
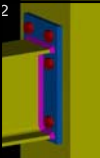


**Ligações Aparafusadas**  
Primeira Parte



Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
PGECIV - Mestrado Acadêmico  
Faculdade de Engenharia – FEN/UERJ  
Disciplina: Tópicos Especiais em Estruturas (Ligações em Aço e Mistras)  
Professor: Luciano Rodrigues Ornelas de Lima

2



**1. Introdução**

- O projeto estrutural metálico envolve a especificação e cálculo de como os elementos estruturais (vigas, colunas, tirantes, etc.) são interligados
- Os meios mais comuns são os parafusos e as soldas.
- Rebites já foram muito usados mas atualmente são utilizados somente para reparação de estruturas existentes.

3

PGECIV

FEN

## 1. Introdução

- As ligações soldadas → mais diretas, com menos elementos e com melhor continuidade
- Solda → uma mão de obra mais especializada (execução e/ou inspeção) e maior dificuldade no ajuste das peças
- Fatores econômicos → maior utilização da solda nas ligações de fábrica
- Nas ligações de campo → uso de parafusos

4

PGECIV

FEN

## 2. Exemplos de Ligações



Torre Eiffel / Paris (executada com rebites)

5

PGECIV

FEN

## 2. Exemplos de Ligações



Torre Eiffel / Paris  
(executada com rebites)

5

PGECIV

FEN

## 2. Exemplos de Ligações

Pontes sobre o Rio Sena / Paris (executada com rebites)



Ponte D. Luís / Porto (executada com rebites)



7

PGECIV

FEN

## 2. Exemplos de Ligações

Viga em aço c/ pilar de concreto

Viga secundária c/ principal

Contraventamento

Treça soldada

3

PGECIV

FEN

## 2. Exemplos de Ligações

Passarela de pedestres - soldada

Viga em aço c/ viga em concreto

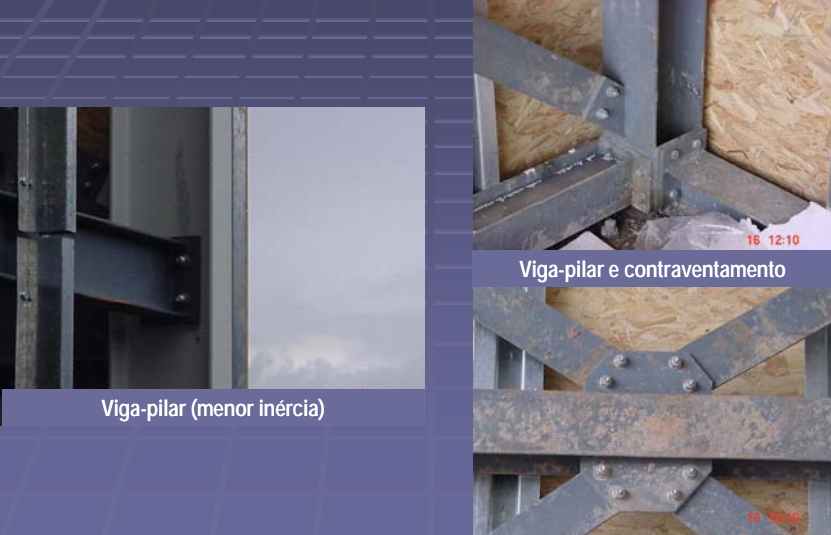
Viga-pilar (maior e menor inércia)

Viga-pilar (maior e menor inércia)

9

PGECIV FEN

## 2. Exemplos de Ligações



Viga-pilar (menor inércia)

Viga-pilar e contraventamento

10

PGECIV FEN

## 3. Materiais

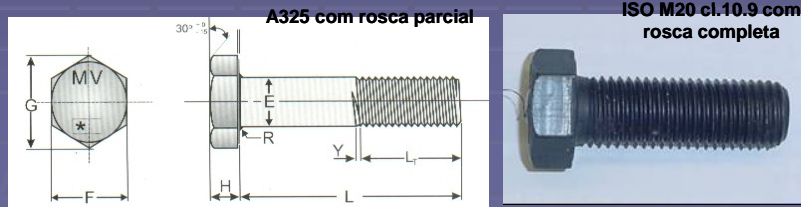
- Existem dois tipos de parafusos:
  - ✓ parafusos comuns
- Os parafusos comuns → aço de baixo carbono, cabeça e porcas quadradas ou sextavadas → ASTM ou ISO

Especificação		$F_y$ (MPa)	$F_u$ (MPa)	$\phi$ máximo (mm)	Tipo de material
Parafusos Comuns	ASTM A 307	-	415	100	C
	ISO 898 classe 4.6	240	400	36	C

ISO classe X.Y  
 O Produto X . 100 representa a mínima tensão última do parafuso,  $F_u$  em N/mm<sup>2</sup> (MPa)  
 O Produto Y . X . 100 representa mínima tensão última do parafuso  $F_y$  em N/mm<sup>2</sup> (MPa)

### 3. Materiais

- Existem dois tipos de parafusos:
  - ✓ parafusos de alta resistência
- Parafusos de alta resistência → aço de médio carbono temperado ou aço liga temperado, tem cabeça e porca hexagonal e são marcados na cabeça com sua designação ASTM e ISO



### 3. Materiais

Especificação		Fy (MPa)	Fu (MPa)	φ máximo (mm)	Material [1]
Parafusos de Alta Resistência	ASTM A 325 [2]	635 560	825 725	12,7 ≤ d ≤ 25,4 25,4 < d ≤ 38,1	C,T
	ASTM A 490	895	1035	12,7 ≤ d ≤ 38,1	T
	ISO 8.8	640	800	12,7 ≤ d ≤ 38,1	C,T
	ISO 10.9	900	1000	12,7 ≤ d ≤ 38,1	T

[1] Disponíveis também com resistência à corrosão atmosférica comparável à dos aços AR-COR-345 Graus A e B ou à dos aços ASTM A588.

[2] C = carbono, T = temperado

### 3. Materiais – Eurocode 3 pt. 1.8

**Table 3.1: Nominal values of the yield strength  $f_{yb}$  and the ultimate tensile strength  $f_{ub}$  for bolts**

Bolt class	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	300	480	640	900
$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	500	600	800	1000

### 3. Materiais

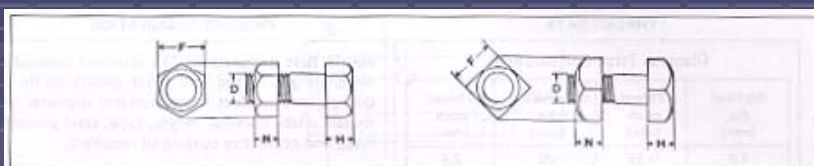
- Principal diferença no comportamento de ligações com parafusos comuns e com parafusos de alta resistência → protensão
- Os parafusos comuns, são instalados apertando-se a porca contra as placas que estão sendo ligadas sem controle especial → tração pequena e variável, que não pode ser levada em conta no cálculo

### 3. Materiais

- Ausência de protensão em parafusos comuns → pequeno movimento das partes ligadas sob carga → estes parafusos somente são recomendados em ligações de reticulados leves não sujeitos à vibração ou reversão de carga

### 3. Materiais

- ✓ Parafusos comuns - ASTM A307 (unidades inglesas – “in”)



