Formulário de Sistemas Estruturais I

Propriedades do Aço

Propriedades Gerais do Aço	Valor
Módulo de Elasticidade	E = 200.000 MPa
Módulo de Elasticidade Transversal	G = 70.000 MPa
Coeficiente de Poisson	ν = 0,3
Coeficiente de Dilatação Térmica	$\beta = 12 \times 10^{-6}$ °C
Massa específica	ρ = 7.850 Kg/m³

Classe	Aço	fy (escoam.)	fu (ruptura)
Média resistência	MR 250	250 MPa	400 MPa
Alta resistência	AR 350	350 MPa	450 MPa
	AR 415	415 MPa	520 MPa
Alta resist. mecânica / resist. à corrosão	AR 350 COR	350 MPa	485 MPa

Combinações

ELU - Combinação Normal: $S_d = \sum \gamma_{gi} G_i + \gamma_{q1} Q_1 + \sum \gamma_{qj} Q_j \Psi_{0j}$

ELU - Combinações de Construção e Especial: $S_d = \sum \gamma_{gi} G_i + \gamma_{q1} Q_1 + \sum \gamma_{qj} Q_j \Psi_{0j,ef}$

* quando a ação variável dominante (Q1) tiver tempo de duração muito curto, $\Psi_{0j,ef} = \Psi_2$;

* caso contrário , $\Psi_{0j,ef} = \Psi_0$;

ELU - Combinação Excepcional: $S_d = \sum \gamma_{gi} G_i + E + \sum \gamma_{qj} Q_j \Psi_{2j}$

ELS – Combinação Rara: $S = \sum G_i + Q_1 + \sum Q_j \Psi_{1j}$

ELS – Combinação Frequente: $S = \sum G_i + \Psi_1 Q_1 + \sum Q_j \Psi_{2j}$

ELS – Combinação Quase-Permanente: $S = \sum G_i + \Psi_2 Q_1 + \sum Q_j \Psi_{2j}$

Coeficientes Parciais γ_f

Combinações		Combinações		
		Normais	Especiais / Construção	Excepcionais
Permanentes	Peso próprio de estruturas metálicas	1,25 (1,00)	1,15 (1,00)	1,10 (1,00)
	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1,30 (1,00)	1,20 (1,00)	1,15 (1,00)
	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados	1,35 (1,00)	1,25 (1,00)	1,15 (1,00)
	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições "in loco"	1,40 (1,00)	1,30 (1,00)	1,20 (1,00)
	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	1,50 (1,00)	1,40 (1,00)	1,30 (1,00)
	Deformações impostas por recalques de apoio, imperfeições geométricas, retração e fluência do concreto	1,20 (1,00)	1,20 (1,00)	0 (0)
Variáveis	Efeito da temperatura	1,20	1,00	1,00
	Ação do vento	1,40	1,20	1,00
	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes de uso e ocupação	1,50	1,30	1,00

Fatores de Combinação Ψ0 e Redução Ψ1 e Ψ2 para ações variáveis:

Ações		γ_{f2}		
		Ψ0	Ψ1	Ψ2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas (1)	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas (2)	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens, e sobrecargas em coberturas	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento em estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura nas estruturas em geral	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontos rolantes	0,7	0,6	0,4

(1) Edificações residenciais de acesso restrito

(2) Edificações comerciais, de escritórios e de acesso ao público

Ações permanentes diretas agrupadas	γ_f
Grandes pontes (cujo peso próprio da estrutura supera 75% da totalidade das ações permanentes)	1,30
Edificações tipo 1 (onde as sobrecargas superam 5 kN/m2) e pontes em geral.	1,35
Edificações tipo 2 (onde as sobrecargas não superam 5 kN/m2)	1,40

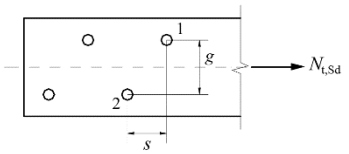
Ações variáveis agrupadas	γ_f
Pontes e edificações tipo 1	1,50
Edificações tipo 2	1,40

