

ELEMENTOS TRACIONADOS

Exemplo de aplicação: barra com seção transversal em I

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



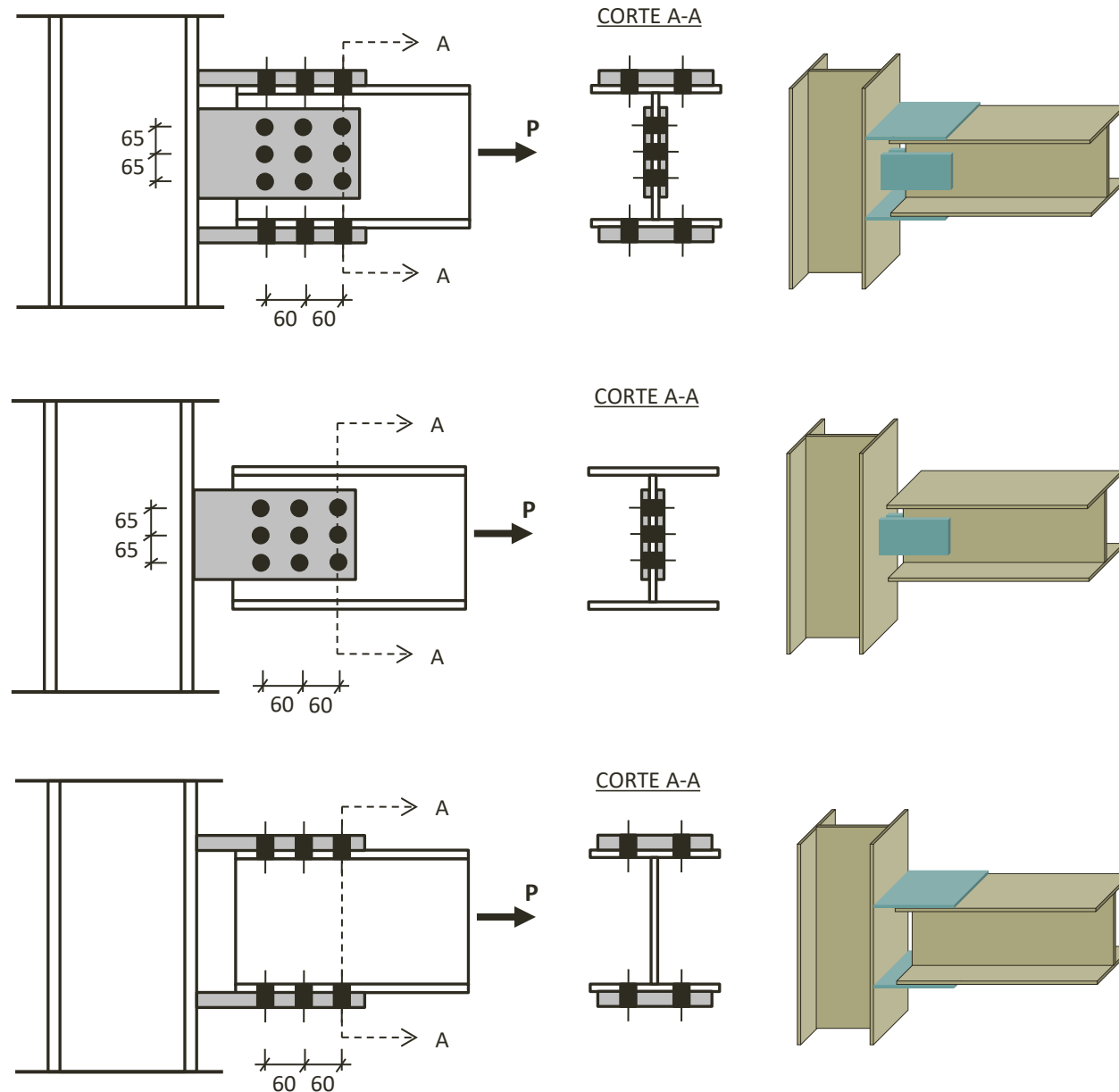
As figuras ao lado mostram diferentes formas de se ligar um perfil I.

