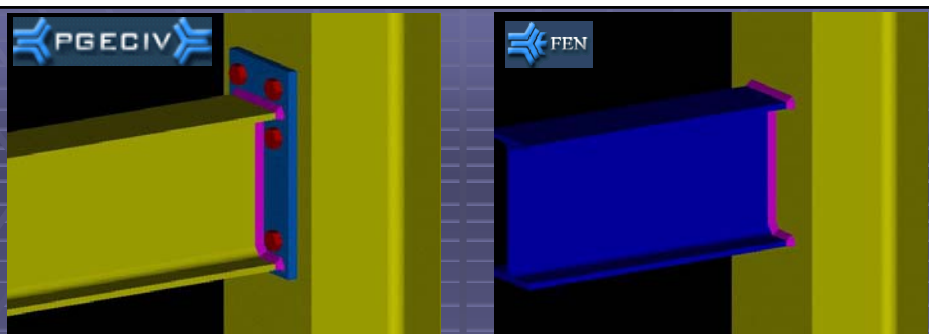




Ligações Aparafusadas

Segunda Parte



Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

PGECIV - Mestrado Acadêmico

Faculdade de Engenharia – FEN/UERJ

Disciplina: Tópicos Especiais em Projeto (Ligações em Aço e Mistras)

Professor: Pedro Velasco

2

10. Comportamento Estrutural

- Cisalhamento
- Tração

M

T

C

Viga "I"

Pilar "H"

"T" soldado na mesa da viga

3

PGECIV

FEN

10. Comportamento Estrutural

- Tração e cisalhamento combinados

Diagrama de um sistema estrutural. Um pilar "H" (vertical) está conectado a um perfil "T" (inclinado) por dois perfis "U". O perfil "T" está submetido a forças T (tração), F (cisalhamento) e C (compressão). O perfil "U" está conectado ao perfil "T" e ao pilar "H".

4

PGECIV

FEN

10. Comportamento Estrutural

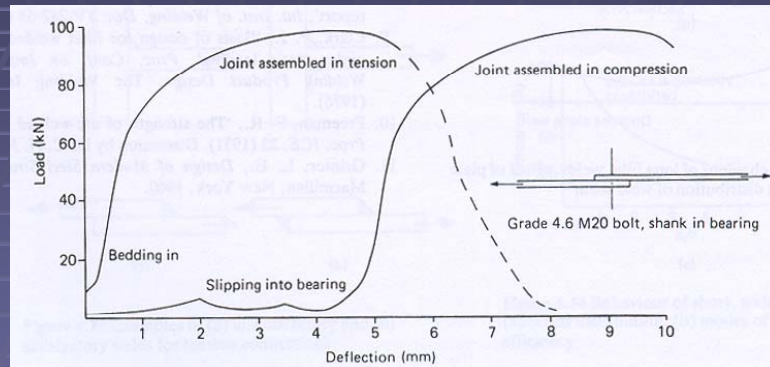
- Resistência ao Cisalhamento

- ✓ O cisalhamento é a forma mais comum de solicitação de um parafuso e pode ser resistida por parafusos de alta resistência tanto por atrito quanto por corte.
- ✓ Parafusos comuns por não possuírem uma protensão confiável são supostos não resistir por atrito, resistindo apenas ao corte.

Diagramas de resistência ao cisalhamento em parafusos. (a) atrito: mostra um parafuso com forças $P/2$ e P . (b) corte: mostra um parafuso com forças $P/2$ e P . (c) corte: mostra um parafuso com forças P e $P/2$. (d) corte: mostra um parafuso com forças $P/2$ e $P/2$.

