

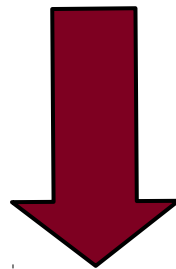
**ECV 113 – ESTRUTURAS DE CONCRETO, METÁLICAS E
DE MADEIRA**

***AULA 02: DIMENSIONAMENTO DE PEÇAS
TRACIONADAS***

Prof. Ana Paula Moura
ana.paula.moura@live.com

1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

“Elementos estruturais prismáticos solicitados por uma força axial de tração”

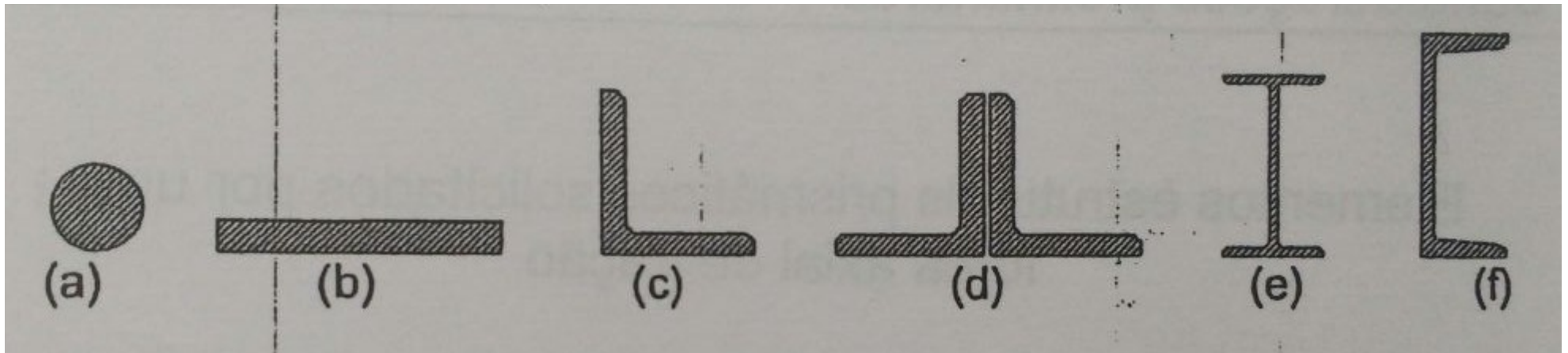


BARRAS TRACIONADAS

1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Tipos mais comuns de barras tracionadas:

Barras redondas, chapas, cantoneiras simples, cantoneiras duplas, perfis I e U.



1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Elementos estruturais típicos:

Contraventamentos, chumbadores, tirantes e treliças.



1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Não suscetíveis a instabilidade;

- Nas ligações a área de trabalho é inferior à área total da seção transversal devido a:

a) presença de furos

b) distribuição não uniforme de tensões causada por concentração de tensões nas regiões onde se situam parafusos e soldas.

2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

Página 37 da norma, item 5.2 – barras prismáticas submetidas a força axial de tração.

5.2.1 Generalidades

5.2.1.1 Esta subseção aplica-se a barras prismáticas submetidas à força axial de tração, incluindo barras ligadas por pinos e barras redondas com extremidades rosqueadas.

5.2.1.2 No dimensionamento, deve ser atendida a condição:

$$N_{t,Sd} \leq N_{t,Rd}$$

onde:

$N_{t,Sd}$ é a força axial de tração solicitante de cálculo;

$N_{t,Rd}$ é a força axial de tração resistente de cálculo, determinada conforme 5.2.2, 5.2.6 ou 5.2.7, o que for aplicável.

Devem ainda ser observadas as considerações estabelecidas em 5.2.8, relacionadas à limitação da esbeltez.

2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

Página 37 da norma, item 5.2 – barras prismáticas submetidas a força axial de tração.

a) para escoamento da seção bruta

$$N_{t,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$$

b) para ruptura da seção líquida

$$N_{t,Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}}$$

onde:

A_g é a área bruta da seção transversal da barra;

A_e é a área líquida efetiva da seção transversal da barra, determinada conforme 5.2.3;

f_y é a resistência ao escoamento do aço;

f_u é a resistência à ruptura do aço.