Nominal Diameter of Bolt	Regular Square Bolts		Finished Hex Bolts		Minimum Thread Lengths		Regular Square Nuts		Finished Hex Nuts	
	Nominal Width F	Nominal Height H	Basic Width F	Basic Height H	Length Under Head		Nominal Width F	Nominal Height N	Basic Width F	Basic Height N
					6 in. and Under	Over 6 in.				
Inches	Inches	Inches	Inches	Inches	Inches	Inches	Inches	Inches	Inches	Inches
1/4	3/8	11/64	7/16	5/32	3/4	1	7/16	7/32	7/16	7/32
3/8	9/16	1/4	9/16	15/64	1	1 1/4	5/8	21/64	9/16	21/64
1/2	3/4	21/64	3/4	5/16	1 1/4	1 1/2	13/16	7/16	3/4	7/16
5/8	15/16	27/64	15/16	25/64	1 1/2	1 3/4	1	31/64	15/16	31/64
3/4	1 1/8	1/2	1 1/8	15/32	1 1/2	2	1 1/8	21/32	1 1/8	41/64
7/8	1 5/16	19/32	1 5/16	35/64	2	2 1/4	1 1/16	49/64	1 5/16	3/4
1	1 1/2	21/32	1 1/2	39/64	2 1/4	2 1/2	1 1/2	7/8	1 1/2	55/64
1 1/8	1 11/16	3/4	1 1/16	11/16	2 1/2	2 3/4	1 11/16	1	1 11/16	31/32
1 1/4	1 7/8	27/32	1 7/8	25/32	2 3/4	3	1 7/8	1 3/32	1 7/8	1 1/16



### 3. Materiais

✓ Parafusos de alta resistência - ASTM A325 e A490 (marcas requeridas)

TYPE	A325		A490	
	BOLT	NUT	BOLT	NUT
1				
2		Same as Type 1		Same as Type 1
3				

(1) Additional Optional 3 Radial Lines at 120° may be added.  
 (2) Type 3 also acceptable.  
 (3) Additional Optional Mark indicating Weathering Grade may be added.

### 3. Materiais

✓ Parafusos de alta resistência – ISO (marcas requeridas)

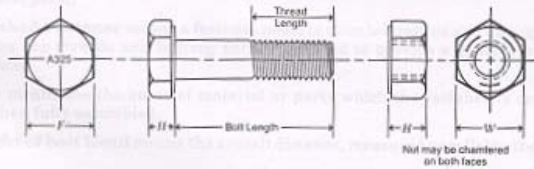
	General grade to BS 4395: Part 1				Higher grade to BS 4395: Parts 2 and 3					
	Hexagon bolt	Countersunk bolt	Nut	Hexagon bolt	Countersunk bolt (Part 2 only)	Nut				
	Bolt diameter									
	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36	
<b>Thread lengths</b>										
Bolt length up to 125 (Part 1)	30	38	46	50	54	60	66	72	78	
Parts 2 and 3	36	44	52	56	60	66	72	78	84	
125–200 mm (Part 1)	36	44	52	56	60	66	72	78	84	
Parts 2 and 3	44	50	58	62	66	72	78	84	90	
over 200 mm (Part 1)	49	57	65	69	73	79	85	91	97	
Parts 2 and 3	54	62	70	74	78	84	90	96	102	
<b>Dimensions</b>										
Width across flats	22	27	32	36	41	46	50	55	60	
Width across corners	25.4	31.2	36.9	41.6	47.3	53.1	57.7	63.5	69.3	
Nominal head depth of bolts	8	10	13	14	15	17	19	21	23	
Nominal depth of nuts	11	15	18	19	22	24	26	29	31	
Diameter of countersunk head	24	32	40	44	48	54	60	66	72	
Diameter of waisted shank (Part 3 only)	–	12.0	15.2	17.1	18.3	21.1	23.3	26.2	–	
Nominal washer thickness	2.6	3.2	3.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.4	4.4	
Washer external diameter*	30	37	44	50	56	60	66	75	85	
Washer internal diameter	13.6	17.6	21.3	23.2	26.2	29.2	32.6	35.6	38.6	

### 3. Materiais

✓ Parafusos de alta resistência - ASTM A325 e A490 (dimensões em "in")

Nominal Bolt Size, inches D	Bolt Dimensions*, inches Heavy Hex Structural Bolts			Nut Dimensions**, inches Heavy Hex nuts		Threads Per In	Coarse Thread Series—UNC**		
	Width across flats, F	Height, H	Thread length	Width across flats, W	Height, h		Basic Pitch Dia	Section at Minor Dia	Tensile Stress Area
							in.	in <sup>2</sup>	in <sup>2</sup>
1/2	3/8	5/16	1	3/8	7/16	13	0.4500	0.1257	0.1419
5/8	13/16	3/4	1 1/4	13/16	3/4	11	0.5680	0.202	0.226
3/4	1 1/16	7/8	1 1/2	1 1/16	7/8	10	0.6850	0.302	0.334
7/8	1 1/4	35/32	1 3/4	1 1/4	35/32	9	0.8028	0.419	0.462
1	1 1/2	39/32	1 3/4	1 1/2	39/32	8	0.9188	0.551	0.606
1 1/4	1 7/8	1 7/16	2	1 7/8	1 7/16	7	1.0322	0.693	0.763
1 1/2	2	1 7/8	2 1/4	2	1 7/8	7	1.1572	0.890	0.969
1 3/4	2 1/8	2 1/8	2 1/2	2 1/8	1 7/8	6	1.2667	1.054	1.155
1 1/2	2 1/2	1 5/8	2 1/2	2 1/2	1 5/8	6	1.3917	1.254	1.405

\*Dimensions according to ANSI B18.2.1  
 \*\*Thread dimensions according to ANSI B1.1



### 3. Materiais

✓ Parafusos de alta resistência - ASTM A325 e A490 (comprimentos em "in")