Material	γ_m	Combinações de Ações		
		Normais	Especiais / Construção	Excepcionais
Aço estrutural, pinos e parafusos – Estados limites de escoamento e flambagem	γ_{a1}	1,10	1,10	1,00
Aço estrutural, pinos e parafusos – Estado limite de ruptura	γ_{a2}	1,35	1,35	1,15
Concreto	γ_c	1,40	1,20	1,20
Aço de armadura de concreto armado	γ_s	1,15	1,15	1,00

Peças Tracionadas

ESB: $R_{dt} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$ RSL: $R_{dt} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}}$

Segmento Enviesado: $g + \frac{s^2}{4g}$ Comprimento Efetivo: $l_n = b - \sum \emptyset + \sum \frac{s^2}{4g}$



$A_e = C_t \,.\, A_n$ $C_t = 1 - \frac{e_c}{lc}$ $(0{,}60 \le Ct \le 0{,}90)$ $C_t = \frac{A_c}{A_g}$

Filetes de Solda Longitudinais : $C_t = 1{,}00$ para $l_w \ge 2b$ / $C_t = 0{,}87$ para $1{,}5b \le l_w < 2b$ / $C_t = 0{,}75$ para $b \le l_w < 1{,}5b$

Barras Rosqueadas: $R_{dt} = \frac{0{,}75 \,.\, A_g f_u}{\gamma_{a2}} \le \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$ Esbeltez Limite: $\lambda = \frac{L}{r_{min}} \le 300$

Cisalhamento de Bloco: $R_{dt} = \frac{1}{\gamma_{a2}}(0{,}60.\ f_u A_{nv} + C_{ts}.\ f_u A_{nt}) \le \frac{1}{\gamma_{a2}}(0{,}60.\ f_y A_{gv} + C_{ts}.\ f_u A_{nt})$

Peças Comprimidas

Tabela E.1 — Coeficiente de flambagem por flexão de elementos isolados

A linha tracejada indica a linha elástica de flambagem	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valores teóricos de K_x ou K_y	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código para condição de apoio	Rotação e translação impedidas Rotação livre, translação impedida Rotação impedida, translação livre Rotação e translação livres					

$N_{c,Rd} = \frac{\chi\, Q\, A_g\, fy}{\gamma a1}$ $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$

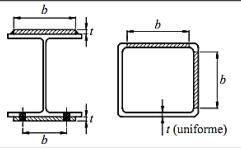
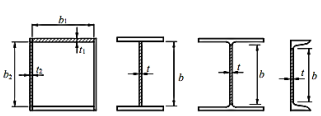
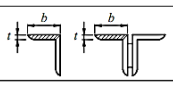
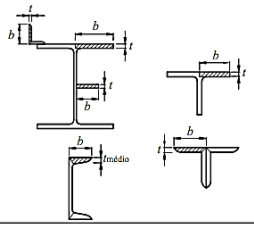
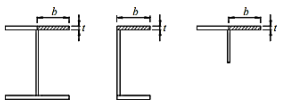
$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(K.L)^2}$ $f_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$ $\lambda = \frac{KL}{r}$

$\lambda_{pl} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{Q f_y}}$ $\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q\, A_g f_y}{N_e}}$

Peças com dupla simetria: $\lambda_0 = \frac{\lambda}{\lambda_{pl}} = \frac{\lambda}{\sqrt{\frac{\pi^2 E}{Q f_y}}} = \frac{K\,L}{r}\sqrt{\frac{Q f_y}{\pi^2 E}}$

$\chi = 0{,}658^{\lambda_o{}^2}$ para $\lambda_0 \le 1{,}5$
$\chi = 0{,}877/\lambda_o{}^2$ para $\lambda_0 > 1{,}5$