2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

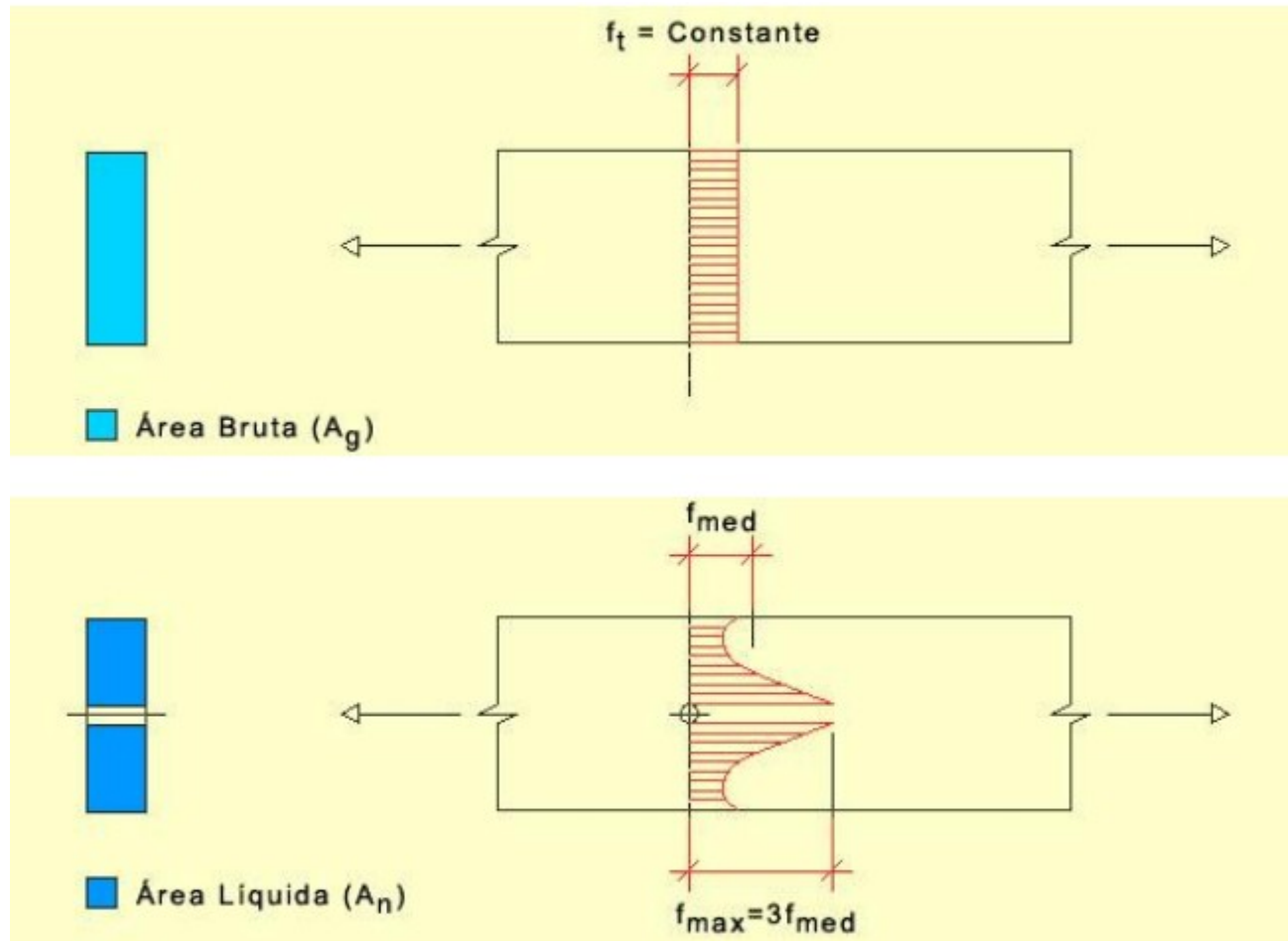
Página 23 da norma

Tabela 3 — Valores dos coeficientes de ponderação das resistências γ_m

Combinações	Aço estrutural ^a		Concreto γ_c	Aço das armaduras γ_s
	γ_a			
	Escoamento, flambagem e instabilidade γ_{a1}	Ruptura γ_{a2}		
Normais	1,10	1,35	1,40	1,15
Especiais ou de construção	1,10	1,35	1,20	1,15
Excepcionais	1,00	1,15	1,20	1,00
^a Inclui o aço de fôrma incorporada, usado nas lajes mistas de aço e concreto, de pinos e parafusos.				

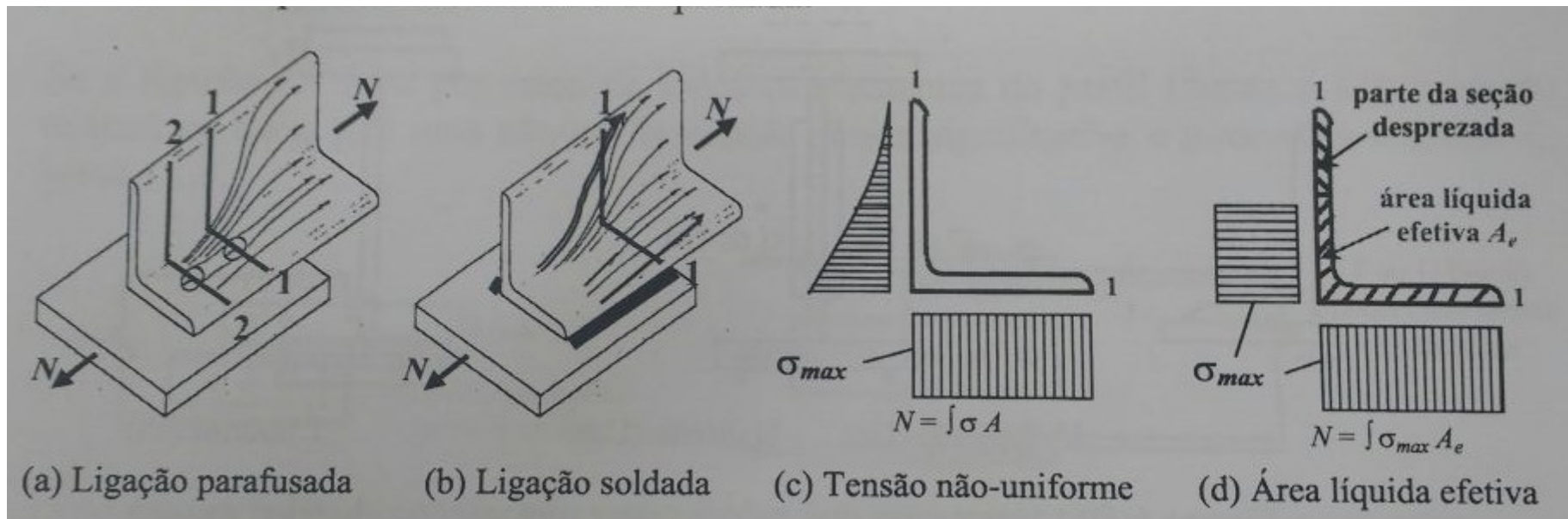
2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.1) Área bruta A_g x Área líquida A_n



2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.1) Área bruta A_g x Área líquida A_n



2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

5.2.3 Área líquida efetiva

A área líquida efetiva de uma barra, A_e , é dada por:

$$A_e = C_t A_n$$

onde:

A_n é a área líquida da barra, determinada conforme 5.2.4;

C_t é um coeficiente de redução da área líquida, determinado conforme 5.2.5.

2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

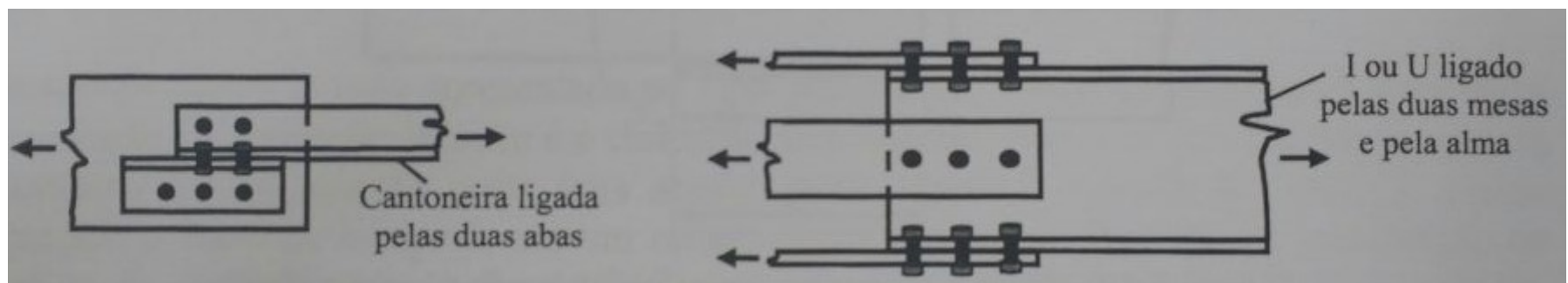
2.2) Coeficiente de redução C_t

2.2.1) Barras com seção transversal aberta

a) se todos os elementos do perfil forem ligados

- a) quando a força de tração for transmitida diretamente para cada um dos elementos da seção transversal da barra, por soldas ou parafusos:

$$C_t = 1,00$$

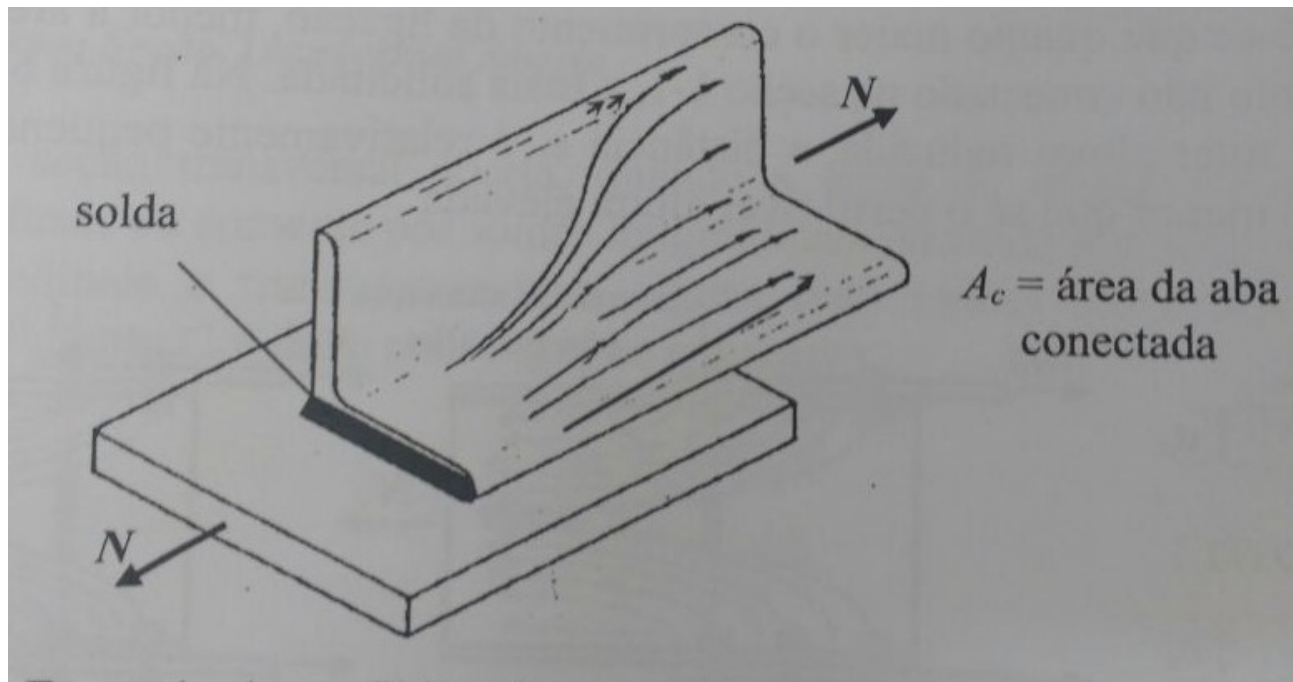


2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.2) Coeficiente de redução C_t

2.2.1) Barras com seção transversal aberta

b) solda transversal a força solicitante



2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.2) Coeficiente de redução C_t

2.2.1) Barras com seção transversal aberta

b) solda transversal a força solicitante

b) quando a força de tração for transmitida somente por soldas transversais:

$$C_t = \frac{A_c}{A_g}$$

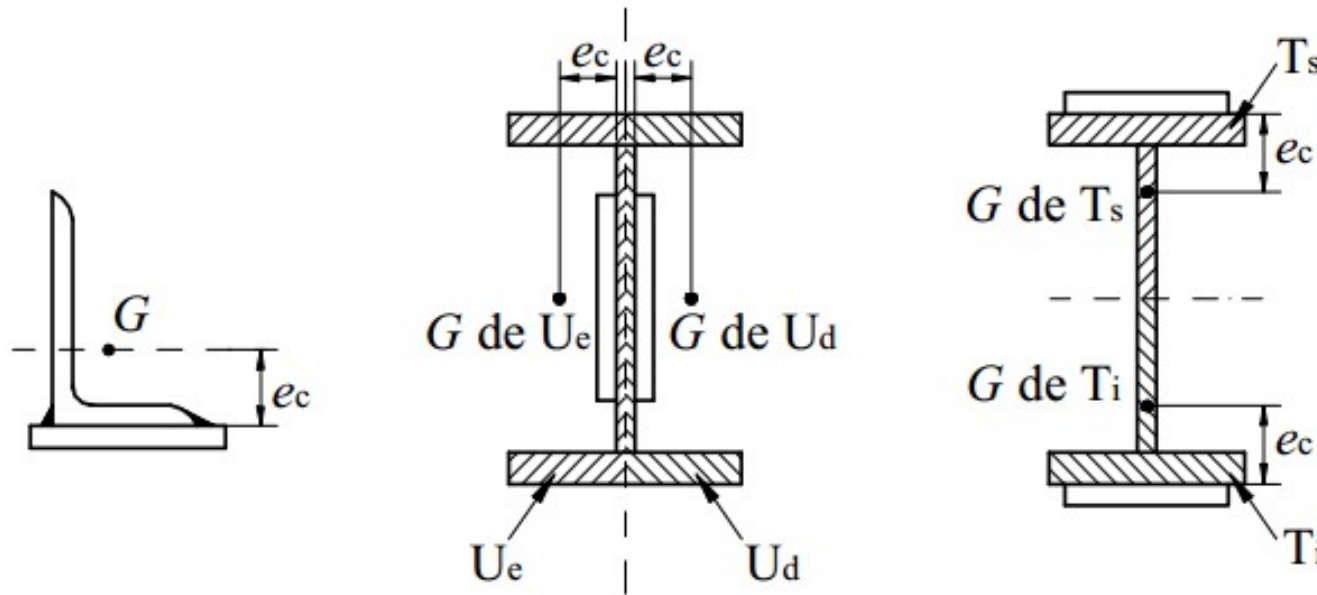
onde A_c é a área da seção transversal dos elementos conectados;

2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.2) Coeficiente de redução C_t

2.2.1) Barras com seção transversal aberta

c) ligado apenas nas almas ou nas mesas



2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

- c) nas barras com seções transversais abertas, quando a força de tração for transmitida somente por parafusos ou somente por soldas longitudinais ou ainda por uma combinação de soldas longitudinais e transversais para alguns (não todos) elementos da seção transversal (devendo, no entanto, ser usado 0,90 como limite superior, e não se permitindo o uso de ligações que resultem em um valor inferior a 0,60):