mm	in.	Bolt Diameter, in.										mm	in.	Bolt Diameter, in.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		1/2	5/8	3/4	7/8	1	1 1/8	1 1/4	1 3/8	1 1/2	1 3/4			1 7/8	2	2 1/8	2 1/4	2 3/8	2 1/2	2 5/8	2 3/4	2 7/8	3	3 1/8	3 1/4	3 3/8	3 1/2	3 3/4	3 7/8	4	4 1/8	4 1/4	4 3/8	4 1/2	4 5/8	4 3/4	4 7/8	5	5 1/8	5 1/4	5 3/8	5 1/2	5 5/8	5 3/4	5 7/8	6	6 1/8	6 1/4	6 3/8	6 1/2	6 5/8	6 3/4	6 7/8	7	7 1/8	7 1/4	7 3/8	7 1/2	7 5/8	7 3/4	7 7/8	8	8 1/8	8 1/4	8 3/8	8 1/2	8 5/8	8 3/4	8 7/8	9	9 1/8	9 1/4	9 3/8	9 1/2	9 5/8	9 3/4	9 7/8	10	10 1/8	10 1/4	10 3/8	10 1/2	10 5/8	10 3/4	10 7/8	11	11 1/8	11 1/4	11 3/8	11 1/2	11 5/8	11 3/4	11 7/8	12	12 1/8	12 1/4	12 3/8	12 1/2	12 5/8	12 3/4	12 7/8	13	13 1/8	13 1/4	13 3/8	13 1/2	13 5/8	13 3/4	13 7/8	14	14 1/8	14 1/4	14 3/8	14 1/2	14 5/8	14 3/4	14 7/8	15	15 1/8	15 1/4	15 3/8	15 1/2	15 5/8	15 3/4	15 7/8	16	16 1/8	16 1/4	16 3/8	16 1/2	16 5/8	16 3/4	16 7/8	17	17 1/8	17 1/4	17 3/8	17 1/2	17 5/8	17 3/4	17 7/8	18	18 1/8	18 1/4	18 3/8	18 1/2	18 5/8	18 3/4	18 7/8	19	19 1/8	19 1/4	19 3/8	19 1/2	19 5/8	19 3/4	19 7/8	20	20 1/8	20 1/4	20 3/8	20 1/2	20 5/8	20 3/4	20 7/8	21	21 1/8	21 1/4	21 3/8	21 1/2	21 5/8	21 3/4	21 7/8	22	22 1/8	22 1/4	22 3/8	22 1/2	22 5/8	22 3/4	22 7/8	23	23 1/8	23 1/4	23 3/8	23 1/2	23 5/8	23 3/4	23 7/8	24	24 1/8	24 1/4	24 3/8	24 1/2	24 5/8	24 3/4	24 7/8	25	25 1/8	25 1/4	25 3/8	25 1/2	25 5/8	25 3/4	25 7/8	26	26 1/8	26 1/4	26 3/8	26 1/2	26 5/8	26 3/4	26 7/8	27	27 1/8	27 1/4	27 3/8	27 1/2	27 5/8	27 3/4	27 7/8	28	28 1/8	28 1/4	28 3/8	28 1/2	28 5/8	28 3/4	28 7/8	29	29 1/8	29 1/4	29 3/8	29 1/2	29 5/8	29 3/4	29 7/8	30	30 1/8	30 1/4	30 3/8	30 1/2	30 5/8	30 3/4	30 7/8	31	31 1/8	31 1/4	31 3/8	31 1/2	31 5/8	31 3/4	31 7/8	32	32 1/8	32 1/4	32 3/8	32 1/2	32 5/8	32 3/4	32 7/8	33	33 1/8	33 1/4	33 3/8	33 1/2	33 5/8	33 3/4	33 7/8	34	34 1/8	34 1/4	34 3/8	34 1/2	34 5/8	34 3/4	34 7/8	35	35 1/8	35 1/4	35 3/8	35 1/2	35 5/8	35 3/4	35 7/8	36	36 1/8	36 1/4	36 3/8	36 1/2	36 5/8	36 3/4	36 7/8	37	37 1/8	37 1/4	37 3/8	37 1/2	37 5/8	37 3/4	37 7/8	38	38 1/8	38 1/4	38 3/8	38 1/2	38 5/8	38 3/4	38 7/8	39	39 1/8	39 1/4	39 3/8	39 1/2	39 5/8	39 3/4	39 7/8	40	40 1/8	40 1/4	40 3/8	40 1/2	40 5/8	40 3/4	40 7/8	41	41 1/8	41 1/4	41 3/8	41 1/2	41 5/8	41 3/4	41 7/8	42	42 1/8	42 1/4	42 3/8	42 1/2	42 5/8	42 3/4	42 7/8	43	43 1/8	43 1/4	43 3/8	43 1/2	43 5/8	43 3/4	43 7/8	44	44 1/8	44 1/4	44 3/8	44 1/2	44 5/8	44 3/4	44 7/8	45	45 1/8	45 1/4	45 3/8	45 1/2	45 5/8	45 3/4	45 7/8	46	46 1/8	46 1/4	46 3/8	46 1/2	46 5/8	46 3/4	46 7/8	47	47 1/8	47 1/4	47 3/8	47 1/2	47 5/8	47 3/4	47 7/8	48	48 1/8	48 1/4	48 3/8	48 1/2	48 5/8	48 3/4	48 7/8	49	49 1/8	49 1/4	49 3/8	49 1/2	49 5/8	49 3/4	49 7/8	50	50 1/8	50 1/4	50 3/8	50 1/2	50 5/8	50 3/4	50 7/8	51	51 1/8	51 1/4	51 3/8	51 1/2	51 5/8	51 3/4	51 7/8	52	52 1/8	52 1/4	52 3/8

### 3. Materiais

✓ Parafusos de alta resistência - ASTM A325 e A490  
(comprimentos em "in")

52	2 1/16			3 1/4			3 3/4		4	100	4 1/4			5 1/4		5 1/2		6	6 1/4
54	2 1/8			3 1/2		3 3/4		4		111	4 5/8			5 1/2		5 3/4		6	6 1/2
56	2 3/16	3		3 3/4						113	4 7/8	5 1/4						6 1/4	6 1/2
57	2 1/4			3 1/2				4		114	4 1/2			5 1/2		5 3/4		6 1/4	6 1/2
59	2 5/16								4 1/4	116	4 9/16							6 1/4	6 1/2
60	2 3/8			3 1/2		3 3/4		4		117	4 5/8			5 1/2		5 3/4		6	6 1/2
62	2 7/16	3 1/4							4 1/4	119	4 11/16	5 1/2						6	6 1/2
64	2 1/2			3 1/2		3 3/4		4 1/4		121	4 3/4			5 1/2		5 3/4		6	6 1/2
65	2 9/16								4 1/2	122	4 13/16							6	6 1/2
67	2 5/8			3 1/2		3 3/4		4	4 1/4	124	4 7/8			5 1/2		5 3/4		6	6 1/2
68	2 11/16	3 1/2							4 1/2	125	4 15/16	5 3/4						6	6 1/2
70	2 3/4			3 3/4		4			4 1/2	127	5			6		6 1/4		6 1/2	7
71	2 13/16								4 3/4	129	5 1/16							6 1/4	6 1/2
73	2 7/8			4		4 1/4		4 1/2		130	5 1/8			6		6 1/4		6 1/2	7
75	2 15/16	3 3/4							4 3/4	132	5 3/16	6						6 1/4	6 1/2
76	3			4		4 1/4		4 3/4		133	5 1/4			6 1/4		6 1/2		7	7 1/4
78	3 1/16								5	135	5 5/16							7	7 1/4

\*Bolt lengths must be specified in inches for ASTM A325 and A490 bolts.  
 \*\*Grip is thickness of material to be connected exclusive of washers.  
 For each flat washer, add 5 mm (3/16-inch) to grip.  
 For each beveled washer, add 8 mm (5/16-inch) to grip.