10. Comportamento Estrutural

■ Corte simples *versus* atrito (sem atrito)

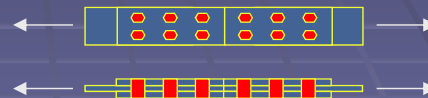
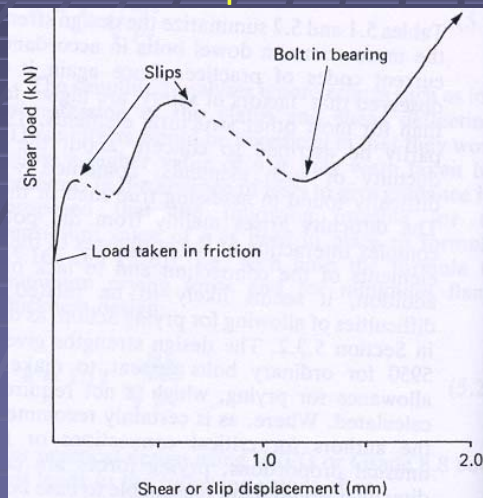


■ Plastificação

- ✓ A_n da placa (tração e flexão)
- ✓ Plano de cisalhamento do parafuso
- ✓ Contato com a borda do furo (placa + parafuso)

10. Comportamento Estrutural

■ Corte simples *versus* atrito (com atrito)






10. Comportamento Estrutural

- Corte simples (tração na seção líquida)
 - ✓ Distância às bordas perto dos valores mínimos
 - ✓ Ruína
 - ✓ Escoamento da seção líquida tracionada da placa