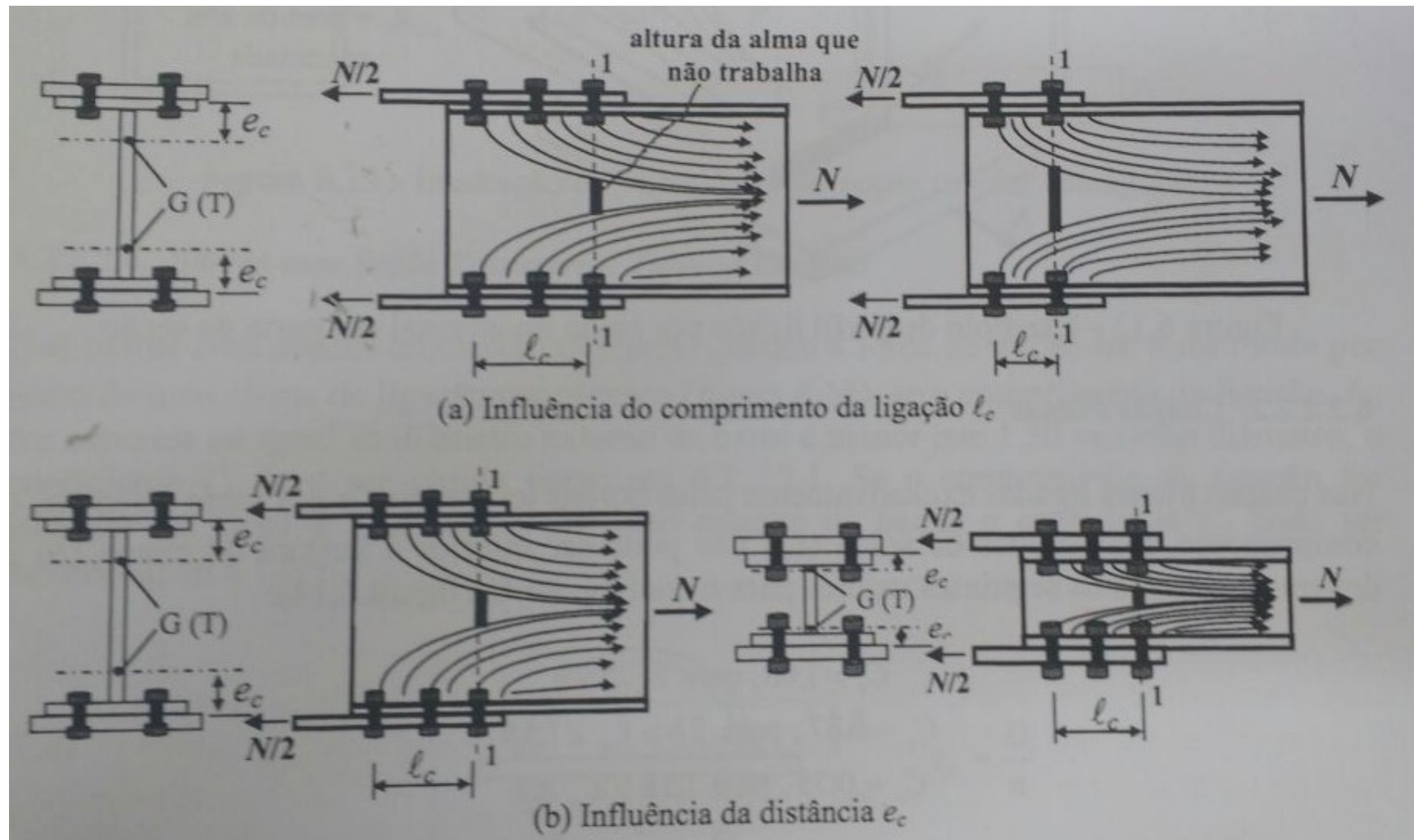
$$C_t = 1 - \frac{e_c}{\ell_c}$$

onde:

e_c é a excentricidade da ligação, igual à distância do centro geométrico da seção da barra, G , ao plano de cisalhamento da ligação (em perfis com um plano de simetria, a ligação deve ser simétrica em relação a ele e são consideradas, para cálculo de C_t , duas barras fictícias e simétricas, cada uma correspondente a um plano de cisalhamento da ligação, por exemplo, duas seções T no caso de perfis I ou H ligados pelas mesas ou duas seções U, no caso desses perfis serem ligados pela alma - ver Figura 5);

ℓ_c é o comprimento efetivo da ligação (esse comprimento, nas ligações soldadas, é igual ao comprimento da solda na direção da força axial; nas ligações parafusadas é igual a distância do primeiro ao último parafuso da linha de furação com maior número de parafusos, na direção da força axial);

2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)



2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.2) Coeficiente de redução C_t 2.2.2) Chapas Planas

- d) nas chapas planas, quando a força de tração for transmitida somente por soldas longitudinais ao longo de ambas as suas bordas, conforme a Figura 6 (ver 6.2.6.2.3):

$$C_t = 1,00, \text{ para } \ell_w \geq 2b$$

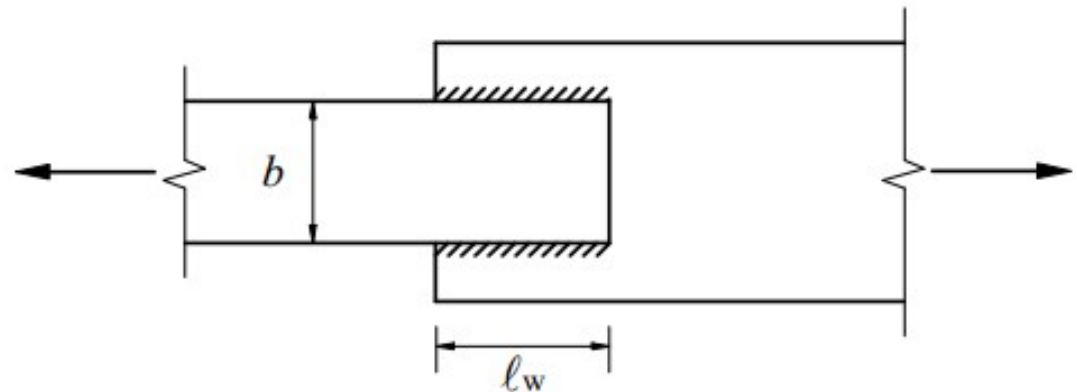
$$C_t = 0,87, \text{ para } 2b > \ell_w \geq 1,5b$$

$$C_t = 0,75, \text{ para } 1,5b > \ell_w \geq b$$

onde:

ℓ_w é o comprimento dos cordões de solda;

b é a largura da chapa (distância entre as soldas situadas nas duas bordas);

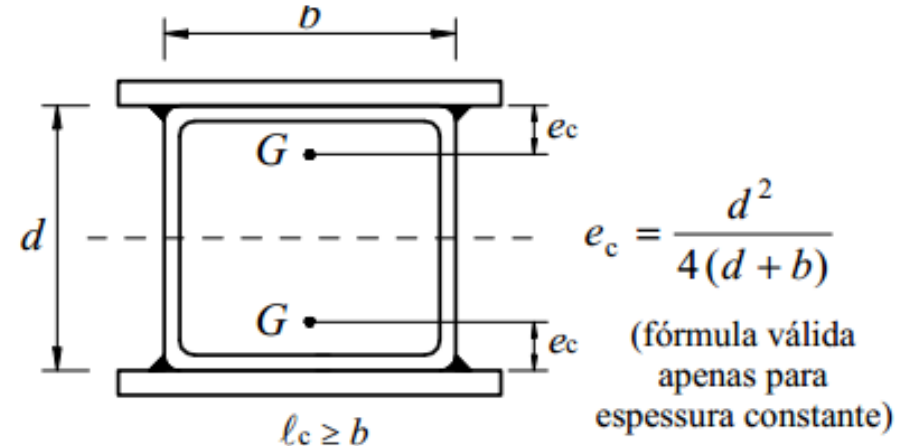
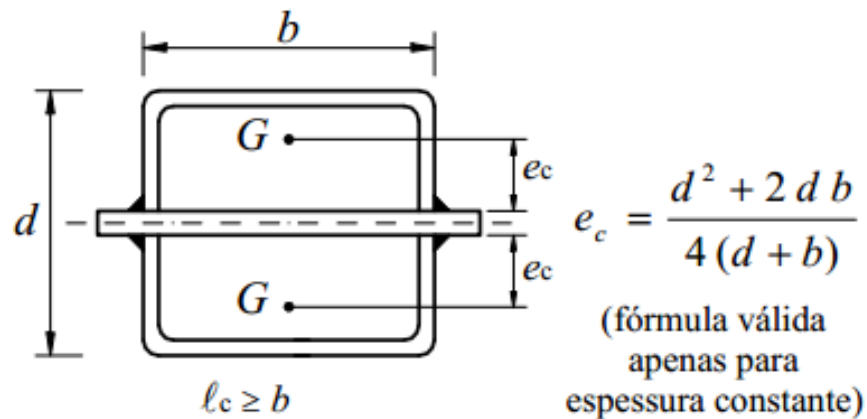


2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.2) Coeficiente de redução C_t