### 3. Materiais

✓ Parafusos de alta resistência - ASTM A325 e A490  
(peso aprox. em lb/1000un)

Length Under Head Inches	Diameter of Bolt, Inches									
	1/2	5/8	3/4	7/8	1	1 1/8	1 1/4	1 3/8	1 1/2	1 3/4
1 1/2	19.2	33.1	52.2	78.0	109	148	197	261	333	
1 3/4	20.5	35.3	55.3	81.9	114	154	205	261	333	
2	21.9	37.4	58.4	86.1	119	160	212	270	344	
2 1/4	23.3	39.8	61.6	90.3	124	167	220	279	355	
2 1/2	24.7	41.7	64.7	94.6	130	174	229	290	366	
2 3/4	26.1	43.9	67.8	98.8	135	181	237	300	379	
3	27.4	46.1	70.9	103	141	188	246	310	391	
3 1/4	28.8	48.2	74.0	107	146	195	255	321	403	
3 1/2	30.2	50.4	77.1	111	151	202	263	332	416	
3 3/4	31.6	52.5	80.2	116	157	209	272	342	428	
4	33.0	54.7	83.3	120	162	216	280	353	441	
4 1/4	34.3	56.9	86.4	124	168	223	289	363	453	
4 1/2	35.7	59.0	89.5	128	173	230	298	374	465	
4 3/4	37.1	61.2	92.7	133	179	237	306	384	478	
5	38.5	63.3	95.8	137	184	244	315	395	490	
5 1/4	39.9	65.5	98.9	141	190	251	324	405	503	
5 1/2	41.2	67.7	102	146	196	258	332	416	515	
5 3/4	42.6	69.8	105	150	201	265	341	426	527	
6	44.0	71.9	108	154	207	272	349	437	540	
6 1/4	45.4	74.1	111	158	212	279	358	447	552	
6 1/2	46.8	76.3	114	163	218	286	367	458	565	
6 3/4	48.1	78.5	118	167	223	293	375	468	577	
7	49.5	80.6	121	171	229	300	384	479	589	

### 3. Materiais

✓ Parafusos de alta resistência - ASTM A325 e A490  
(peso aproximado em lb/1000un)

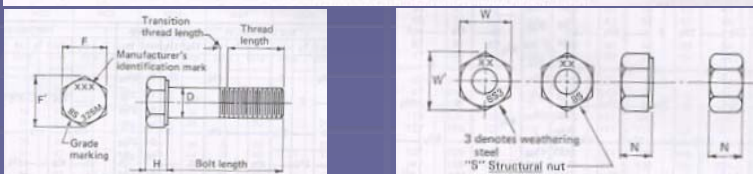
7	49.5	80.6	121	171	229	300	384	479	589
7 1/4	50.9	82.8	124	175	234	307	392	489	602
7 1/2	52.3	84.9	127	179	240	314	401	500	614
7 3/4	53.6	87.1	130	183	246	321	410	510	626
8	55.0	89.2	133	187	251	328	418	521	639
8 1/4	56.4	91.4	136	192	257	335	427	531	651
8 1/2	57.8	93.5	139	196	262	342	435	542	664
8 3/4	59.1	95.7	142	200	268	349	444	552	676
9	60.5	97.8	145	204	273	356	453	563	689
9 1/4	62.0	100	149	209	279	363	461	574	701
9 1/2	63.3	102	152	213	284	370	470	584	713
9 3/4	64.7	104	155	217	290	377	478	595	726
10	66.1	107	158	221	295	384	487	605	738
Per Inch Additional	5.5	8.6	12.4	16.9	22.1	28.0	34.4	42.5	49.7
Plain Round Washers	2.0	3.9	4.5	7.1	9.3	11.3	14.1	16.8	20.0
Bevelled Square Washers	24.9	23.8	22.6	21.0	19.2	34.0	31.6	—	—
Heavy Hex Nuts	6.54	11.9	19.3	29.7	42.5	59.2	78.6	102	131

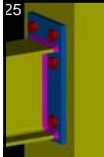
### 3. Materiais

✓ Parafusos de alta resistência - ISO (dimensões em "mm")

Nominal Bolt Size	Heavy Hex Bolt or Nut Dimension				Heavy Hex Nut Max. Height N	Max Head Height H	Heavy Hex Structural Bolt		Max. Transition Thread Length
	Across Flats F or W		Across Corners F' or W'				Thread Length*		
	Max.	Min.	Max.	Min.			Bolt Lengths <100	Bolt Lengths >100	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
M16 x 2	27.00	26.16	31.18	29.56	17.1	10.75	31	38	6.0
M20 x 2.5	34.00	33.00	39.26	37.29	20.7	13.40	36	43	7.5
M22 x 2.5	36.00	35.00	41.57	39.56	23.8	14.90	38	45	7.5
M24 x 3	41.00	40.00	47.34	45.20	24.2	15.90	41	48	9.0
M27 x 3	46.00	45.00	53.12	50.85	27.6	17.90	44	51	9.0
M30 x 3.5	50.00	49.00	57.74	55.37	30.7	19.75	49	56	10.5
M36 x 4	60.00	58.80	69.28	66.44	36.6	23.85	56	63	12.0

\*Does not include transition thread length.  
Bolt dimensions conform to those listed in ANSI B18.2.3.7M-1979 "Metric Heavy Hex Structural Bolts", and the nut dimensions conform to those listed in CSA Standard B18.2.4.6-M1980 "Metric Heavy Hex Nuts".  
\*\* Strength requirements are based on ASTM Specifications A325M and A490M. See page 3-5.

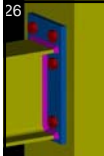




### 3. Materiais

✓ Parafusos de alta resistência - ISO (comprimentos em “mm”)

Nominal Bolt Size	M16		M20		M22		M24		M27		M30		M36	
	Min. Grip	Max. Grip	Min. Grip	Max. Grip	Min. Grip	Max. Grip	Min. Grip	Max. Grip	Min. Grip	Max. Grip	Min. Grip	Max. Grip	Min. Grip	Max. Grip
45	14	26	23		20									
50	19	31	24	28	25									
55	24	36	19	32	17	23								
60	29	41	24	37	22	34	19	34						
65	34	46	29	42	27	39	24	39	21	35		32		
70	39	51	34	47	32	44	29	44	26	40	21	37		31
75	44	56	39	52	37	49	34	49	31	45	26	42		36
80	49	61	44	57	42	54	39	54	36	50	31	47	24	41
85	54	66	49	62	47	59	44	59	41	55	36	52	29	46



### 3. Materiais

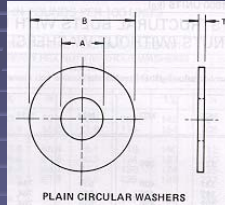
✓ Parafusos de alta resistência – ISO  
(peso aproximado em kg/1000un)

Bolt Length	Bolt Size (number following the letter M is the nominal bolt diameter in millimetres)						
	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
40	170						
45	177	321	396				
50	184	331	409	539	744		
55	191	342	423	554	764		
60	198	353	438	570	784	1000	
65	204	364	449	586	804	1030	
70	211	375	462	601	824	1050	1710
75	218	386	476	617	845	1000	1750
80	226	397	489	632	865	1100	1780
85	232	407	502	648	885	1120	1820
90	239	418	515	664	906	1150	1850
95	246	429	529	679	925	1170	1890
100	253	440	542	695	945	1200	1920
110	267	462	569	726	985	1250	2000
120	281	483	595	757	1020	1300	2070
130	295	505	622	788	1070	1350	2140
140	309	527	648	820	1110	1400	2210
150	322	548	675	851	1150	1440	2260
160	336	570	701	882	1190	1490	2330
170	350	592	728	913	1230	1540	2400
180	364	613	754	945	1270	1590	2460
190	378	635	781	976	1310	1640	2520
Extra per 10 mm	13.9	21.7	26.5	31.2	40.1	49.2	71.3
Mass of Extra Heavy Hex Nuts	61.0	118	145	201	286	371	635
Mass of Plain Washers	18	27	33	45	57	66	100
Mass of Bevel Washers	101	91	85	78	154	142	115