Limites para não ocorrência de Flambagem Local em Peças Comprimidas

Elementos	Grupo	Descrição dos elementos	Alguns exemplos com indicação de b e t	$(b/t)_{lim}$
AA	1	— Mesas ou almas de seções tubulares retangulares — Lamelas e chapas de diafragmas entre linhas de parafusos ou soldas		$1{,}40\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	2	— Almas de seções I, H ou U — Mesas ou almas de seção-caixão — Todos os demais elementos que não integram o Grupo 1		$1{,}49\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
AL	3	— Abas de cantoneiras simples ou múltiplas providas de chapas de travejamento		$0{,}45\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	4	— Mesas de seções I, H, T ou U laminadas — Abas de cantoneiras ligadas continuamente ou projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas — Chapas projetadas de seções I, H, T ou U laminadas ou soldadas		$0{,}56\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
	5	— Mesas de seções I, H, T ou U soldadas [a]		$0{,}64\sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}}$
	6	— Almas de seções T		$0{,}75\sqrt{\frac{E}{f_y}}$

$k_c = \frac{4}{\sqrt{hw/tw}}$ sendo $0{,}35 \le k_c \le 0{,}76$

$Q = Q_a . Q_s$ $Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g}$ $A_{ef} = A_g - \sum(b - b_{ef})\ t$

$$b_{ef} = 1{,}92t\sqrt{\frac{E}{\sigma}}\left[1 - \frac{c_a}{b/t}\sqrt{\frac{E}{\sigma}}\right] \le b$$

$c_a = 0.38$ para mesas e almas de seções tubulares retangulares
$c_a = 0.34$ para demais casos

	Flambagem Inelástica	Flambagem Elástica
Grupo 3	$Q_s = 1{,}34 - 0{,}76\ \frac{b}{t}\sqrt{\frac{f_y}{E}} \le 1$ para $0{,}45\sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \le 0{,}91\sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$Q_s = \frac{0{,}53E}{f_y\left(\frac{b}{t}\right)^2}$ para $\frac{b}{t} > 0{,}91\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Grupo 4	$Q_s = 1{,}415 - 0{,}74\ \frac{b}{t}\sqrt{\frac{f_y}{E}} \le 1$ para $0{,}56\sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \le 1{,}03\sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$Q_s = \frac{0{,}69E}{f_y\left(\frac{b}{t}\right)^2}$ Para $\frac{b}{t} > 1{,}03\sqrt{\frac{E}{f_y}}$
Grupo 5	$Q_s = 1{,}415 - 0{,}65\ \frac{b}{t}\sqrt{\frac{f_y}{k_c E}} \le 1$ para $0{,}64\sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}} < \frac{b}{t} \le 1{,}17\sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}}$	$Q_s = \frac{0{,}90Ek_c}{f_y\left(\frac{b}{t}\right)^2}$ para $\frac{b}{t} > 1{,}17\sqrt{\frac{E}{(f_y/k_c)}}$
Grupo 6	$Q_s = 1{,}908 - 1{,}22\ \frac{b}{t}\sqrt{\frac{f_y}{E}}$ para $0{,}75\sqrt{\frac{E}{f_y}} < \frac{b}{t} \le 1{,}03\sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$Q_s = \frac{0{,}69E}{f_y\left(\frac{b}{t}\right)^2}$ para $\frac{b}{t} > 1{,}03\sqrt{\frac{E}{f_y}}$

Verificações de Momentos Fletores em Vigas de Aço de Seções I e H

Tipo de Seção e Eixo de Flexão	Estados Limites	M_r	M_{cr}	λ	λ_p	λ_r
Seções I e H com dois eixos de simetria e seções U não sujeitas a momento de torção, fletidas em relação ao eixo de maior momento de inércia	FLT	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5	Ver Nota 1	$\frac{L_b}{r_y}$	$1{,}76\sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 1
	FLM	$(f_y - \sigma_r)W$ Ver Nota 5	Ver Nota 6	b/t ver Nota 8	$0{,}38\sqrt{\frac{E}{f_y}}$	Ver Nota 6
	FLA	$f_y W$	Viga de alma esbelta (Anexo H)	$\frac{h_w}{t_w}$	$3{,}76\sqrt{\frac{E}{f_y}}$	$5{,}70\sqrt{\frac{E}{f_y}}$