$m=1$



$m=2$

Flexão adicional
diminui a resistência
 $0,9 \times A_n \times f_y$



$m=2$



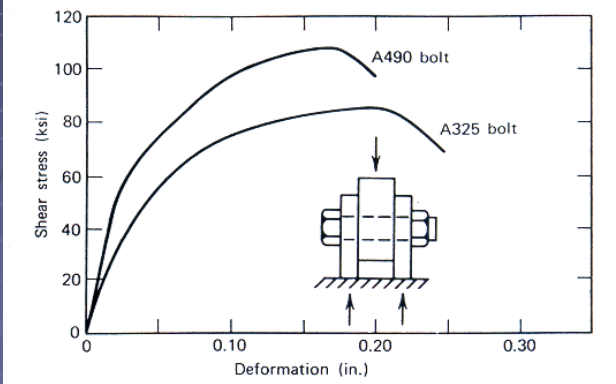
$m=2$

2 planos de corte
 $1,05 \times A_n \times f_y$



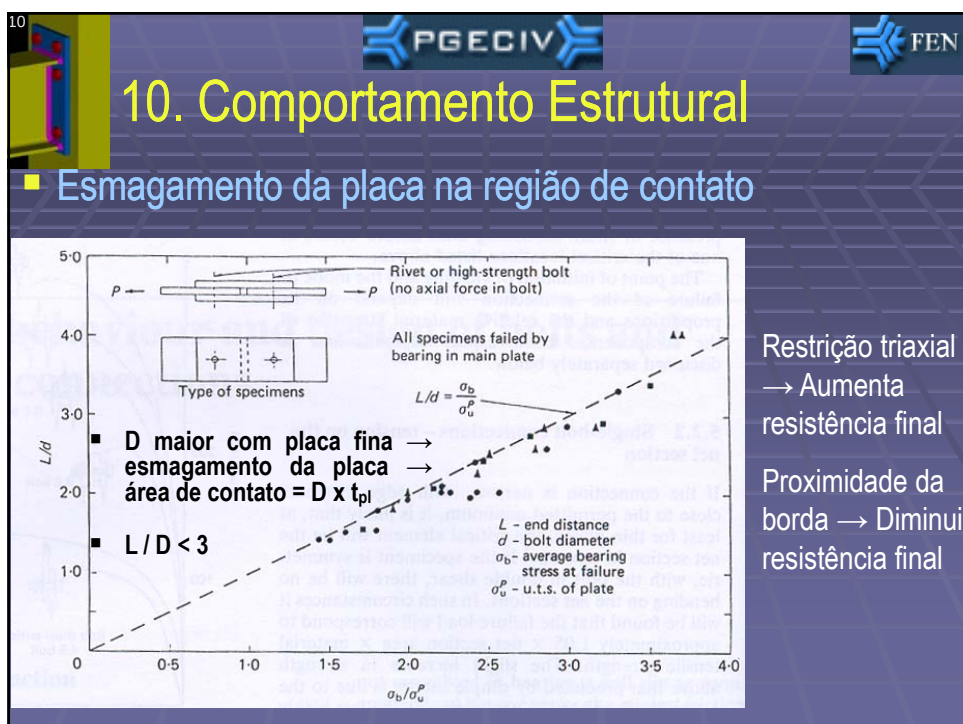
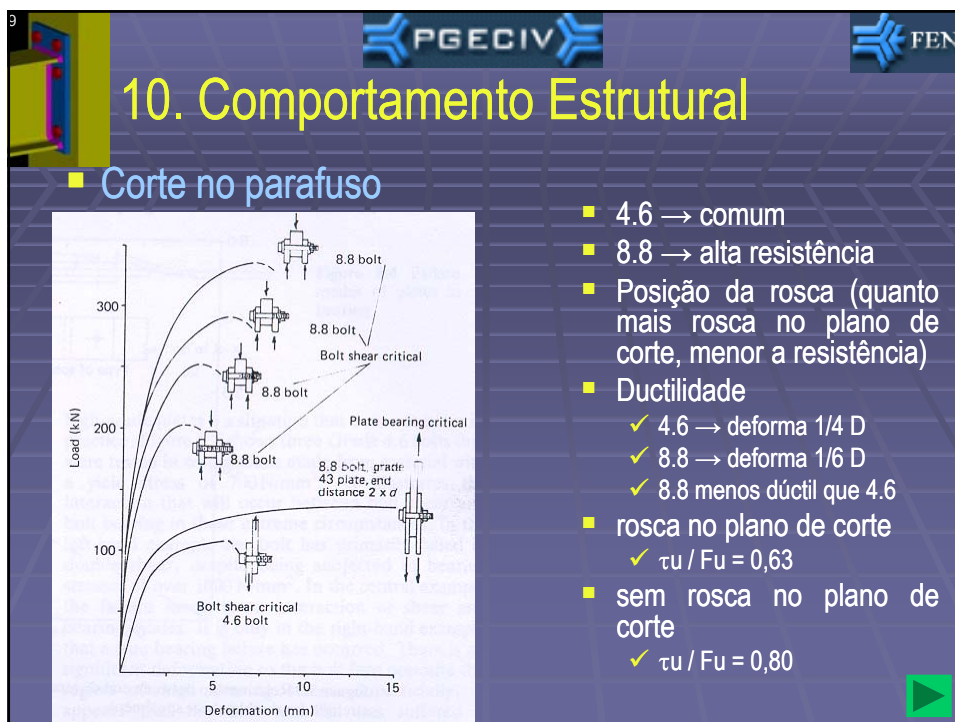

10. Comportamento Estrutural

- Corte no parafuso (Fisher)



	Fy (MPa)	Fu (MPa)
A325	635	825
A490	895	1035

- Testes em laboratório → tensão nominal (F/A) no plano de corte na ruína de um parafuso é da ordem de 60% da tensão última a tração F_u

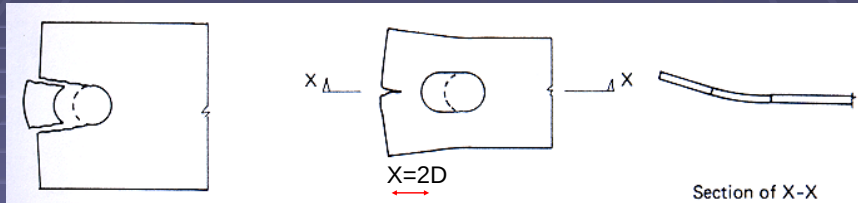


11



10. Comportamento Estrutural

Falhas por esmagamento da placa na borda do furo



- Cisalhamento (placas largas)
- Escoamento da seção líquida (placas curtas)
- $\sigma_{ult} = 1,9 F_y$
- Flexão (1 plano de corte)
- $\sigma_{ult} = 1,75 F_y$
- Roscas → não diminuem a resistência ao esmagamento da chapa
- Deformam as placas provocando sulcos
- Aumentam a resistência final da placa

12



10. Comportamento Estrutural

Distâncias mínimas de furos - Canadense

USUAL GAUGES for Angles, millimetres

Notes:
Those values shown above the dashed line allow for full socket wrench clearance requirements.
The bolt sizes shown in italics to the left of g and g₁ are the maximum bolt sizes permissible for the dimensions shown.
g₂ ≥ 2-2/3 bolt diameters.