\*Computed theoretical mass using a steel density of 7.850 kg/m<sup>3</sup>

### 3. Materiais

✓ Arruelas Planas – (dimensões em mm)

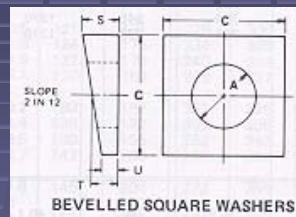


Boa dureza – produzidas com material semelhante ao dos parafusos

Metric Bolt Size	B		A		T	
	Outside Diameter		Hole Diameter		Thickness	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
M16 x 2	34.0	32.4	18.4	18.0	4.6	3.1
M20 x 2.5	41.0	39.4	22.5	22.0	4.6	3.1
M22 x 2.5	44.0	42.4	24.5	24.0	4.6	3.4
M24 x 3	50.0	48.4	26.5	26.0	4.6	3.4
M27 x 3	56.0	54.1	30.5	30.0	4.6	3.4
M30 x 3.5	60.0	58.1	33.5	33.0	4.6	3.4
M36 x 4	72.0	70.1	39.5	39.0	4.6	3.4

### 3. Materiais

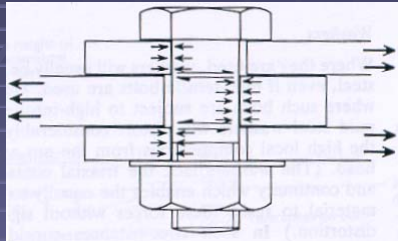
✓ Arruelas Biseladas – (dimensões em mm)



Metric Bolt Size	C		A		S	T	U
	Width		Hole Diameter		Thick Side ±0.5	Thickness	
	Max	Min	Max	Min		Mean Nom.	Thin Side ± 0.5
M16 x 2	45.0	43.0	18.4	18.0	11.7	8	4.3
M20 x 2.5	45.0	43.0	22.5	22.0	11.7	8	4.3
M22 x 2.5	45.0	43.0	24.5	24.0	11.7	8	4.3
M24 x 3	45.0	43.0	26.5	26.0	11.7	8	4.3
M27 x 3	59.0	57.0	30.5	30.0	12.8	8	3.2
M30 x 3.5	59.0	57.0	33.5	33.0	12.8	8	3.2
M36 x 4	59.0	57.0	39.5	39.0	12.8	8	3.2

### 3. Materiais

#### ✓ Propriedades Mecânicas de Parafusos (Eurocode)



Ligações por corte simples –  
esmagamento do parafuso ("bearing")

**Table 3.2 Mechanical properties of nuts for structural bearing bolts**

Strength grade designation	4	8	12
Proof load stress	kgf/mm <sup>2</sup> 40	80	120
Vickers hardness (max.)	N/mm <sup>2</sup> 392	785	1177
	310	310	370

**Table 3.1 Mechanical properties of structural bearing bolts**

Mechanical property	Strength grade designation			
	4.6	8.8	10.9	12.9
Tensile strength	(min.) kgf/mm <sup>2</sup>	40	80	100
	N/mm <sup>2</sup>	392	785	981
Vickers hardness	(min.) kgf/mm <sup>2</sup>	55	100	120
	N/mm <sup>2</sup>	539	981	1177
Yield stress	(min.) kgf/mm <sup>2</sup>	110	225	280
	N/mm <sup>2</sup>	170	300	370
Stress at permanent set limit	(min.) kgf/mm <sup>2</sup>	24	–	–
	N/mm <sup>2</sup>	235	–	–
R <sub>m</sub>	(min.) kgf/mm <sup>2</sup>	–	64	90
	N/mm <sup>2</sup>	–	628	883
Stress at proof load	kgf/mm <sup>2</sup>	22.6	58.2	79.2
	N/mm <sup>2</sup>	222	571	777
Elongation after fracture (min %)	(min.)	25	12	9
		8		
Charpy impact strength	(min.) kgf/cm <sup>2</sup>	–	6	4
	ft lbf	–	22	14
				3
				11



### 3. Materiais

#### ✓ Propriedades Mecânicas de Porcas (Eurocode)

**Table 3.3 Bolt, nut and washer geometry and identifying marks**

ISO	(M12)	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30	(M33)	M36
Metric coarse threads									
Pitch (mm)	1.75	2.00	2.50	2.50	3.00	3.00	3.50	3.50	4.00
Tensile stress area (mm <sup>2</sup> )	84.3	157	245	303	353	459	561	694	817
Basic effective diameter (Pitch diameter) (mm)	10.863	14.701	18.376	20.376	22.051	25.051	27.727	30.727	33.402
Length of threads									
BS 4190 Up to and inc. 125 mm	30	38	46	50	54	60	66	72	78
and Over 125 mm up to and inc. 200 mm	36	44	52	56	60	66	72	78	84
BS 3692 Over 200 mm	49	57	65	69	73	79	85	91	97
BS 4190 Up to and inc. 125 mm (Short thread length)	24	30	33	36	40	40	40	40	40
(Short thread lengths may also be available for BS 3692 bolts – to special order)									
Dimensions									
Max. width across flats	19.0	24.0	30.0	32.0	36.0	41.0	46.0	50.0	55.0
Max. width across corners	21.9	27.7	34.6	36.9	41.6	47.3	53.1	57.7	63.5
Nominal head depth of bolts	8.0	10.0	13.0	14.0	15.0	17.0	19.0	21.0	23.0
Nominal depth of nuts	10.0	13.0	16.0	18.0	19.0	22.0	24.0	26.0	29.0
Nominal washer thickness	2.5	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0
Washer ext. diameter	24	30	37	39	44	50	56	60	66
Washer int. diameter	14	18	22	24	26	30	32	36	39

**Table 3.4 Manufacturers' recommended and preferred range of bolt sizes**

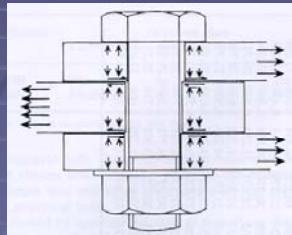
Dia.	Length (mm)																									
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	90	100	110	120	130	140	150	160	180	200	220	250	300	
M12	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
M16	s	s	s	sp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp
M20	s	s	s	s	sp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp
M24						s	p	xsp	p	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp	xsp

- ✓ Arruelas simples
- ✓ Em Owens
  - Passo
  - Tolerâncias
  - Aperto

31

### 3. Materiais

#### ✓ Propriedades Mecânicas de Parafusos (Eurocode)



Ligações por atrito

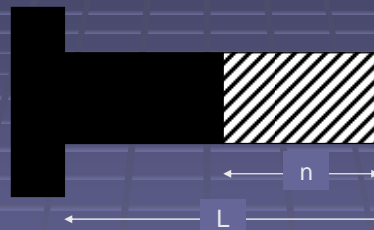
Table 3.8 Mechanical properties for HSFG bolts, nuts and washers