FLA / FLM

Tipo de Seção	Relação de Parâmetros	Expressão de Cálculo
Compacta	$\lambda \le \lambda_p$	$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Semi-compacta	$\lambda_p < \lambda \le \lambda_r$	$M_{Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}}\left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r)\frac{(\lambda - \lambda_p)}{(\lambda_r - \lambda_p)}\right] \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Esbelta	$\lambda_r < \lambda$	$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}}$ Não aplicável à FLA (vide anexo H)

FLT

Tipo de Viga	Relação de Parâmetros	Expressão de Cálculo
Curta	$\lambda \le \lambda_p$	$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Intermediária	$\lambda_p < \lambda \le \lambda_r$	$M_{Rd} = \frac{C_b}{\gamma_{a1}}\left[M_{pl} - (M_{pl} - M_r)\frac{(\lambda - \lambda_p)}{(\lambda_r - \lambda_p)}\right] \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Longa	$\lambda_r < \lambda$	$M_{Rd} = \frac{M_{cr}}{\gamma_{a1}} \le \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}}$

$I_x = \frac{b_f(2*t_f+h_w)^3}{12} - \frac{(b_f - t_w)h_w^3}{12}$ $\quad I_y = 2\frac{t_f b_f^3}{12} + \frac{h_w t_w^3}{12}$ $\quad W_x = \frac{I_x}{0{,}5d}$ $\quad W_y = \frac{I_y}{0{,}5b_f}$ $\quad Z_x = 2\left(b_f t_f\left(\frac{h_w}{2} + \frac{t_f}{2}\right) + \frac{h_w^2}{8}t_w\right)$ $\quad M_{pl} = Z_x f_y$

Nota 1 :

$\lambda_r = \frac{1{,}38\sqrt{I_y J}}{r_y J \beta_1}\sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{27 C_w \beta_1^2}{I_y}}}$ $\quad M_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E I_y}{L_b^2}\sqrt{\frac{C_w}{I_y}\left(1 + 0{,}039\frac{J L_b^2}{C_w}\right)}$ $\quad \beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r)W_x}{E\,J}$ $\quad C_w = \frac{I_y(d - t_f)^2}{4}$ $\quad J = \frac{1}{3}(2b_f t_f^3 + h_w t_w^3)$

Nota 5: A tensão residual de compressão nas mesas σ_r deve ser tomada igual a 30% da resistência ao escoamento do aço utilizado

Nota 6: Para perfis laminados: $M_{cr} = \frac{0{,}69E}{\lambda^2}W_c$, $\lambda_r = 0{,}83\sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)}}$

Para perfis soldados: $M_{cr} = \frac{0{,}90 E k_c}{\lambda^2}W_c$, $\lambda_r = 0{,}95\sqrt{\frac{E}{(f_y - \sigma_r)/k_c}}$ com kc: $k_c = \frac{4}{\sqrt{h_w/t_w}}$ sendo $0{,}35 \le k_c \le 0{,}76$

Nota 8: b/t é a relação entre largura e espessura aplicável à mesa do perfil, no caso de seções I e H som um eixo de simetria, b/t refere-se à mesa comprimida (para mesas de seções I e H, b é a metade da largura total)

Verificação de Cortantes em Vigas de Aço de Seções I e H

Tipo de Alma	Relação de Parâmetros	Expressão de Cálculo
Compacta	$\lambda \le \lambda_p$	$V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$
Semi-compacta	$\lambda_p < \lambda \le \lambda_r$	$V_{Rd} = \frac{\lambda_p V_{pl}}{\lambda\,\gamma_{a1}}$
Esbelta	$\lambda_r < \lambda$	$V_{Rd} = 1{,}24\left(\frac{\lambda_p}{\lambda}\right)^2\frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$