Gauge	g	g ₁	g ₂
200	M36	115	M30
150	M36	90	M24
125	M30	80	M20
100	M27	65	
90	M24	60	
80	M24	50	
75	M24	45	
65	M24	35	
60	M24	30	
55	M22	27	
50	M18	28	
45	M18	23	

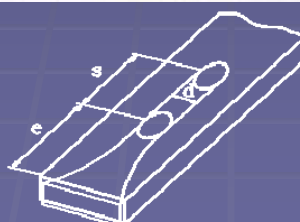
Guilhotina ou serra

MINIMUM EDGE DISTANCE FOR BOLT HOLES

Bolt Diameter mm	At sheared Edge mm	At Rolled or Gas Cut Edge † mm
16	28	22
20	34	26
22	38	28
24	42	30
27	48	34
30	52	38
36	64	46
over 36	1½ x Diameter	1½ x Diameter

† Gas cut edges shall be smooth and free from notches. Edge distance in this column may be decreased 3 mm when hole is at a point where computed stress under factored loads is not more than 0.3 of the yield stress.

Laminado ou maçarico



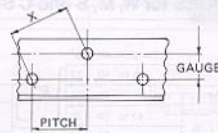
13



10. Comportamento Estrutural

■ Distâncias mínimas de furos - Canadense

FASTENERS — MISCELLANEOUS DETAILING DATA
Diagonal Distance for Staggered Fasteners



Pitch mm	GAUGE, mm																			
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110		
5	25	30	35	40 <td>45</td> <td>50</td> <td>55</td> <td>60</td> <td>65</td> <td>70</td> <td>75</td> <td>80</td> <td>85</td> <td>90</td> <td>95</td> <td>100</td> <td>105</td> <td>110</td>	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110		
10	27	32	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	100	105	110		
15	29	34	38	43	47	52	57	62	67	72	76	81	86	91	96	101	106	111		
20	32	36	40	45	49	54	59	63	68	73	78	82	87	92	97	102	107	112		
25	35	39	43	47	51	56	60	65	70	74	79	84	89	93	98	103	108	113		
30	39	42	46	50	54	58	63	67	72	76	81	85	90	95	100	104	109	114		
35	43	46	49	53	57	61	65	69	74	78	83	87	92	97	101	106	111	115		
40	47	50	53	57	60	64	68	72	76	81	85	89	94	98	103	108	112	117		
45	51	54	57	60	64	67	71	75	79	83	87	92	96	101	105	110	114	119		
50	56	58	61	64	67	71	74	78	82	86	90	94	99	103	107	112	116	121		
55	60	63	65	68	71	74	78	81	85	89	93	97	101	105	110	114	119	123		
60	65	67	69	72	75	78	81	85	88	92	96	100	104	108	112	117	121	125		
65	70	72	74	76	79	82	85	88	92	96	99	103	107	111	115	119	123	128		
70	74	76	78	81	83	86	89	92	96	99	103	106	110	114	118	122	126	130		
75	79	81	83	85	87	90	93	96	99	103	106	110	113	117	121	125	129	133		
80	84	85	87	89	92	94	97	100	103	106	110	113	117	120	124	128	132	136		
85	89	90	92	94	96	99	101	104	107	110	113	117	120	124	127	131	135	139		
90	93	95	97	99	101	103	105	108	111	114	117	120	124	127	131	135	138	142		