2.2.3) Barras com seção transversal tubular quadrada

- e) como na alínea c), nas barras com seções tubulares retangulares, quando a força de tração for transmitida por meio de uma chapa de ligação concêntrica ou por chapas de ligação em dois lados opostos da seção, desde que o comprimento da ligação, ℓ_c , não seja inferior à dimensão da seção na direção paralela à(s) chapa(s) de ligação (Figura 7);

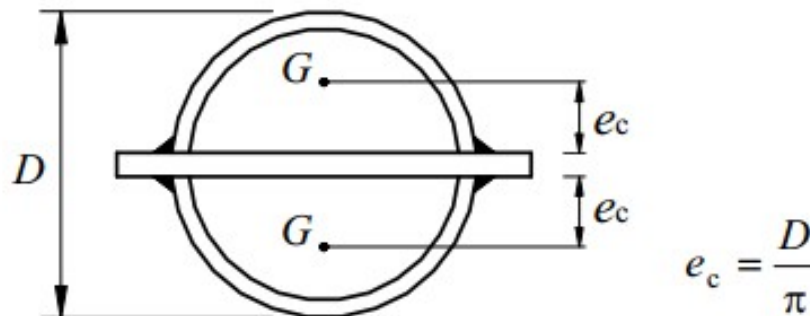


2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.2) Coeficiente de redução C_t

2.2.3) Barras com seção transversal tubular circular

- f) nas barras com seções tubulares circulares, quando a força de tração for transmitida por meio de uma chapa de ligação concêntrica (Figura 8):
- se o comprimento da ligação, ℓ_c , for superior ou igual a 1,30 do diâmetro externo da barra: $C_t = 1,00$;
 - como na alínea c), se o comprimento da ligação for superior ou igual ao diâmetro externo da barra e menor que 1,30 vez esse diâmetro.



2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.3) Área líquida A_n

5.2.4.1 Em regiões com furos, feitos para ligação ou para qualquer outra finalidade, a área líquida, A_n , de uma barra é a soma dos produtos da espessura pela largura líquida de cada elemento, calculada como segue:

- a) em ligações parafusadas, a largura dos furos deve ser considerada 2,0 mm maior que a dimensão máxima desses furos, definida em 6.3.6, perpendicular à direção da força aplicada (alternativamente, caso se possa garantir que os furos sejam executados com broca, pode-se usar a largura igual à dimensão máxima);

- Área de seção transversal reduzida pela presença de furos.
- Produto da largura líquida b_n pela espessura t :

2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.3) Área líquida A_n

5.2.4.1 Em regiões com furos, feitos para ligação ou para qualquer outra finalidade, a área líquida, A_n , de uma barra é a soma dos produtos da espessura pela largura líquida de cada elemento, calculada como segue:

- a) em ligações parafusadas, a largura dos furos deve ser considerada 2,0 mm maior que a dimensão máxima desses furos, definida em 6.3.6, perpendicular à direção da força aplicada (alternativamente, caso se possa garantir que os furos sejam executados com broca, pode-se usar a largura igual à dimensão máxima);
- Folga da ligação parafusada por punção: 2,0 mm + 1,5 mm do furo padrão;
 - Folga da ligação parafusada por broca: 1,5 mm do furo padrão.

2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.3) Área líquida A_n

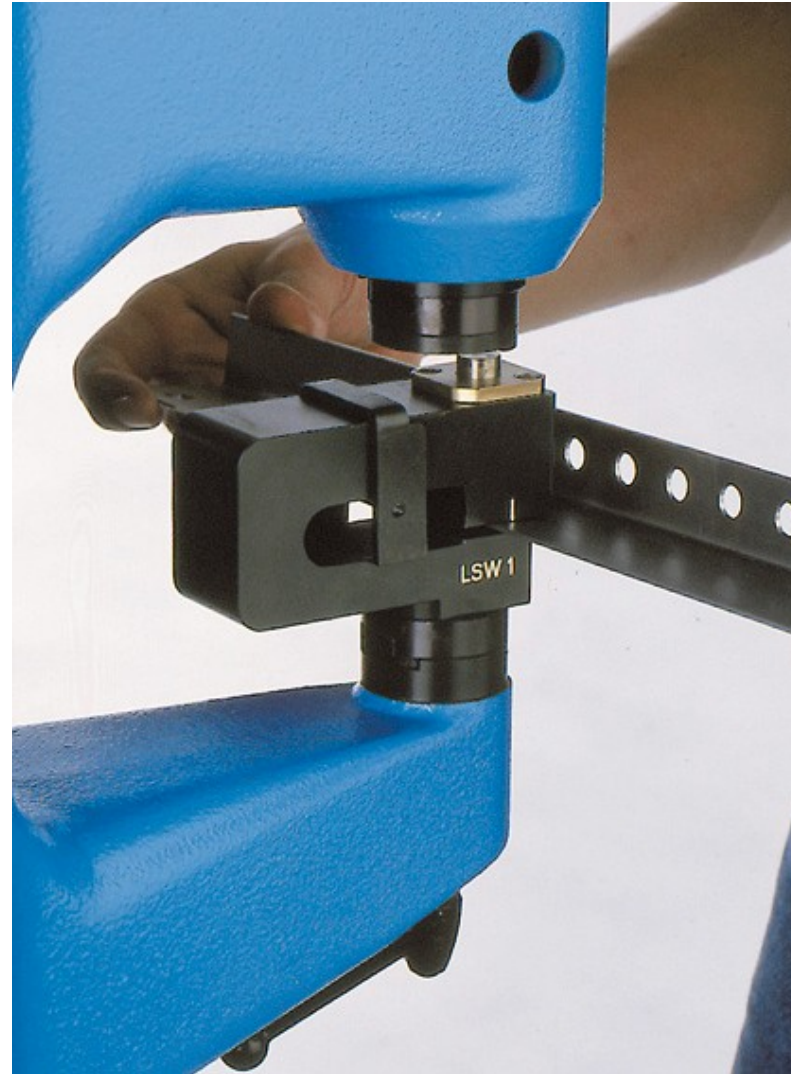
- A) Furos feitos por **broca** (movimento rotatório)
- B) Furos feitos por **punção** (haste ponteadada pressionada com forte impacto na chapa – espessura máxima 3 mm)

- Folga da ligação parafusada por punção: 2,0 mm + 1,5 mm do furo padrão;

Motivo: Deficiência inerente ao processo

- Folga da ligação parafusada por broca: 1,5 mm do furo padrão.