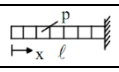
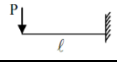
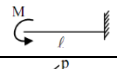
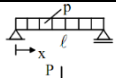
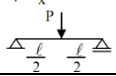
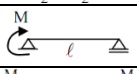
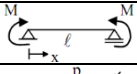
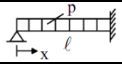
$\boldsymbol{V_{pl} = 0{,}60 A_w f_y = 0{,}60 d t_w f_y}$

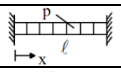
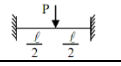
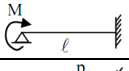
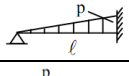
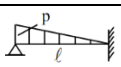
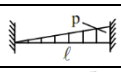
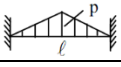
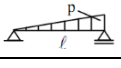
$\boldsymbol{\lambda = \frac{h_w}{t_w}}$ $\quad \boldsymbol{\lambda_p = 1{,}10\sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}}$ $\quad \boldsymbol{\lambda_r = 1{,}37\sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}}$

$\boldsymbol{k_v}$ igual a 5,0 para almas sem enrijecedores transversais, para $\boldsymbol{\frac{a}{h_w} > 3}$

ou para $\boldsymbol{\frac{a}{h_w} > \left[\frac{260}{h_w/t_w}\right]^2}$ e $\boldsymbol{5 + \frac{5}{(a/h_w)^2}}$ para os demais casos.

Flechas Elásticas ($\alpha = x / L$ -deslocamentos para baixo com sinal negativo)

Vinculação e Carregamento	Flecha δ_{max}	Posição x	Equação da Elástica
	$\frac{1}{8}\frac{pL^4}{EI}$	0	$\frac{pL^4}{24EI}(-\alpha^4 + 4\alpha - 3)$
	$\frac{1}{3}\frac{PL^3}{EI}$	0	$\frac{PL^3}{6EI}(-\alpha^3 + 3\alpha - 2)$
	$\frac{1}{2}\frac{ML^2}{EI}$	0	$\frac{ML^2}{2EI}(-1 + \alpha)^2$
	$\frac{5}{384}\frac{pL^4}{EI}$	0,5 L	$\frac{pL^4}{24EI}(-\alpha^4 + 2\alpha^3 - \alpha)$
	$\frac{1}{48}\frac{PL^3}{EI}$	0,5 L	$\frac{PL^3}{48EI}(+4\alpha^3 - 3\alpha)$
	$\frac{1}{9\sqrt{3}}\frac{ML^2}{EI}$	0,423 L	$\frac{ML^2}{6EI}(-\alpha^3 + 3\alpha^2 - 2\alpha)$
	$\frac{1}{8}\frac{ML^2}{EI}$	0,5 L	$\frac{ML^2}{2EI}(\alpha^2 - \alpha)$
	$\frac{3}{554}\frac{pL^4}{EI}$	0,422 L	$\frac{pL^4}{48EI}(-2\alpha^4 + 3\alpha^3 - \alpha)$

Vinculação e Carregamento	Flecha δ_{max}	Posição x	Equação da Elástica
	$\frac{1}{384}\frac{pL^4}{EI}$	0,5 L	$\frac{pL^4}{24EI}(-\alpha^4 + 2\alpha^3 - \alpha^2)$
	$\frac{1}{192}\frac{pL^3}{EI}$	0,5 L	$\frac{PL^3}{48EI}(4\alpha^3 - 3\alpha^2)$
	$\frac{1}{27}\frac{ML^2}{EI}$	$\frac{1}{3}$ L	$\frac{ML^2}{4EI}(-\alpha^3 + 2\alpha^2 - \alpha)$
	$\frac{3}{1258}\frac{pL^4}{EI}$	0,447 L	$\frac{pL^4}{120EI}(-\alpha^5 + 2\alpha^3 - \alpha)$
	$\frac{1}{328}\frac{pL^4}{EI}$	0,402 L	$\frac{pL^4}{240EI}(2\alpha^5 - 10\alpha^4 + 11\alpha^3 - 3\alpha)$
	$\frac{1}{764}\frac{pL^4}{EI}$	0,525 L	$\frac{pL^4}{120EI}(-\alpha^5 + 3\alpha^3 - 2\alpha^2)$
	$\frac{7}{3840}\frac{pL^4}{EI}$	0,5 L	$\frac{pL^4}{960EI}(-16\alpha^5 + 40\alpha^3 - 25\alpha^2)$
	$\frac{3}{460}\frac{pL^4}{EI}$	0,519 L	$\frac{pL^4}{360EI}(-3\alpha^5 + 10\alpha^3 - 7\alpha)$