14



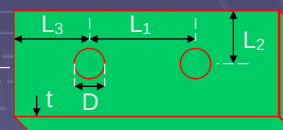
10. Comportamento Estrutural

■ Distâncias mínimas de furos - Canadense

USUAL GAUGES for W, M, S and C Shapes, Millimetres

Flange Width	g [†]	Flange Width	g [†]	Flange Width	g [†]
60 to 70	40	35 to 40	22	100	60
75 to 90	45	45 to 50	25	130 to 145	80
92 to 100	50	47 to 50	30	150 to 180	100
102 to 120	60	55	32	190 and up	130
130 to 145	80	57 to 60	35		
150 to 185	100	64 to 70	38		
190 to 200	130	73 to 80	45		
		85 to 92	60		
		95 to 110	65		

Depth of W or M column	g
60	50
100	70
150	90
200	110
250 to 350	130



- $L_1 > 2,7D \approx 3D$
- Distâncias máximas
 - ✓ $L_2, L_3 \leq 12t$ ou
 - $L_2, L_3 \leq 150\text{mm}$

† Holes usually drilled due to size of punch die block.
† Dependent on edge distance.

15



10. Comportamento Estrutural

■ Distâncias mínimas de furos - Canadense

Table 6
Minimum Edge Distance for Bolt Holes

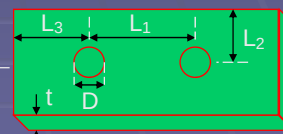
Bolt diameter		Minimum edge distance, mm	
Inch [*]	mm	At sheared edge	At rolled, sawn, or gas-cut edge †
5/8	16	28	22
3/4	20	32	25
7/8	22	34	26
1	24	38‡	28
1 1/8	27	42‡	30
1 1/4	30	44‡	32
1 1/2	36	48	34
1 3/4	44	51	38
2	51	52	38
2 1/4	57	57	41
2 1/2	64	64	46
Over 2 1/4	Over 36	1.75 x diameter	1.25 x diameter

^{*}ASTM Standards A325 and A490 are written in inch-pound units. Accordingly, bolt diameters are shown in inches for these bolts only.

†Gas-cut edges shall be smooth and free from notches. Edge distance in this column may be decreased by 3 mm when the hole is at a point where calculated stress under factored loads is not more than 0.3 of the yield stress.

‡At ends of beam-framing angles, this distance may be 32 mm.

- L_2 e L_3 mínimos
- 1 ou 2 parafusos na linha de ação da força
- L_2 e $L_3 > 1,5 D$



16

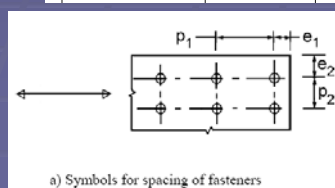


10. Comportamento Estrutural

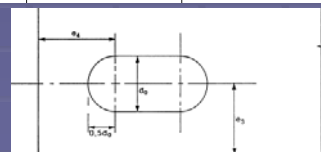
■ Distâncias mínimas de furos – Eurocode 3 pt. 1.8

Table 3.3: Minimum and maximum spacing, end and edge distances

Distances and spacings, see Figure 3.1	Minimum	Maximum ^{1) 2) 3)}		
		Structures made from steels conforming to EN 10025 except steels conforming to EN 10025-5		Structures made from steels conforming to EN 10025-5
		Steel exposed to the weather or other corrosive influences	Steel not exposed to the weather or other corrosive influences	Steel used unprotected
End distance e_1	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		The larger of $8t$ or 125 mm
Edge distance e_2	$1,2d_0$	$4t + 40$ mm		The larger of $8t$ or 125 mm
Distance e_3 in slotted holes	$1,5d_0$ ⁴⁾			
Distance e_4 in slotted holes	$1,5d_0$ ⁴⁾			