No primeiro caso, a ligação é feita por meio de talas localizadas tanto na região das mesas quanto na região da alma. Nos demais casos a ligação é feita apenas pela alma ou apenas pelas mesas.

Conforme pode ser visto nas figuras, as talas são elementos que permitem a ligação de um perfil ao outro.

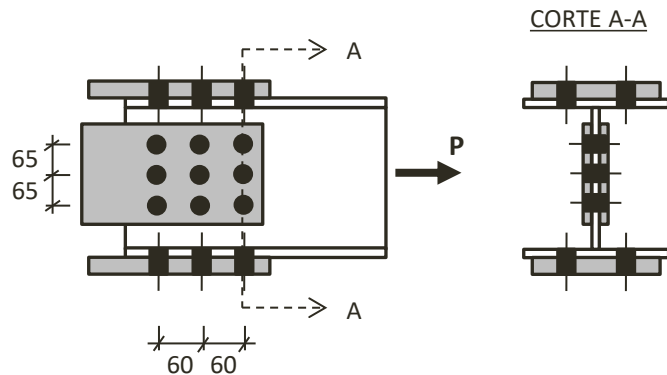
Que influência isso tem no esforço resistente do perfil tracionado? É o que vamos estudar no exemplo de aplicação apresentado a seguir.

Conforme será visto, detalhes diferentes levam a valores diferentes de área líquida (A_n) e do coeficiente de tração (C_t), o que tende a afetar o esforço resistente da barra.



EXEMPLO DE APLICAÇÃO – DETALHE 1

Para o detalhe de ligação indicado a seguir, determine o valor de projeto do esforço resistente à tração da barra de acordo com a NBR 8800: 2024. Adote aço AR345, perfil CVS 250 x 33 e parafusos de 19mm instalados em furos puncionados.



RESOLUÇÃO

1. DADOS DA QUESTÃO

Perfil CVS 250 x 33:

$$\begin{aligned} A_g &= 41,90\text{cm}^2 \\ b_f &= 170\text{mm} = 17\text{cm} \\ t_f &= 8,0\text{mm} = 0,80\text{cm} \\ h_w &= 234\text{mm} = 23,4\text{cm} \\ t_w &= 6,3\text{mm} = 0,63\text{cm} \end{aligned}$$

Aço AR 345:

$$\begin{aligned} f_y &= 345\text{MPa} = 34,5\text{kN/cm}^2 \\ f_u &= 450\text{MPa} = 45,0\text{kN/cm}^2 \end{aligned}$$

Diâmetro dos parafusos:

$$d_b = 19\text{mm}$$

2. ESCOAMENTO DA SEÇÃO BRUTA (ESB)

$$\begin{aligned} N_{ty,Rd} &= A_g f_y / \gamma_{a1} = 41,90 \times 34,5 / 1,10 \\ N_{ty,Rd} &= 1.314,14\text{kN} \end{aligned}$$

Note que o esforço resistente ao ESB não é influenciado pelo detalhe da ligação.

3. RUPTURA DA SEÇÃO LÍQUIDA EFETIVA (RSLE)

a) Diâmetro dos furos

$$\begin{aligned} d_f &= d_b + 1,5\text{mm} + 2,0\text{mm} \\ d_f &= 19\text{mm} + 1,5\text{mm} + 2,0\text{mm} = 22,5\text{mm} \\ d_f &= 2,25\text{cm} \end{aligned}$$

b) Determinação da área líquida A_n

Note que, na linha de ruptura da seção transversal, há quatro furos nas mesas e três furos na alma do perfil. Logo, a área líquida da seção é dada por:

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - \sum d_f t_{ch} \\ A_n &= 41,90 - 4 \times 2,25 \times 0,80 - 3 \times 2,25 \times 0,63 \\ A_n &= 30,45\text{cm}^2 \end{aligned}$$

c) Determinação do coeficiente C_t

Quando o detalhe da ligação envolve todos os elementos da seção transversal da barra tem-se $C_t = 1,0$.

d) Determinação de $N_{tu,Rd}$

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

$$\begin{aligned} N_{tu,Rd} &= 1,0 \times 30,45 \times 45,0 / 1,35 \\ N_{tu,Rd} &= 1.015,00\text{kN} \end{aligned}$$

4. CONCLUSÃO DA QUESTÃO

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

$$\begin{aligned} N_{ty,Rd} &= 1.314,14\text{kN} \\ N_{tu,Rd} &= 1.015,00\text{kN} \end{aligned}$$

$$N_{t,Rd} = 1.015,00\text{kN}$$

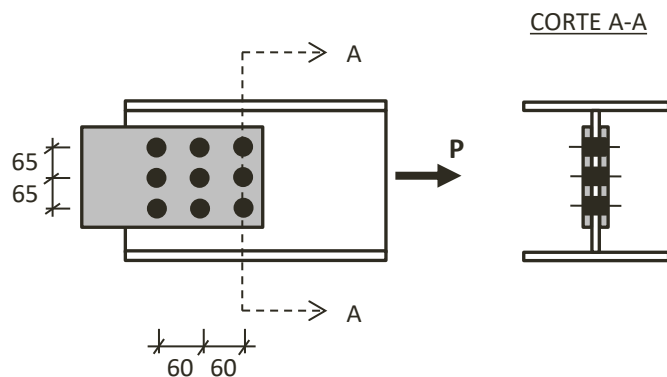
Caso a barra entre em colapso, será por ruptura da seção líquida efetiva (RSLE).

PARA PENSAR

As talas da ligação também precisam ser verificadas? Qual deve ser a marcha de cálculo a ser adotada? E os parafusos, também precisam ser verificados?

EXEMPLO DE APLICAÇÃO – DETALHE 2

Para o detalhe de ligação indicado a seguir, determine o valor de projeto do esforço resistente à tração da barra de acordo com a NBR 8800: 2024. Adote aço AR345, perfil CVS 250 x 33 e parafusos de 19mm instalados em furos puncionados.

**RESOLUÇÃO****1. DADOS DA QUESTÃO**

Perfil CVS 250 x 33:

$$\begin{aligned} A_g &= 41,90 \text{ cm}^2 \\ b_f &= 170 \text{ mm} = 17 \text{ cm} \\ t_f &= 8,0 \text{ mm} = 0,80 \text{ cm} \\ h_w &= 234 \text{ mm} = 23,4 \text{ cm} \\ t_w &= 6,3 \text{ mm} = 0,63 \text{ cm} \end{aligned}$$

Aço AR 345:

$$\begin{aligned} f_y &= 345 \text{ MPa} = 34,5 \text{ kN/cm}^2 \\ f_u &= 450 \text{ MPa} = 45,0 \text{ kN/cm}^2 \end{aligned}$$

Diâmetro dos parafusos:

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

2. ESCOAMENTO DA SEÇÃO BRUTA (ESB)

$$\begin{aligned} N_{ty,Rd} &= A_g f_y / \gamma_{a1} = 41,90 \times 34,5 / 1,10 \\ N_{ty,Rd} &= 1.314,14 \text{ kN} \end{aligned}$$

Note que o esforço resistente ao ESB não é influenciado pelo detalhe da ligação.