2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)



2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.3) Área líquida A_n

Tabela 12 — Dimensões máximas de furos para parafusos e barras redondas rosqueadas

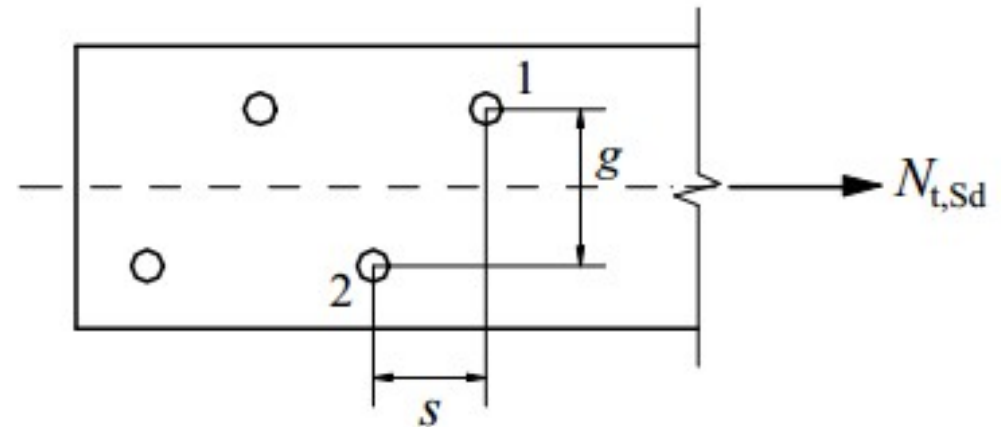
	Diâmetro do parafuso ou barra redonda rosqueada d_b	Diâmetro do furo-padrão	Diâmetro do furo alargado	Dimensões do furo pouco alongado	Dimensões do furo muito alongado
Dimensões em milímetros	≤ 24	$d_b + 1,5$	$d_b + 5$	$(d_b + 1,5) \times (d_b + 6)$	$(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$
	27	28,5	33	$28,5 \times 35$	$28,5 \times 67,5$
	≥ 30	$d_b + 1,5$	$d_b + 8$	$(d_b + 1,5) \times (d_b + 9,5)$	$(d_b + 1,5) \times 2,5 d_b$
Dimensões em polegadas	$\leq 7/8$	$d_b + 1/16$	$d_b + 3/16$	$(d_b + 1/16) \times (d_b + 1/4)$	$(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$
	1	$1 \ 1/16$	$1 \ 1/4$	$1 \ 1/16 \times 1 \ 5/16$	$1 \ 1/16 \times 2 \ 1/2$
	$\geq 1 1/8$	$d_b + 1/16$	$d_b + 5/16$	$(d_b + 1/16) \times (d_b + 3/8)$	$(d_b + 1/16) \times 2,5 d_b$

2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.3) Área líquida A_n

- b) no caso de uma série de furos distribuídos transversalmente ao eixo da barra, em diagonal a esse eixo ou em ziguezague, a largura líquida dessa parte da barra deve ser calculada deduzindo-se da largura bruta a soma das larguras de todos os furos em cadeia, e somando-se para cada linha ligando dois furos a quantidade $s^2/(4g)$, sendo s e g , respectivamente, os espaçamentos longitudinal e transversal (gabarito) entre esses dois furos (Figura 4);

$$b_n = b_g - \sum d_h + \sum_{i=1}^n \frac{s_i^2}{4g_i}$$



2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

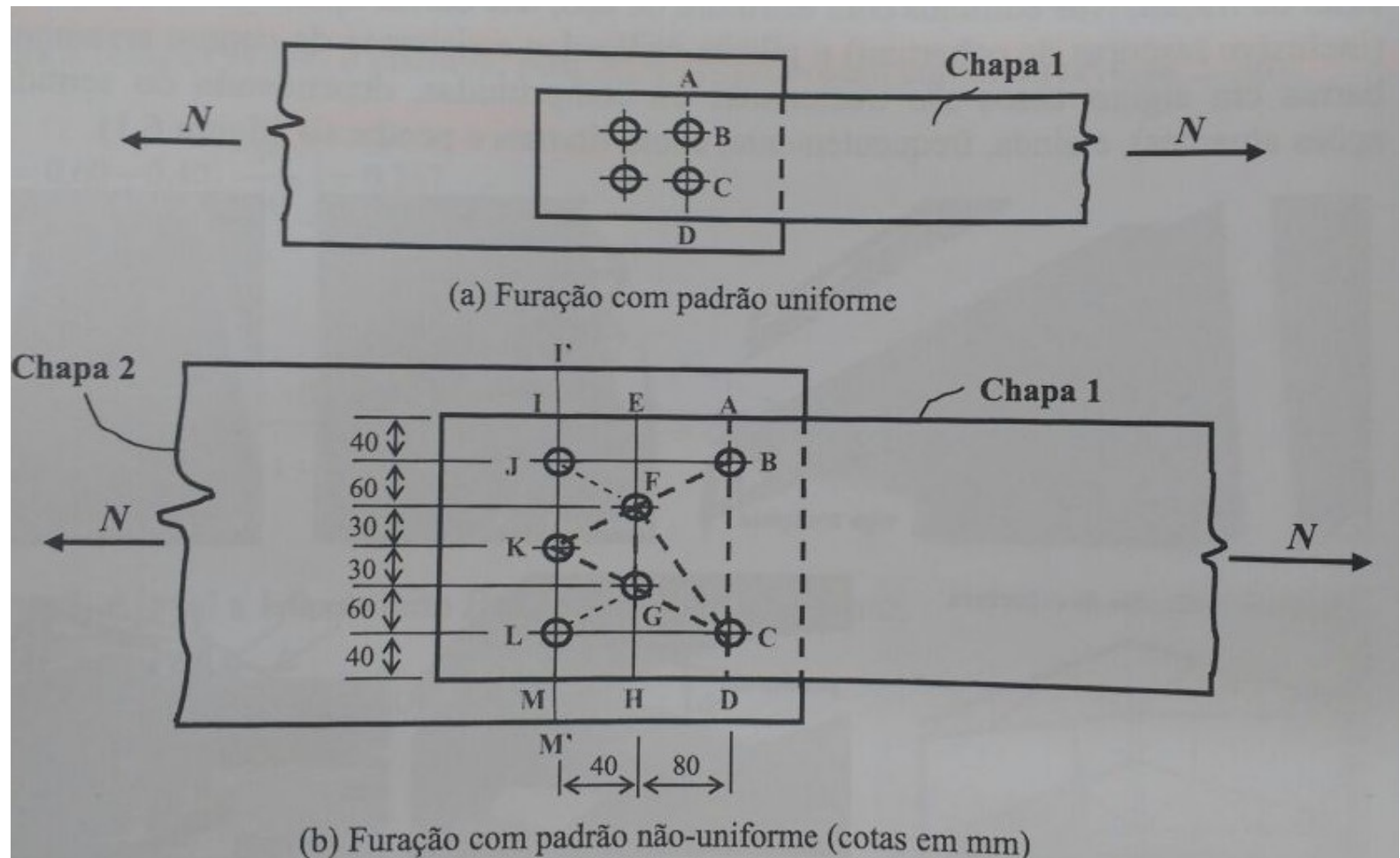
2.3) Área líquida A_n

- c) a largura líquida crítica daquela parte da barra será obtida pela cadeia de furos que produza a menor das larguras líquidas, para as diferentes possibilidades de linhas de ruptura;

“Linha de ruptura: Percurso que passa por um conjunto de furos em uma ligação parafusada, segundo o qual rompe uma barra tracionada.”