a) Symbols for spacing of fasteners

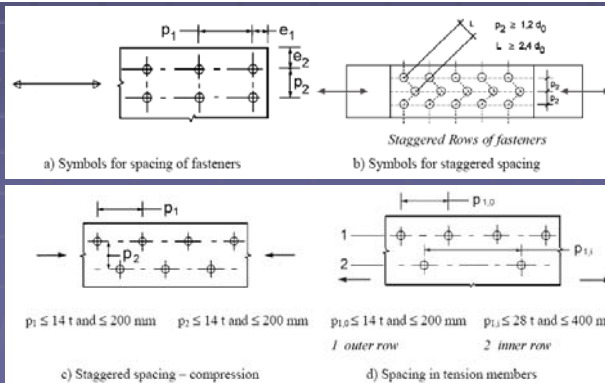


c) End and edge distances for slotted holes

10. Comportamento Estrutural

■ Distâncias mínimas de furos – Eurocode 3 pt. 1.8

Spacing p_1	$2,2d_0$	The smaller of $14t$ or 200 mm	The smaller of $14t$ or 200 mm	The smaller of $14t_{\min}$ or 175 mm
Spacing $p_{1,0}$		The smaller of $14t$ or 200 mm		
Spacing $p_{1,i}$		The smaller of $28t$ or 400 mm		
Spacing p_2 ⁵⁾	$2,4d_0$	The smaller of $14t$ or 200 mm	The smaller of $14t$ or 200 mm	The smaller of $14t_{\min}$ or 175 mm



10. Comportamento Estrutural

■ Distâncias mínimas de furos – Eurocode 3 pt. 1.8

- 1) Maximum values for spacings, edge and end distances are unlimited, except in the following cases:
 - for compression members in order to avoid local buckling and to prevent corrosion in exposed members and;
 - for exposed tension members to prevent corrosion.
- 2) The local buckling resistance of the plate in compression between the fasteners should be calculated according to EN 1993-1-1 using $0,6 p_1$ as buckling length. Local buckling between the fasteners need not to be checked if p_1/t is smaller than 9ϵ . The edge distance should not exceed the local buckling requirements for an outstand element in the compression members, see EN 1993-1-1. The end distance is not affected by this requirement.
 t is the thickness of the thinner outer connected part.
- 4) The dimensional limits for slotted holes are given in 2.8 Reference Standards: Group 7.
- 5) For staggered rows of fasteners a minimum line spacing of $p_2 = 1,2d_0$ may be used, provided that the minimum distance, L , between any two fasteners is greater than $2,4d_0$, see Figure 3.1b).

10. Comportamento Estrutural

■ Esmagamento do parafuso



(a)

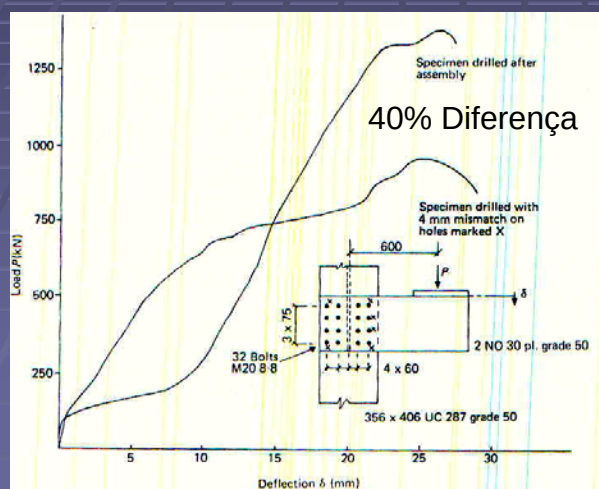
(b)

(c)

- Restrição circunferencial
- Aços muito resistentes
- (a) cisalhamento duplo (1000N/mm²)
- (b) cisalhamento + esmagamento (bearing)
- (c) esmagamento
 - ✓ O material fluiu longitudinalmente aumentando o comprimento do parafuso $\sigma_{u,pl} = 2 F_y$ (caso raro)

10. Comportamento Estrutural

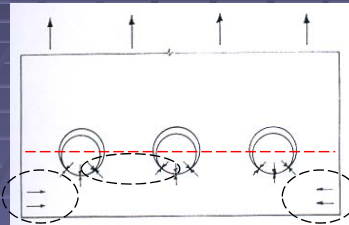
■ Ligações múltiplas (+ de 1 parafuso)



- Seção líquida → membros tracionados → caminho crítico
- Desalinhamento de parafusos → alguns parafusos em contato com a chapa