3. RUPTURA DA SEÇÃO LÍQUIDA EFETIVA (RSLE)

a) Diâmetro dos furos

$$\begin{aligned} d_f &= d_b + 1,5 \text{ mm} + 2,0 \text{ mm} \\ d_f &= 19 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm} + 2,0 \text{ mm} = 22,5 \text{ mm} \\ d_f &= 2,25 \text{ cm} \end{aligned}$$

b) Determinação da área líquida A_n

Note que, neste novo detalhe de ligação, a linha de ruptura da seção transversal possui apenas os três furos na alma do perfil. Logo;

$$\begin{aligned} A_n &= A_g - \sum d_f t_{ch} \\ A_n &= 41,90 - 3 \times 2,25 \times 0,63 \\ A_n &= 37,65 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

c) Determinação do coeficiente C_t

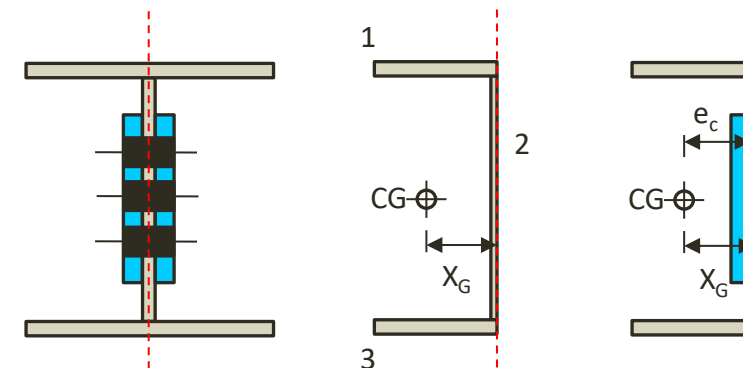
Quando o detalhe da ligação não envolve todos os elementos da seção o coeficiente de tração deve ser calculado por:

$$C_t = 1 - e_c / L_c$$

Considerando o sentido de atuação da força de tração, o comprimento da ligação é dado pela distância entre o centro do primeiro ao último furo. Assim:

$$L_c = 2 \times 60 \text{ mm} = 120 \text{ mm} = 12 \text{ cm}$$

Para o cálculo de e_c é necessário dividir a seção transversal ao meio, conforme mostrado na figura a baixo, e determinar a posição do CG da figura resultante.



REGIÃO	A (cm ²)	\bar{X} (cm)	$\bar{A}\bar{X}$ (cm ³)
1	$17/2 \times 0,80 = 6,80$	$0,5 \times 17/2 = 4,25$	28,90
2	$23,4 \times 0,63/2 = 7,37$	$0,63/2 = 0,315$	2,32
3	$17/2 \times 0,80 = 6,80$	$0,5 \times 17/2 = 4,25$	28,90
TOTAL	20,97 cm²		60,12 cm³

Assim:

$$X_G = \Sigma AX / \Sigma A = 60,12 / 20,97 = 2,87 \text{ cm}$$

$$e_c = X_G - t_w / 2 = 2,87 - 0,63 / 2 = 2,55 \text{ cm}$$

$$C_t = 1 - e_c / L_c = 1 - 2,55 / 12,00 = 0,79$$

$$0,6 < C_t < 0,9 \quad \text{Ok!}$$

d) Determinação de $N_{tu,Rd}$

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

$$N_{tu,Rd} = 0,79 \times 37,65 \times 45,0 / 1,35$$

$$N_{tu,Rd} = \mathbf{991,45 \text{ kN}}$$

4. CONCLUSÃO DA QUESTÃO

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

Logo, para a situação em questão:

$$N_{ty,Rd} = 1.314,14 \text{ kN}$$

$$N_{tu,Rd} = 991,45 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \mathbf{991,45 \text{ kN}}$$

COMPARANDO OS RESULTADOS

Detalhe 1

$$N_{ty,Rd} = 1.314,14 \text{ kN}$$

$$N_{tu,Rd} = 1.015,00 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \mathbf{1.015,00 \text{ kN}}$$

