

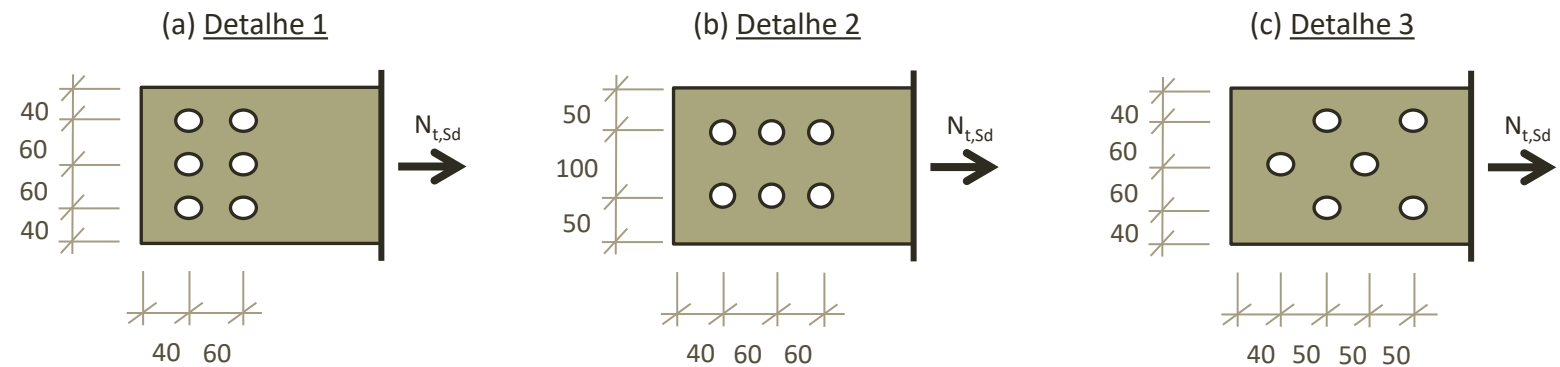
ELEMENTOS TRACIONADOS

Exemplo de aplicação: esforço resistente em chapa parafusada

ECIV059 – ESTRUTURAS DE AÇO
Prof. Luciano Barbosa dos Santos
lbsantos@ctec.ufal.br
(04/2026)

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Determine o esforço resistente de projeto para uma chapa com seção transversal de 200mm x 22,2mm admitindo os três detalhes de ligação indicados nas figuras ao lado. Adote parafusos de 19mm instalados em furos puncionados e metal base em aço ASTM A36.

**RESOLUÇÃO****1. DADOS DA QUESTÃO**

Dimensões da chapa: $b = 200\text{mm} = 20\text{cm}$
 $t = 22,2\text{mm} = 2,22\text{cm}$
 $A_g = 20 \times 2,22 = 44,40\text{cm}^2$

Aço ASTM A36: $f_y = 250\text{MPa} = 25\text{kN/cm}^2$
 $f_u = 400\text{MPa} = 40\text{kN/cm}^2$

Diâmetro dos parafusos: $d_b = 19\text{mm}$

Diâmetro dos furos: $d_f = d_b + 1,5\text{mm} + 2,0\text{mm}$
 $d_f = 19\text{mm} + 1,5\text{mm} + 2,0\text{mm}$
 $d_f = 22,5\text{mm} = 2,25\text{cm}$

2. ESCOAMENTO DA SEÇÃO BRUTA (ESB)

$$N_{ty,Rd} = A_g f_y / \gamma_{a1} = 44,40 \times 25 / 1,10$$

$$N_{ty,Rd} = 1.009,09\text{kN} \quad (\text{Valor válido para os três detalhes})$$

3. RUPTURA DA SEÇÃO LÍQUIDA EFETIVA (RSLE)

Determinação do coeficiente C_t

Em se tratando de chapas e barras chatas, temos:

$$C_t = 1,00$$

Determinação da área líquida A_n

Os três detalhes indicados possuem o mesmo número de parafusos (06 no total); contudo, como estão dispostos de formas diferentes, cada detalhe apresentará um valor diferente de área líquida (A_n).