2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

- ABCD
- ABCD
- ABFCD
- ABGCD
- ABFGCD
- ABFKGCD



2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.3) Área líquida A_n

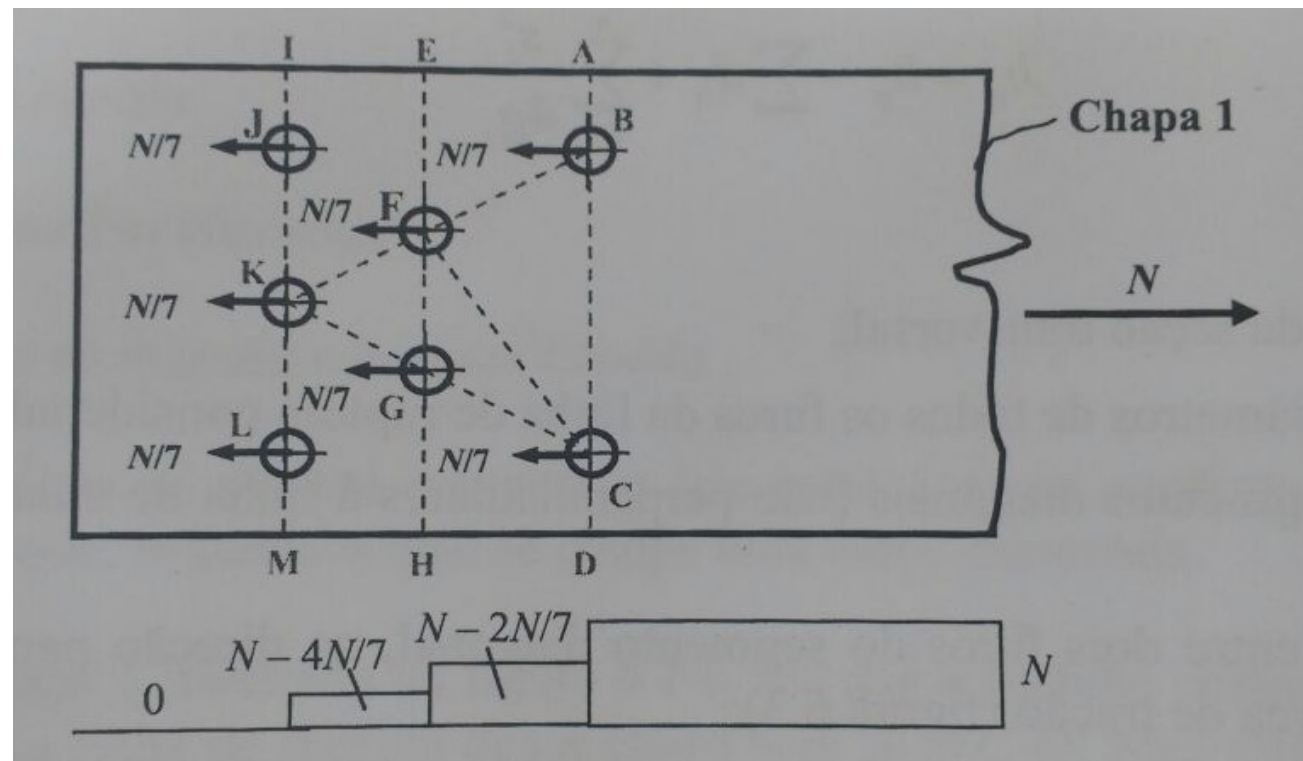
- c) a largura líquida crítica daquela parte da barra será obtida pela cadeia de furos que produza a menor das larguras líquidas, para as diferentes possibilidades de linhas de ruptura;

“Cada parafuso absorverá uma mesma parcela da força, correspondente a N/n , onde N é a força axial atuante e n o número de parafusos da ligação”

2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

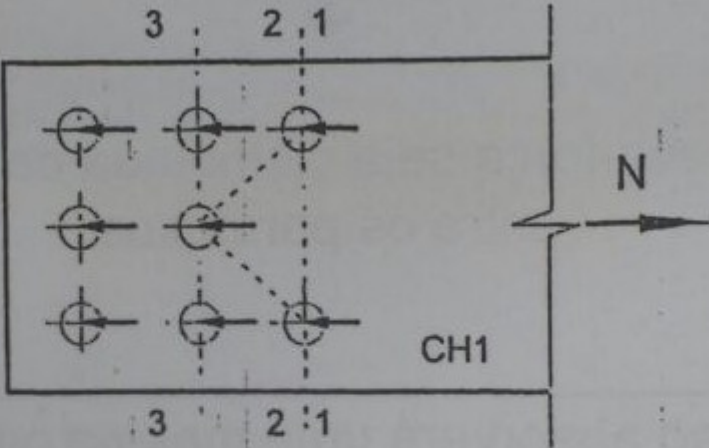
2.3) Área Líquida A_n

Somente precisam ser consideradas linhas de ruptura que passam pelos furos situados na região de máxima força axial atuante.



2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.3) Área Líquida A_n



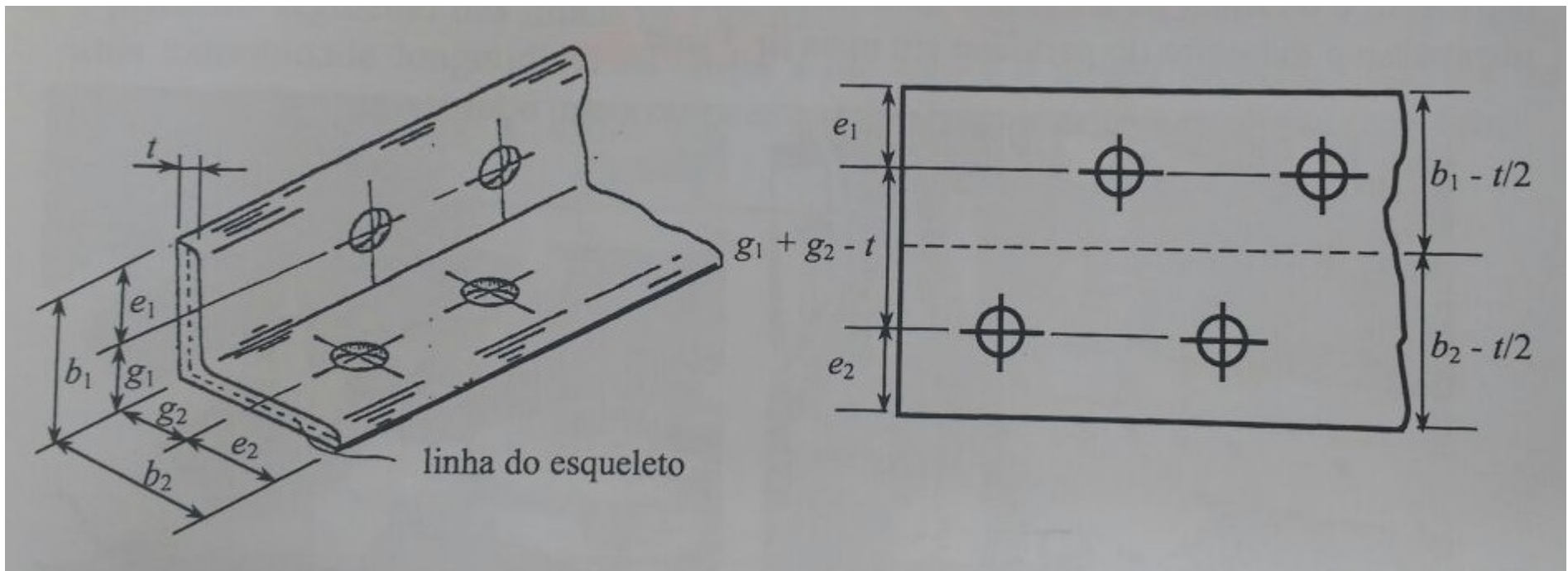
Para cada uma das linhas de ruptura admitidas:

Linha 1	→	N
Linha 2	→	N
Linha 3	→	$N - 2 \cdot \frac{N}{8} = \frac{6}{8}N$

2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.3) Área líquida A_n

- d) para cantoneiras, o gabarito g dos furos em abas opostas deve ser considerado igual à soma dos gabaritos, medidos a partir da aresta da cantoneira, subtraída de sua espessura;
- e) na determinação da área líquida de seção que compreenda soldas de tampão ou soldas de filete em furos, a área do metal da solda deve ser desprezada.