Mechanical property	General grade ≠ M24	General grade > M24	Higher grade
<i>Bolts</i>			
Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	827	725	981
Vickers min.	260	225	280
hardness max.	330	292	380/370
Stress at permanent set limit $R_{0.2}$ (N/mm <sup>2</sup> )	635	558	882
Stress under proof load (N/mm <sup>2</sup> )	587	512	776
Elongation after fracture (min. %)	12	12	9
<i>Nuts</i>			
Proof load stress (N/mm <sup>2</sup> )	1000	1000	1176
Vickers min.	175	175	258
hardness max.	310	310	370
<i>Washers</i>			
Vickers min.	362	362	362
hardness max.	440	440	440

32

### 3. Materiais

#### ✓ Comprimentos mínimos de rosca de parafusos



- ✓  $L \leq 125\text{mm}$        $n = 2D + 6\text{ mm}$
- ✓  $125 < L \leq 200\text{mm}$        $n = 2D + 12\text{ mm}$
- ✓  $L > 200\text{mm}$        $n = 2D + 15\text{ mm}$



33



## 4. Propriedades Geométricas

✓ Furação - Eurocode

d (mm)	Furo padrão (mm)	Furo maior (mm)	Furo pouco alongado (mm)	Furo muito alongado (mm)
$\leq 22$	$d + 2$	$d + 5$	$(d + 2) \times (d + 6)$	$(d + 2) \times 2.5d$
24	27	30	27 x 32	27 x 60
$\geq 27$	$d + 3$	$d + 8$	$(d + 3) \times (d + 10)$	$(d + 3) \times 2.5d$

34



## 4. Propriedades Geométricas

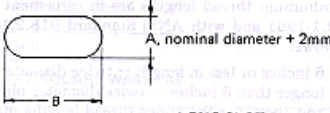
✓ Furação Padrão – Canadense

- Furação → puncionamento ou broca;
- Diâmetro de um furo não deve exceder em 2mm o diâmetro do parafuso igual a 20mm;
- Para diâmetros > 22mm, o diâmetro do furo deve exceder em 4mm o diâmetro do parafuso;
- Para diâmetros > 27mm, o diâmetro do furo deve exceder em 8mm o diâmetro do parafuso;
- Arruelas de alta resistência devem ser usadas adjacentes a furos alongados.

## 4. Propriedades Geométricas

✓ Furação Alongada – Norma Canadense

**Slotted Hole Dimensions**  
See Clause 23.3.2, S16.1-M regarding use provisions.



A, nominal diameter + 2mm

SHORT SLOT DIMENSIONS			LONG SLOT DIMENSIONS		
Nominal Bolt Diameter	Slot Dimensions		Nominal Bolt Diameter	Slot Dimensions	
	Width, A	Length, B		Width, A	Length, B
mm	mm	mm	mm	mm	mm
16	18	22	16	18	40
20	22	26	20	22	50
22	24	28	22	24	55
24	26	32	24	26	60
27	29	37	27	29	67.5
30	32	40	30	32	75
36	38	46	36	38	90

## 5. Protensão de Parafusos

✓ Garantia de protensão mínima nos parafusos de alta resistência

- Rotação da porca
- Controle do torque aplicado
- Indicador de tração
- Indicadores de carga

37



## 5. Protensão de Parafusos

✓ Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência

- Protensão mínima – NBR8800 (70%  $P_u$ )

Parafusos		ANSI / ASTM		ISO	
ANSI/ASTM	ISO	A325	A490	8.8	10.9
-	M12	-	-	47	59
1/2"	-	53	66	-	-
5/8"	-	85	106	-	-
-	M16	-	-	88	100
3/4"	-	125	156	-	-
-	M20	-	-	137	171
7/8"	-	175	216	-	-
-	M24	-	-	197	247
1"	-	227	283	-	-
1 1/8"	-	250	357	-	-
1 1/4"	-	317	453	-	-
-	M36	-	-	457	572
1 1/2"	-	460	659	-	-

38



## 5. Protensão de Parafusos

✓ Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência

- Protensão mínima – Canadense

Bolt diameter		Minimum bolt tension*	
		kN	
Inch	mm	A325M and A490M and A325 Bolts	A490 Bolts
1/2	-	53	67
5/8	-	85	107
-	16	91	114
3/4	-	125	157
-	20	142	178
7/8	-	174	218
-	22	176	220
-	24	205	257
1	-	227	285
-	27	267	334
1-1/8	-	249	356
-	30	326	408
1-1/4	-	316	454
1-3/8	-	378	538
-	36	475	595
1-1/2	-	458	658



## 5. Protensão de Parafusos

✓ Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência

### ■ Protensão mínima – Eurocode 3

✓ For preloaded bolts in accordance with 3.1.2(1) the design preload,  $F_{p,Cd}$ , to be used in design calculations should be taken as:

$$F_{p,Cd} = 0,7 f_{ub} A_s / \gamma_{M7} \quad (3.1)$$

✓ When the preload is not used in design calculations the guidance given in the note to Table 3.2 should be followed.

## 5. Protensão de Parafusos

✓ Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência

### ■ Rotação da porca

✓ O método de aperto pela rotação da porca é o mais comum e consiste em controlar a elongação do parafuso através do número de voltas da porca após este ter sido apertado o suficiente para que todas as partes estejam em pleno contato;

✓ Esta condição de contato das partes é chamada de condição de pré-torque e é definida na NBR-8800:

- *“o aperto obtido após poucos impactos aplicados por uma chave de impacto, ou pelo esforço máximo aplicado por um indivíduo utilizando uma chave de porca”.*

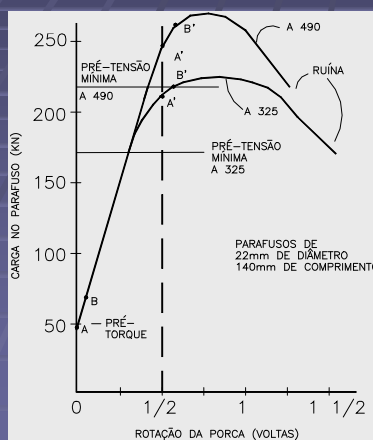
## 5. Protensão de Parafusos

✓ Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência

NBR8800 / Canadense	Disposição das faces externas das partes parafusadas		
Comprimento do parafuso (medido da parte inferior da cabeça a extremidade)	Ambas as faces normais ao eixo do parafuso	Uma das faces normal ao eixo do parafuso e a outra face inclinada não mais que 1:20 (sem arruelas biseladas)	Ambas as faces inclinadas em relação ao eixo do parafuso, não mais que 1:20 (sem arruelas biseladas)
Até 4 diâmetros inclusive	1/3 de volta	1/2 de volta	2/3 de volta
Acima de 4 diâmetros até no máximo 8 diâmetros inclusive	1/2 de volta	2/3 de volta	5/6 de volta
Acima de 8 diâmetros até no máximo 12 diâmetros	2/3 de volta	5/6 de volta	1 volta

## 5. Protensão de Parafusos

✓ Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência



✓ Reaperto → Folga

✓ Ao se aplicar a rotação da porca exigida, (1/2 volta), a carga no parafuso ultrapassa com folga a pré-tensão mínima

✓ A exata determinação da condição de pré-torque não é importante, ou seja, não importa a condição de pré-torque A ou B

