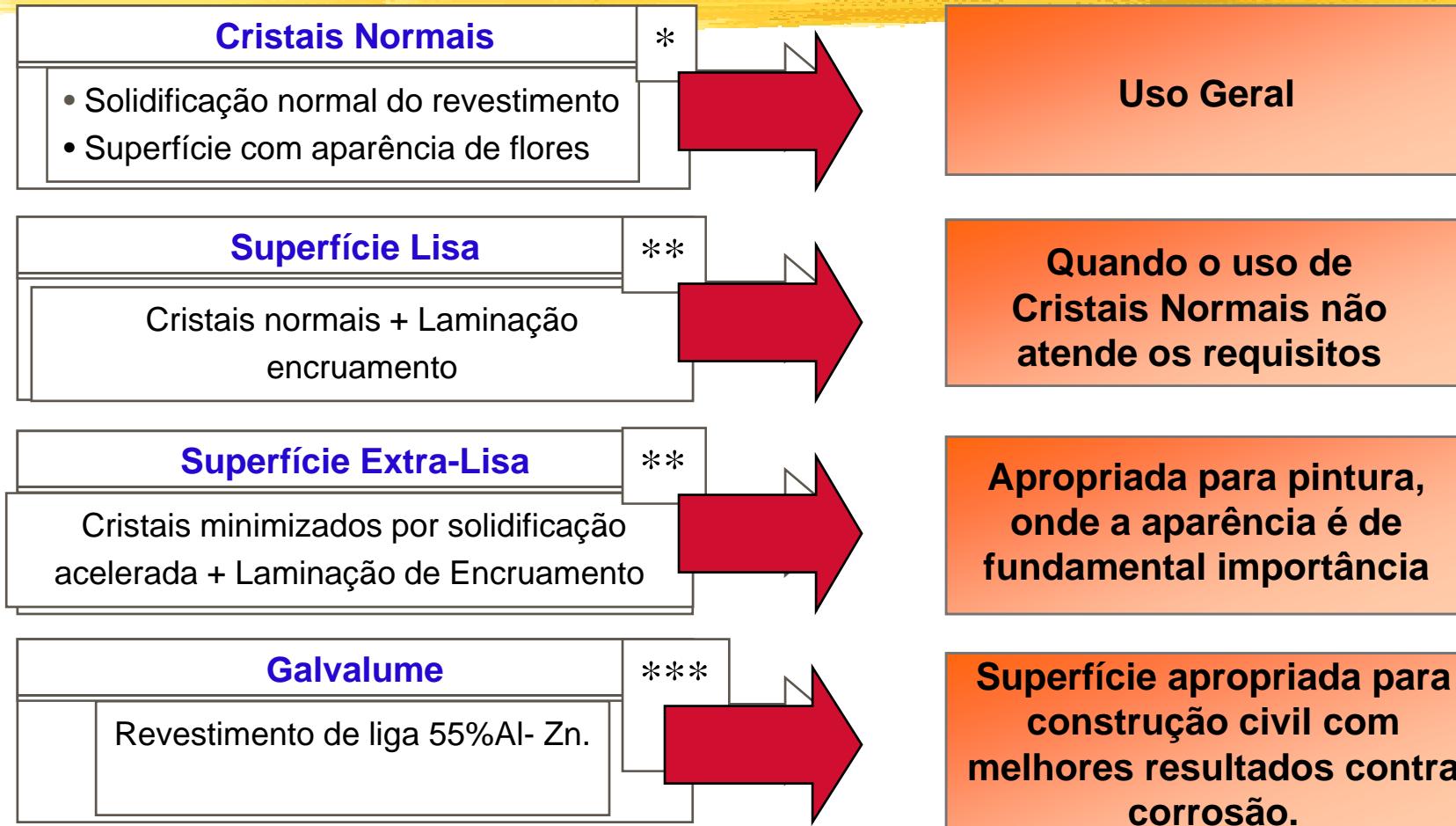
Características das Chapas Zincadas



• PROTEÇÃO SUPERFICIAL

- 1 - **TRATAMENTO QUÍMICO** → Formação de um filme de passivação (filme de cromato) na superfície das CZ's. Mais usados para cristais normais.
- 2 - **OLEAMENTO** → Formação de um filme de óleo (óleo protetivo). Mais usado para cristais minimizados.
- 3 - **TRATAMENTO QUÍMICO + OLEAMENTO** → Quando o material requer maior proteção (região de elevada umidade relativa do ar).
- 4 - **RESINADO** → Aplicação de revestimento de resina acrílica que contribui para a resistência a corrosão e auxilia nos processos de conformação. É aplicado princip. ao Galvalume.

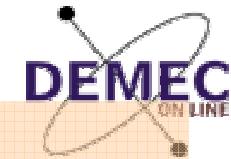
Acabamentos de Superfície e suas Aplicações



Proteção de Superfície: {

- * Com oleamento e/ou Trat. Químico
- ** Com oleamento
- *** Com oleamento ou resina

Características e Aplicações



	Grau	Característica	Aplicação
Comercial	ZC	Conformabilidade Básica	Uso Plano Dobramento Conformação
	ZE	Estampabilidade Boa	Estampagem Simples Dobramento
	ZEE		Estampagem Profunda
Estampagem	ZEE-PC		Estampagem Extra Profunda
	ZEE-IF	Excelente	Estampagem de Peça Crítica
Estrutural	ZAR 230	Resistência Mecânica -	Uso Plano
	ZAR 250		Corrugação
	ZAR 280		Dobramento
	ZAR 345	+	
	ZAR 400		
	ZAR 550		

Propriedades mecânicas dos aços galvanizados por imersão a quente e GALVALUME®



- # Os aços recobertos com zinco ou 55%Al-Zn são largamente usados no mercado de construção civil e automobilístico.
- # Neste trabalho foi avaliado os efeitos do recobrimento nas propriedades mecânicas do aço através de ensaios de tração em amostras recobertas e não recobertas. (chapas produzidas pela CSN - Companhia Siderúrgica Nacional).