Área Líquida para o Detalhe 1

Quantidade de furos existentes na linha de ruptura: 3

$$A_n = A_g - \sum d_f t_{ch}$$

$$A_n = 44,40 - 3 \times 2,25 \times 2,22$$

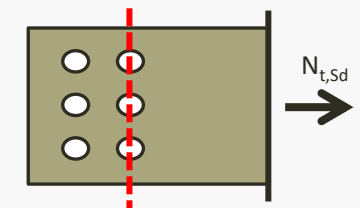
$$A_n = 29,42\text{cm}^2$$

Esforço resistente à R.S.L.E. para o Detalhe 1

$$N_{tu,Rd,Det1} = A_e f_u / \gamma_{a2} = C_t A_n f_u / \gamma_{a2}$$

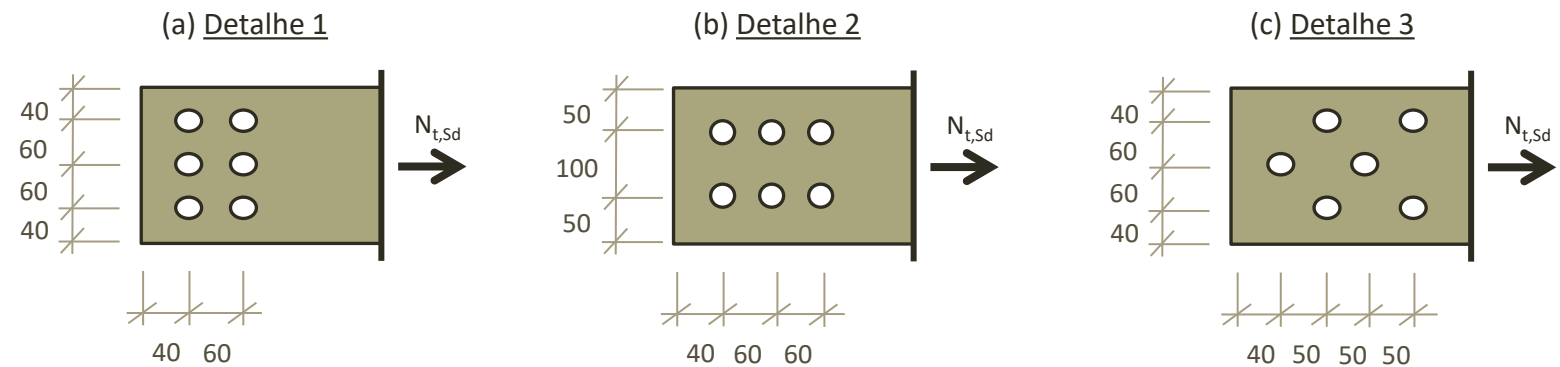
$$N_{tu,Rd,Det1} = 1,00 \times 29,42 \times 25 / 1,35$$

$$N_{tu,Rd,Det1} = 871,56\text{kN}$$



EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Determine o esforço resistente de projeto para uma chapa com seção transversal de 200mm x 22,2mm admitindo os três detalhes de ligação indicados nas figuras ao lado. Adote parafusos de 19mm instalados em furos puncionados e metal base em aço ASTM A36.

Esforço resistente de projeto para o detalhe 1:

O esforço resistente de projeto ($N_{t,Rd}$) é o menor valor obtido entre o ESB e a RSLE. Logo, para a situação em estudo:

$$N_{t_y,Rd,Det1} = 1.009,09\text{kN}$$

$$N_{t_u,Rd,Det1} = 871,56\text{kN}$$

$$N_{t,Rd,Det1} = 871,56\text{kN}$$

Assim, se a barra vier a colapsar, será por ruptura da seção líquida efetiva (RSLE).

Área Líquida para o Detalhe 2:

Quantidade de furos na linha de ruptura: 2

$$A_n = A_g - \sum d_f t_{ch}$$

$$A_n = 44,40 - 2 \times 2,25 \times 2,22$$

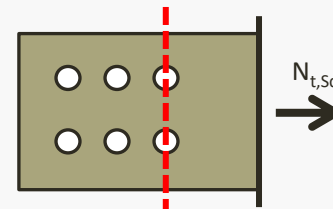
$$A_n = 34,41\text{cm}^2$$

Esforço resistente à R.S.L.E. para o Detalhe 2:

$$N_{t_u,Rd,Det2} = A_e f_u / \gamma_{a2} = C_t A_n f_u / \gamma_{a2}$$

$$N_{t_u,Rd,Det2} = 1,00 \times 34,41 \times 25 / 1,35$$

$$N_{t_u,Rd,Det2} = 1.019,56\text{kN}$$

Esforço resistente de projeto para o detalhe 2:

Novamente, o esforço resistente de projeto ($N_{t,Rd}$) é o menor valor obtido entre o ESB e a RSLE. Assim, para o detalhe 2:

$$N_{t_y,Rd,Det2} = 1.009,09\text{kN}$$

$$N_{t_u,Rd,Det2} = 1.019,56\text{kN}$$

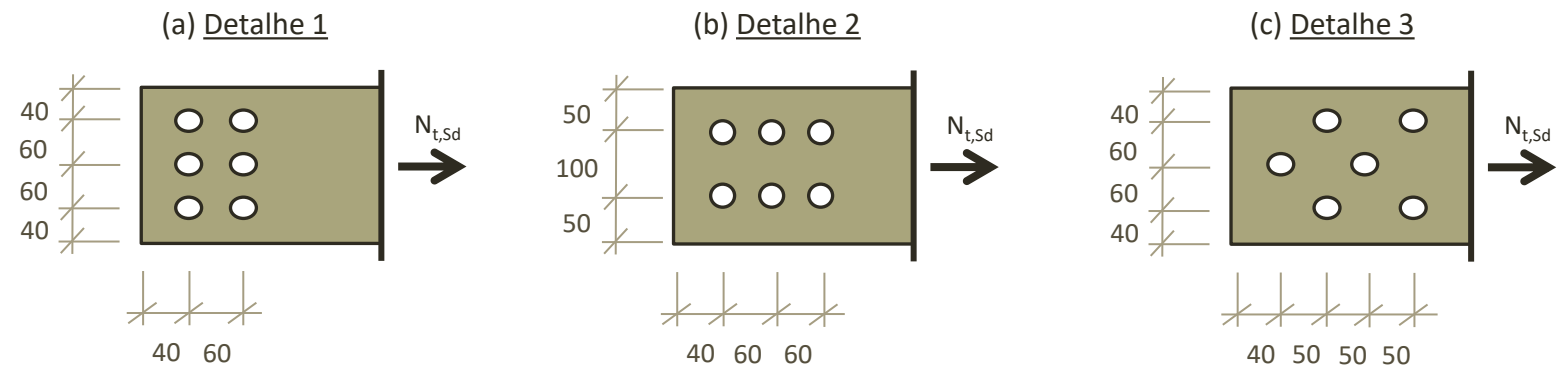
$$N_{t,Rd,Det2} = 1.009,09\text{kN}$$

Caso a barra entre em colapso, será por escoamento da seção bruta (ESB).

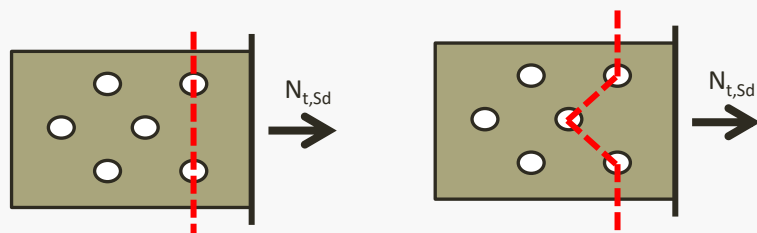
Note que a mudança no detalhe da ligação aumentou a capacidade resistente da barra e alterou o modo de colapso.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Determine o esforço resistente de projeto para uma chapa com seção transversal de 200mm x 22,2mm admitindo os três detalhes de ligação indicados nas figuras ao lado. Adote parafusos de 19mm instalados em furos puncionados e metal base em aço ASTM A36.

Área Líquida para o Detalhe 3:

O detalhe 3 possui duas linhas de ruptura possíveis, a primeira delas “passando” por dois furos e a segunda “passando” por três furos e dois trechos inclinados. Ambas as linhas de ruptura estão indicadas a seguir:



(Linha de Ruptura 1)

(Linha de Ruptura 2)

Neste caso, é necessário calcular o valor das duas áreas líquidas e adotar o menor valor no cálculo do esforço resistente à ruptura da seção líquida efetiva (RSLE).

Área Líquida para a linha de ruptura 1 (Detalhe 3):

Quantidade de furos na linha de ruptura: 2

$$A_n = A_g - \sum d_f t_{ch}$$

$$A_n = 44,40 - 2 \times 2,25 \times 2,22$$

$$A_n = 34,41 \text{ cm}^2$$

Área Líquida para a linha de ruptura 2 (Detalhe 3):

Quantidade de furos na linha de ruptura: 3
Trechos inclinados na linha de ruptura: 2

$$s = 50 \text{ mm} = 5 \text{ cm}$$

$$g = 60 \text{ mm} = 6 \text{ cm}$$

$$A_n = A_g - \sum d_f t_{ch} + \sum ts^2/4g$$

$$A_n = 44,40 - 3 \times 2,25 \times 2,22 + 2 \times 2,22 \times 5^2 / (4 \times 6)$$

$$A_n = 34,04 \text{ cm}^2$$

Esforço resistente à R.S.L.E. para o Detalhe 3

$$A_n = 34,04 \text{ cm}^2$$

$$N_{tu,Rd,Det3} = A_e f_u / \gamma_{a2} = C_t A_n f_u / \gamma_{a2}$$

$$N_{tu,Rd,Det3} = 1,00 \times 34,04 \times 25 / 1,35$$

$$N_{tu,Rd,Det3} = 1.008,59 \text{ kN}$$

Esforço resistente de projeto para o detalhe 3:

$$N_{ty,Rd,Det3} = 1.009,09 \text{ kN}$$

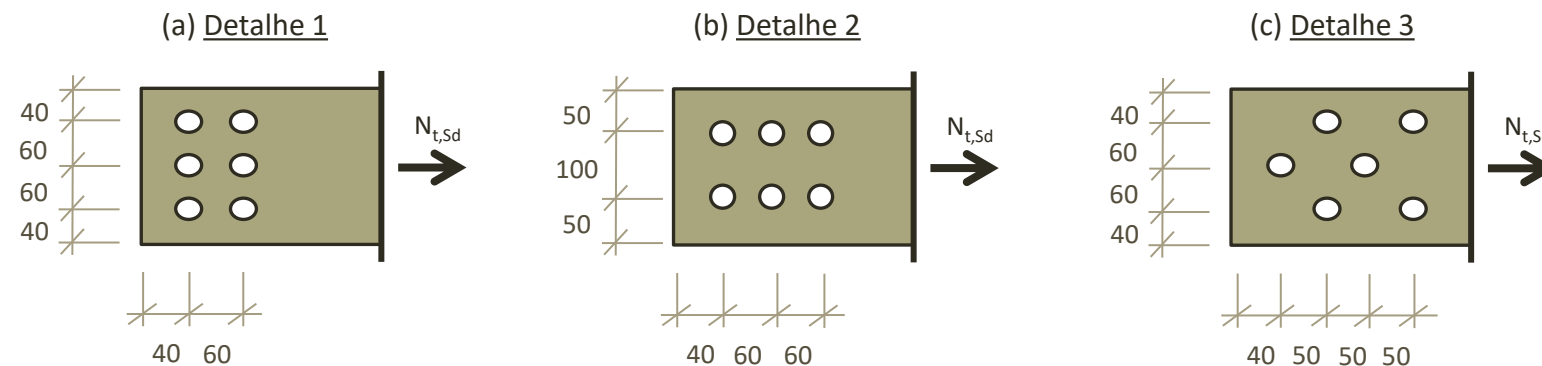
$$N_{tu,Rd,Det3} = 1.008,59 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd,Det3} = 1.008,59 \text{ kN}$$

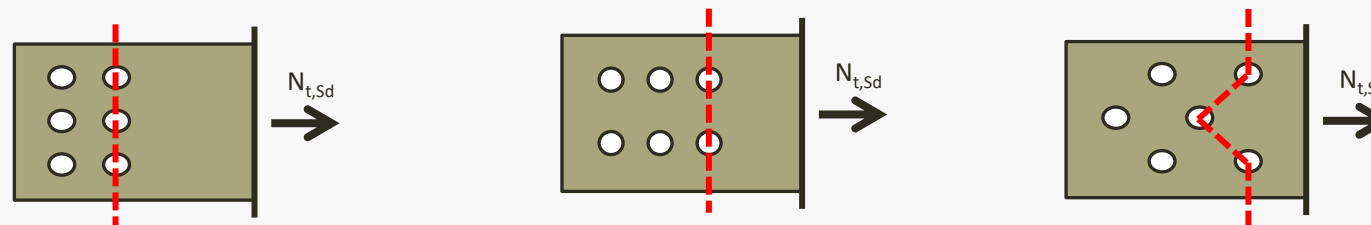
Note que o arranjo em zig-zag do detalhe 3 levou a um esforço resistente maior do que aquele fornecido pelo detalhe 2, porém menor do que o fornecido pelo detalhe 1.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Determine o esforço resistente de projeto para uma chapa com seção transversal de 200mm x 22,2mm admitindo os três detalhes de ligação indicados nas figuras ao lado. Adote parafusos de 19mm instalados em furos puncionados e metal base em aço ASTM A36.

**4. RESUMO E COMPARAÇÃO DE RESULTADOS**

ESTADO LIMITE ÚLTIMO	DETALHE 1	DETALHE 2	DETALHE 3
E.S.B.	$N_{ty,Rd} = 1.009,09 \text{ kN}$	$N_{ty,Rd} = 1.009,09 \text{ kN}$	$N_{ty,Rd} = 1.009,09 \text{ kN}$
R.S.L.E.	$N_{tu,Rd} = 871,56 \text{ kN}$	$N_{tu,Rd} = 1.019,56 \text{ kN}$	$N_{tu,Rd} = 1.008,59 \text{ kN}$
ESFORÇO RESISTENTE	$N_{t,Rd} = 871,56 \text{ kN}$	$N_{t,Rd} = 1.009,09 \text{ kN}$	$N_{t,Rd} = 1.008,59 \text{ kN}$



FIM

ECIV059 – ESTUTURAS DE AÇO
Prof. Luciano Barbosa dos Santos
lbsantos@ctec.ufal.br
(04/2026)