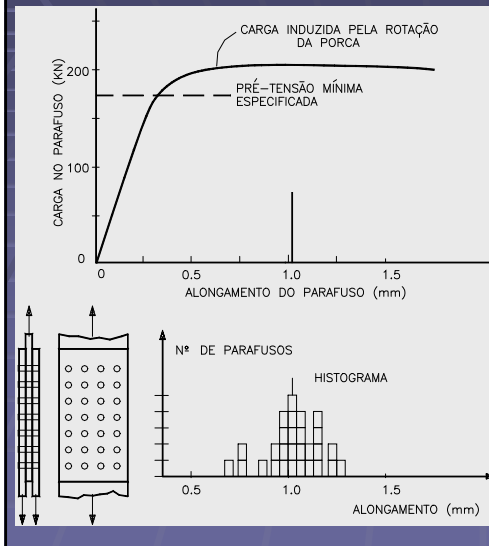
✓ O resultado da aplicação do método é satisfatório para os dois casos, A' ou B'

✓ A ductilidade dos parafusos garante a segurança do método contra a ruína do parafuso

43

## 5. Protensão de Parafusos

✓ Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência



- ✓ Instrumentação de uma ligação com 28 parafusos
- ✓ Apesar de variações na deformação dos parafusos, (oriunda de diferentes condições de pré-torque), comportamento quase horizontal da curva → pequenas variações de pré-tensão
- ✓ Ductilidade → Segurança na ruína

44

## 5. Protensão de Parafusos

✓ Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência

### ■ Indicador de tração

- ✓ O método de aperto pelo uso do indicador direto de tração consiste em apertar os parafusos com uma chave que indica diretamente a tensão no parafuso
- ✓ A tração indicada na chave é obtida através de uma correlação com a medida de torque.



## 5. Protensão de Parafusos

✓ Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência

- Controle do torque
  - ✓ Testes de laboratório e inspeções de campo mostram uma variação de até 30% na protensão de parafusos instalados
  - ✓ NBR-8800 só permite sua utilização “desde que possa ficar demonstrado por um método preciso de medida direta” que o parafuso obteve a protensão exigida.
  - ✓ 85 a 90% do torque → fricção na rosca
  - ✓ Calibração (1 parafuso por lote/série) → torque aplicado → protensão gerada
  - ✓ Variação → cuidadoso 15%
  - ✓ Capacidade elástica do sistema dificulta o controle

## 5. Protensão de Parafusos

✓ Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência

- Controle do torque + rotação da porca
  - ✓ Pré-torque → torque controlado → sequencia
  - ✓ Protensão final → rotação da porca

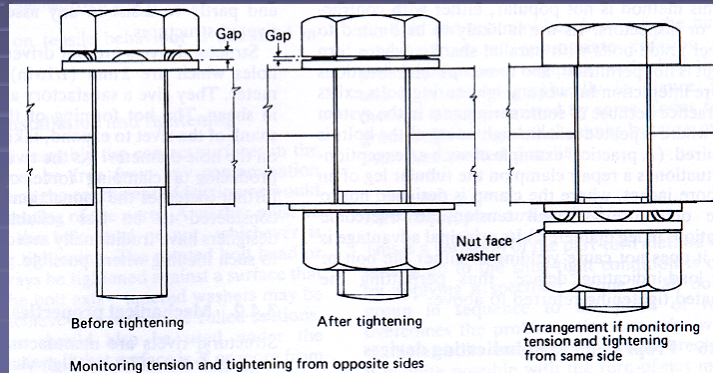
47

# 5. Protensão de Parafusos

✓ Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência

■ Indicadores de carga

✓ Arruelas



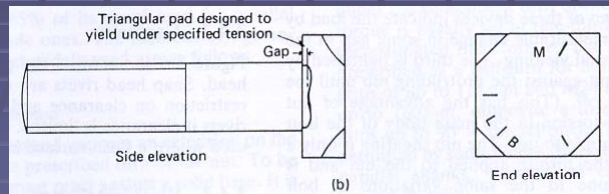
48

# 5. Protensão de Parafusos

✓ Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência

■ Indicadores de carga

✓ Cabeça do parafuso

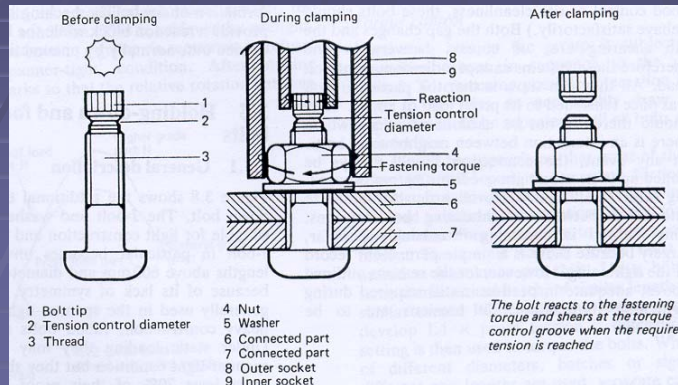




## 5. Protensão de Parafusos

✓ Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência

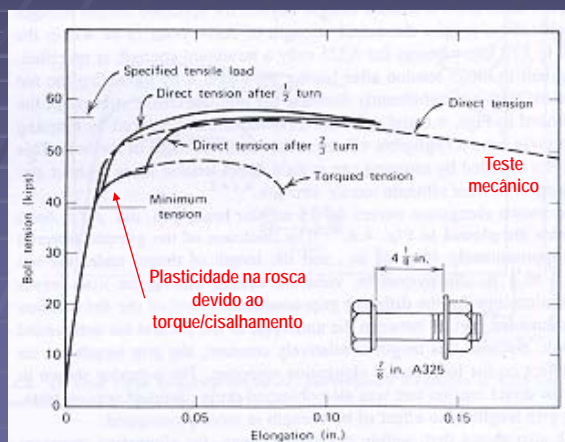
- Indicadores de carga
  - ✓ Parafuso especial



## 5. Protensão de Parafusos

✓ Garantia de protensão nos parafusos de alta resistência

- Comparação dos três métodos

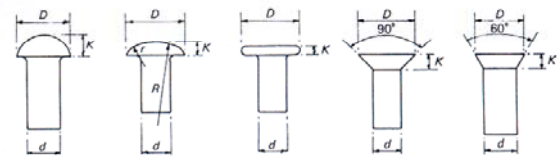


✓ Variações no comportamento ocorrem devido às tensões adicionais provocadas pelo torque aplicado ao parafuso

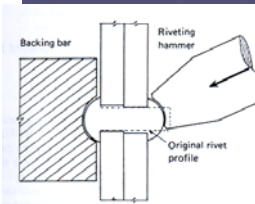
✓ Escoamento prematuro da superfície externa do parafuso