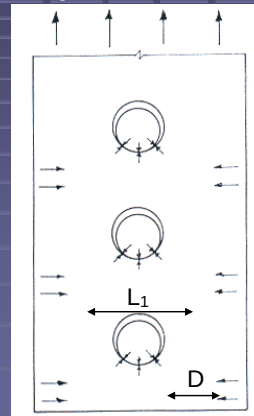
10. Comportamento Estrutural

■ Esmagamento da placa em ligações múltiplas



Transversal ao carregamento

- Sentidos opostos se cancelam
- Necessário somente restrição nas extremidades da placa

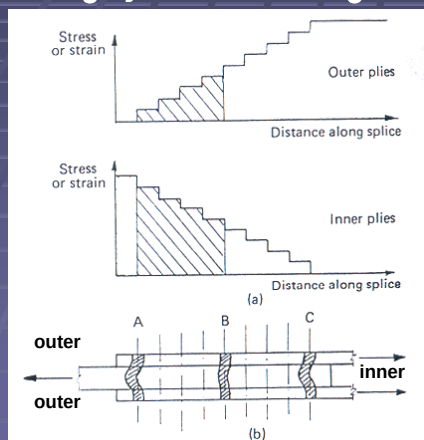


Paralelo ao carregamento

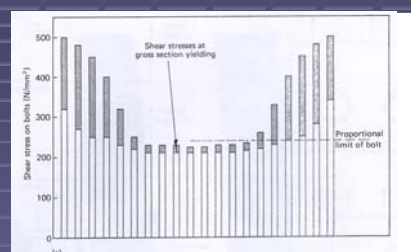
- Efeito acumulativo da carga na direção transversal
- Se $L_1 < 2,5 D$ → senão redução na resistência ao esmagamento da chapa

10. Comportamento Estrutural

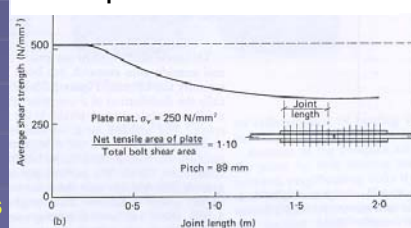
■ Ligações muito longas



- Emendas tracionadas
- Deformações maiores nas extremidades



- Perda de eficiência em ligações muito longas
- Comprimento efetivo



10. Comportamento Estrutural

- Grupos de Parafusos – Eurocode 3 pt. 1.8
 - ✓ Group of fasteners resistance may be taken as the sum of the design bearing resistances the individual fasteners provided that the design shear resistance of each individual fastener $\geq$ bearing resistance
 - ✓ Otherwise Group of fasteners resistance = number of fasteners x smallest resistance of the individual fasteners.

10. Comportamento Estrutural

- Ligações muito longas – Eurocode 3 pt. 1.8
 - ✓ When the distance L_j between the centres of the end fasteners in a joint, measured in the direction of force transfer $> 15 d$, shear resistance of all the fasteners should be reduced by multiplying it by a reduction factor β_{Lf} given by:

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \quad (3.5)$$

- ✓ but $\beta_{Lf} \leq 1.0$ and $\beta_{Lf} \geq 0.75$
- ✓ This provision does not apply where there is a uniform distribution of force transfer over the length of the joint, e.g. the transfer of shear force between the web and the flange of a section

10. Comportamento Estrutural

- Ligações muito longas – Eurocode 3 pt. 1.8

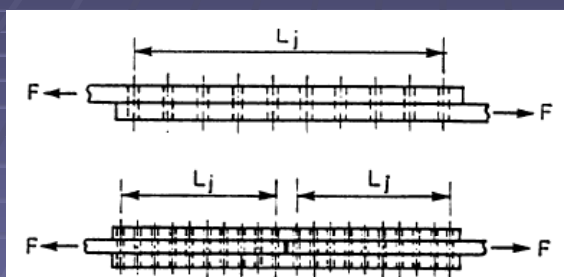


Figure 3.7: Long joints

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d}$$