Detalhe 2

$$N_{ty,Rd} = 1.314,14 \text{ kN}$$

$$N_{tu,Rd} = 991,45 \text{ kN}$$

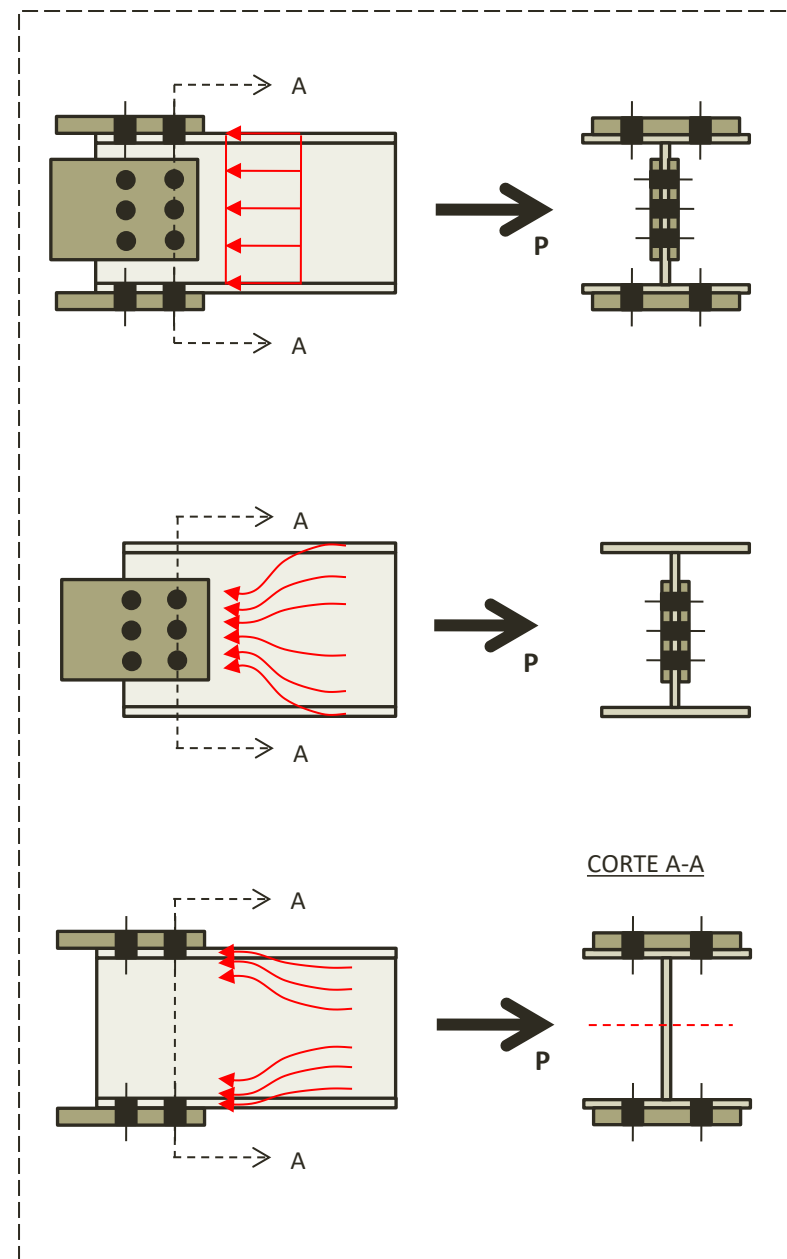
$$N_{t,Rd} = \mathbf{991,45 \text{ kN}}$$

PARA PENSAR

O detalhe 1 possui mais furos do que o detalhe 2, entretanto, apresentou maior esforço resistente. A que se deve isso?

EXERCÍCIO PROPOSTO

Verifique a barra considerando a ligação com talas apenas nas mesas do perfil. Qual será o efeito disso no esforço resistente? Como deve ser feito o cálculo do centro geométrico e da excentricidade da ligação? Resolva a questão e compare com os resultados obtidos anteriormente.



FIM

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