## 6. Rebites

✓ Manutenção de estruturas existentes

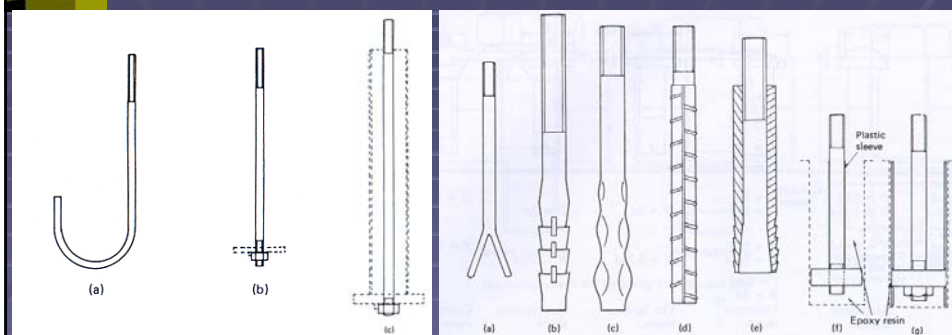


Head diameter	$D = 1.6d$	$D = 2d$	$D = 2d$	$D = 2d$	$D = 1.5d$
Hot forged	$D = 1.75d$	$D = 2d$	$D = 2d$	$D = 2d$	$D = 1.5d$
Cold forged					
Head depth	$K = 0.65d$	$K = 0.4d$	$K = 0.25d$	$K = 0.5d$	$K = 0.43d$
Hot forged	$K = 0.6d$	$K = 0.4d$			
Cold forged					
Radii		$r = 0.6d$ $R = 3d$			
	Snap head rivets	Universal rivets	Flat head rivets	Countersunk rivets	Countersunk rivets



- Furação com 2mm de folga → formação da cabeça a quente → expansão → diminuir a folga no furo
- Resfriamento provoca protensão nos parafusos → maior rigidez da ligação
- Pouco confiáveis à tração

## 6. Chumbadores



Pré-instalados

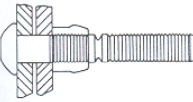
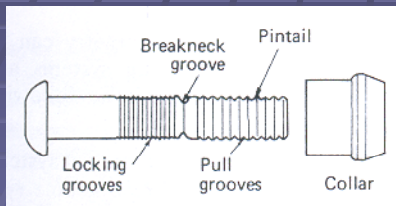
- J → construções leves com comprimento máximo de 600 mm e diâmetro menor que 24mm
- Tubados → cargas maiores → aplicação de protensão (70%  $P_u$ )

Instalados em furos feitos em estruturas prontas

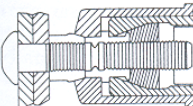
- (a) ... (d) → instalados em furos feitos no concreto → resina epóxi ou massa de cimento
- (e) → expansão
- (f) e (g) → maiores cargas (parafusos de fundação) → tensão e cisalhamento

## 7. Tipos Especiais de Parafusos

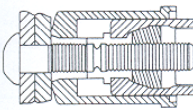
### ■ Tipo "Huck"



Pin inserted, collar placed over pintail



Special tensioning tool pulls pin, reacting off collar, thus pulling plates together



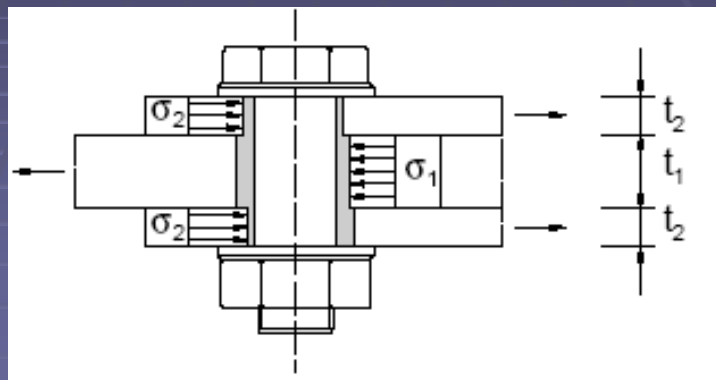
Under increasing tension tool anvil swages collar onto locking grooves



Tool continues to pull until pin breaks at the breakneck groove and is ejected

## 7. Tipos Especiais de Parafusos

### ■ Preenchidos com resina

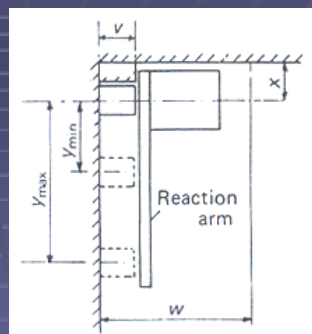
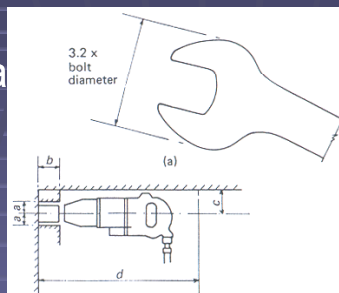


## 8. Critérios de Inspeção

- Parafusos
  - ✓ Tração simples do parafuso
  - ✓ Tração simples de pedaços de parafusos →  $F_y \rightarrow 0,2\%$
  - ✓ Dureza
  - ✓ Teste de som → cabeça do parafuso
- Porcas
  - ✓ Carga última
  - ✓ Dureza
- Roscas
  - ✓ Gráfico de sombras → magnificação das roscas
  - ✓ Padrão de rosca fixo

## 9. Distâncias Mínimas de Aperto

- Norma Inglesa

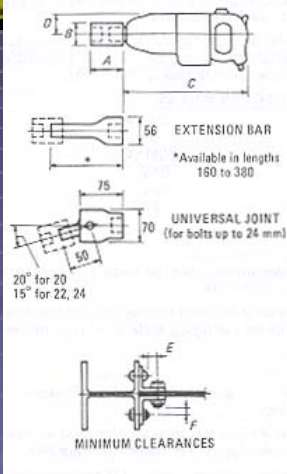


Parafuso	a	b	c	d (força)
M12	23	27	30	500
M16	30	46	60	500
M20	30	46	60	600
M24	36	65	60	600
M30	49	78	70	700
M36	49	97	100	700

Parafuso	v	w	x	min. y até máx. y <sub>1</sub>
M24	65	250 500	60	82 210
M30	78	270 600	65	89 260
M36	97	300 600	65	89 260

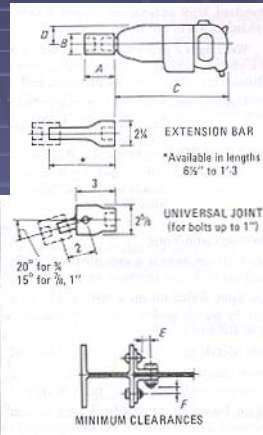
# 9. Distâncias Mínimas de Aperto

## ■ Norma Canadense



	Size	C	D
Light Wrenches	16 to 24	337 to 356	54
Heavy Wrenches	24 to 36	375 to 438	64

Bolt Size	Sockets		Min. Clear.	
	A	B	E	F
16	80	45	25	28
20	85	54	30	34
22	90	57	32	36
24	95	60	34	38
27	100	70	38	42
30	110	75	41	45
36	130	90	48	52



	Size	C	D
Light Wrenches	5/8 to 1	1-1 1/4 to 1-2	2 1/8
Heavy Wrenches	1 to 1 1/2	1-2 1/4 to 1-5 1/4	2 1/2

Bolt Size	Sockets		Min. Clear.	
	A	B	E	F
5/8	2-5/8	1-3/4	1-1/8	1-1/4
3/4	3	2-1/4	1-1/4	1-3/8
7/8	3-1/4	2-1/2	1-5/16	1-7/16
1	3-1/2	2-5/8	1-7/16	1-9/16
1-1/8	3-3/4	2-7/8	1-9/16	1-11/16
1-1/4	4	3-1/8	1-5/8	1-3/4
1-3/8	4-1/4	3-1/4	2-1/8	2-1/4
1-1/2	4-3/8	4-1/4		

Métrico

Imperial