Flechas Limites conforme NBR 8800:2008

OBS: L é o vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço

Descrição	δ [a]
- Travessas de fechamento	$L/180$ [b]
	$L/120$ [c d]
- Terças de cobertura [g]	$L/180$ [e]
	$L/120$ [f]
- Vigas de cobertura [g]	$L/250$ [h]
- Vigas de piso	$L/350$ [h]
- Vigas que suportam pilares	$L/500$ [h]
Vigas de rolamento: [j]	
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal inferior a 200 kN	$L/600$ [i]
- Deslocamento vertical para pontes rolantes com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN, exceto pontes siderúrgicas	$L/800$ [i]
- Deslocamento vertical para pontes rolantes siderúrgicas com capacidade nominal igual ou superior a 200 kN	$L/1000$ [i]
- Deslocamento horizontal, exceto para pontes rolantes siderúrgicas	$L/400$
- Deslocamento horizontal para pontes rolantes siderúrgicas	$L/600$

Tabelas de Resistências de Parafusos ASTM

OBS: L é o vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço

	f_{yb} MPa	f_{ub} MPa	Diâmetro d_b (polegadas)
ASTM A307	-	415	$1/2 \le d_b \le 4$
ASTM A325	635	825	$1/2 \le d_b \le 1$
	560	725	$1 < d_b \le 1\,1/2$
ASTM A490	895	1035	$1/2 \le d_b \le 1\,1/2$

Forças de protensão mínimas para instalação de parafusos de alta resistência

Diâmetro d_b		F_{Tb} kN	
pol	mm	ASTM A325	ASTM A490
1/2		53	66
5/8		85	106
	16	91	114
3/4		125	156
	20	142	179
	22	176	221
7/8		173	216
	24	205	257
1		227	283
	27	267	334
1 1/8		250	357
	30	326	408
1 1/4		317	453
	36	475	595
1 1/2		460	659

Corte em Parafusos

Parafusos de alta resistência (A325 ou A490) e barras rosqueadas, quando o plano de corte passa pela rosca e para parafusos comuns em qualquer situação:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}4\ A_b\ f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

Parafusos de alta resistência (A325 ou A490) e barras rosqueadas, quando o plano de corte não passa pela rosca:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}5\ A_b\ f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

Rasgamento de Chapa e Pressão de Apoio

(a) No caso de furos padrão, furos alargados, furos pouco alongados em qualquer direção e furos muito alongados na direção da força:

- Quando a **ovalização É** uma limitação de projeto

$$F_{c,Rd} = \frac{1{,}2\ l_f\ t f_u}{\gamma_{a2}} \le \frac{2{,}4\ d_b\ t\ f_u}{\gamma_{a2}}$$

- Quando a **ovalização NÃO É** é uma limitação de projeto

$$F_{c,Rd} = \frac{1{,}5\ l_f\ t\ f_u}{\gamma_{a2}} \le \frac{3{,}0\ d_b\ t\ f_u}{\gamma_{a2}}$$

(b) No caso de furos muito alongados na direção perpendicular à da força:

$$F_{c,Rd} = \frac{1{,}0\ l_f\ t\ f_u}{\gamma_{a2}} \le \frac{2{,}0\ d_b\ t\ f_u}{\gamma_{a2}}$$