2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.3) Área líquida A_n

5.2.4.2 Em regiões em que não existam furos, a área líquida, A_n , deve ser tomada igual à área bruta da seção transversal, A_g .

- Área Líquida em ligação parafusada com uma linha única de parafusos:

$$A_n = t \cdot [b - (\phi_{paraf} + 2mm + 1,5mm)]$$

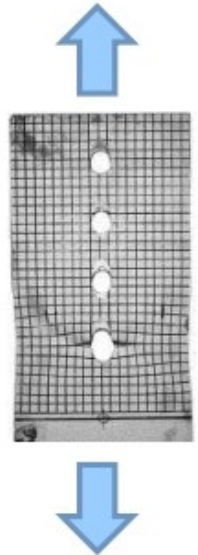
espessura
da peça

largura
da peça

diâmetro do
parafuso

bordo avariado
na estampagem
do furo

folga do
furo padrão



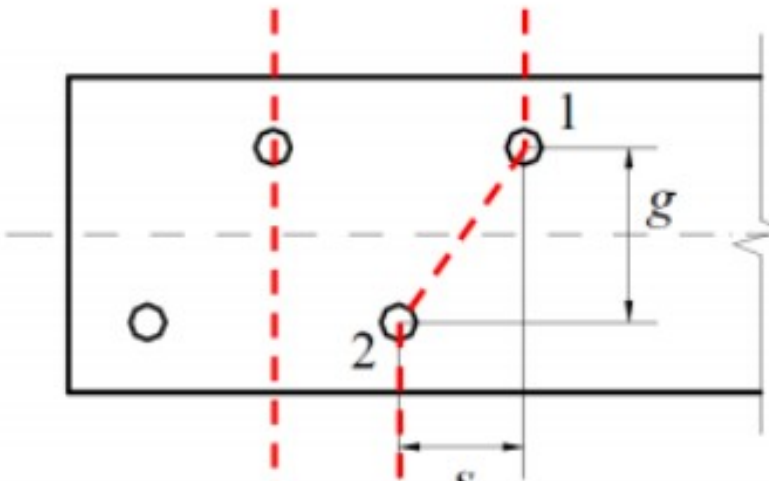
2. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

2.3) Área líquida A_n

$$A_n = t \cdot \left[b - \sum_N (\phi_{paraf} + 3,5mm) + \sum_{N-1} \frac{s^2}{4g} \right]$$

número de furos na seção de ruptura

valor somado para cada linha oblíqua ligando dois furos não alinhados


$$A_n = t \cdot [b - (\phi_{paraf} + 3,5mm)]$$
$$A_n = t \cdot \left[b - 2 \cdot (\phi_{paraf} + 3,5mm) + \frac{s^2}{4g} \right]$$

3. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO (ELS)

As barras tracionadas não apresentam problemas de instabilidade pois a tração tende a retificá-las;

Recomenda-se o limite de esbeltez máximo: 300

Para evitar que as barras fiquem demasiadamente flexíveis:

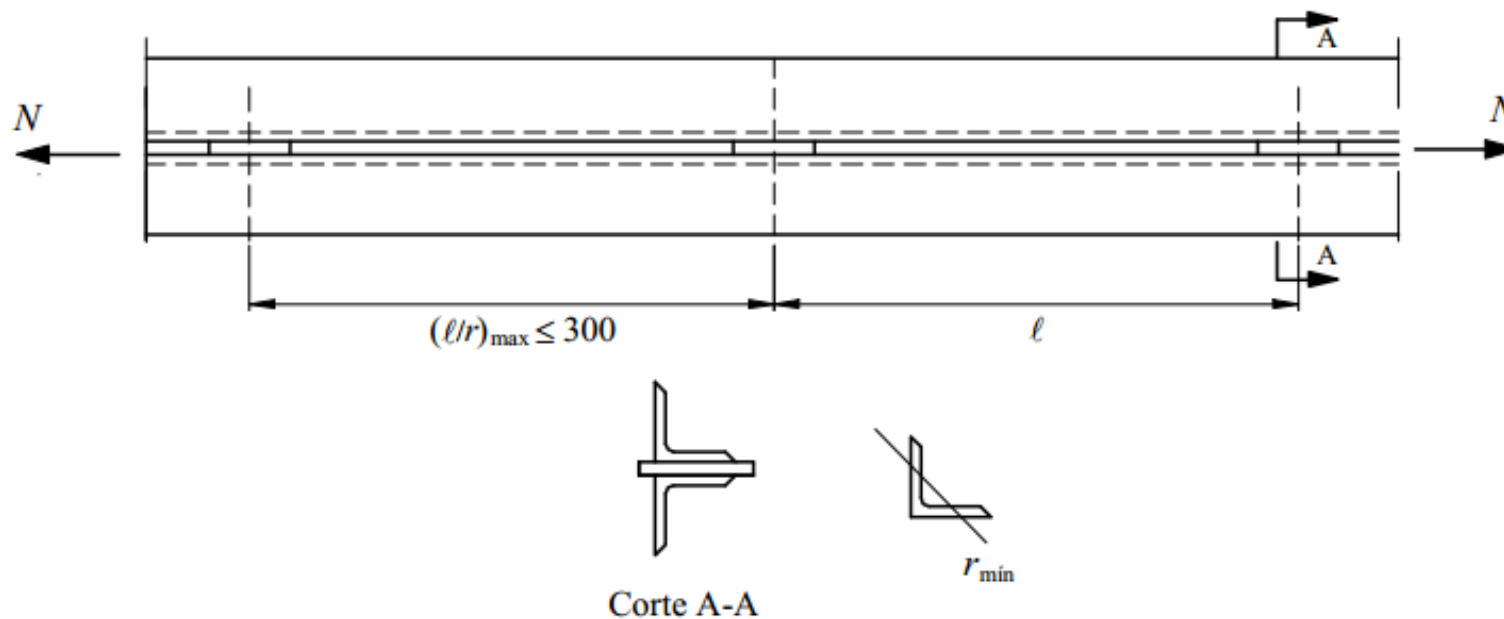
- Deformação excessiva;
- Vibração quando atuarem ações variáveis - desconforto

3. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO (ELS)

5.2.8 Limitação do índice de esbeltez

5.2.8.1 Recomenda-se que o índice de esbeltez das barras tracionadas, tomado como a maior relação entre o comprimento destravado e o raio de giração correspondente (L/r), excetuando-se tirantes de barras redondas pré-tensionadas ou outras barras que tenham sido montadas com pré-tensão, não supere 300 (ver 5.2.8.3).

5.2.8.2 Recomenda-se que perfis ou chapas, separados uns dos outros por uma distância igual à espessura de chapas espaçadoras, sejam interligados através dessas chapas espaçadoras, de modo que o maior índice de esbeltez de qualquer perfil ou chapa, entre essas ligações, não ultrapasse 300, conforme exemplifica a Figura 10 (ver 5.2.8.3).



3. DIMENSIONAMENTO AOS ESTADOS LIMITES DE SERVIÇO (ELS)