Tração no Conector

A resistência de cálculo de conectores ou barras rosqueadas à tração é dada por:

$$F_{t,Rd} = \frac{0{,}75\ A_b\ f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

Tração e Corte Simultâneos no Conector

$$\left(\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Sd}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \le 1{,}0$$

Resistência ao Deslizamento

ELS: $F_{f,Rk} = 0{,}80\ \mu\ C_h\ F_{Tb}\ n_s \left(1 - \frac{F_{t,Sk}}{0{,}80 F_{Tb}}\right)$

ELU: $F_{f,Rd} = \frac{1{,}13 \mu\ C_h\ F_{Tb}\ n_s}{\gamma_e}\left(1 - \frac{F_{t,Sd}}{1{,}13 F_{Tb}}\right)$

n_s : número de planos de deslizamento;

γ_e : coeficiente de ponderação de resistência igual a:
- 1,20 para combinações normais, especiais ou de construção;
- 1,00 para combinações excepcionais;

μ : coeficiente médio de atrito dado por:
0,35 para superfícies laminadas, limpas, isentas de óleos ou graxa, sem pintura e superfícies galvanizadas a quente com rugosidade aumentada por meio de escova de aço;
0,50 superfícies jateadas sem pintura;
0,20 superfícies galvanizadas a quente;

C_h : é um fator de furo igual a:
1,00 para furos padrão;
0,85 para furos alargados ou pouco alongados;
0,70 para furos muito alongados;

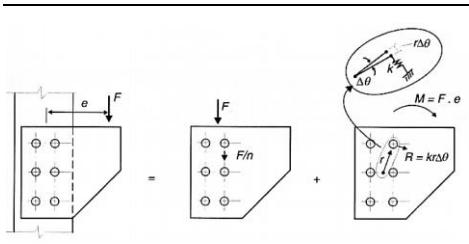
Pega Longa

$p \le 5 d_b$
p - pega da ligação

Comprimento da Ligação

$L_{cmáx} \le 1270mm$
Caso $L_c < L_{cmáx}$ a força solicitante deve ser multiplicada por 1,25.

Corte Excêntrico

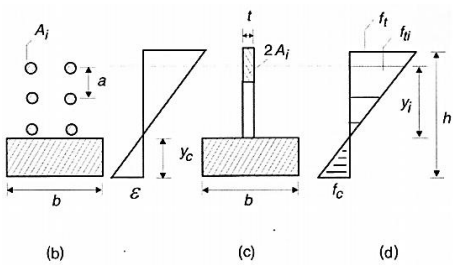


$$F_V = \frac{F}{n}$$

$$F_{MX} = \frac{M}{\sum r^2} y$$

$$F_{MY} = \frac{M}{\sum r^2} x$$

Ligação com Corte e Tração nos Conectores (Dist. Uniforme)



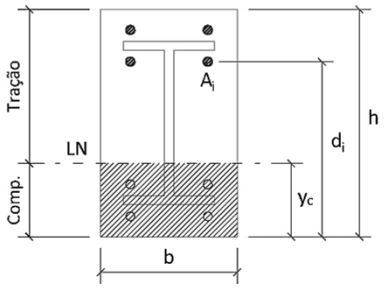
$$t = \frac{A_i}{a} n$$

$$b\ \frac{y_c^2}{2} = t\ \frac{(h-y_c)^2}{2}$$

$$I = \frac{b\ y_c^3}{3} + \frac{t\ (h-y_c)^3}{3}$$

$$F_i = \frac{M}{I} y_i\ A_i$$

Ligação com Corte e Tração nos Conectores (Dist. Não Uniforme)



$$b\ \frac{y_c^2}{2} = \sum A_i\ (d_i - y_c)$$

$$I = b\ \frac{y_c^3}{3} + \sum A_i (d_i - y_c)^2$$

$$F_i = \frac{M}{I}(d_i - y_c)\ A_i$$