

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia Departamento de Engenharia de Estruturas

Especialização em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado
e Aço

Brenda Isabelle Ribeiro de Oliveira

**ANALISE DO PROJETO DE REVISÃO DA ABNT NBR 8800:
EFEITO DE ALAVANCA NO DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES
METÁLICAS**

Belo Horizonte

2024

Brenda Isabelle Ribeiro de Oliveira

**ANALISE DO PROJETO DE REVISÃO DA ABT NBR 8800:
EFEITO DE ALAVANCA NO DIMENSIONAMENTO DE
LIGAÇÕES METÁLICAS**

Monografia apresentado(a) ao curso de especialização em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Estruturas.

Área de concentração: Estruturas de Aço
Orientador: Rodrigo Barreto Caldas

Belo Horizonte

2024

O48a

Oliveira, Brenda Isabelle Ribeiro de.

Análise do projeto de revisão da ABT NBR 8800 [recurso eletrônico] : efeito de alavanca no dimensionamento de ligações metálicas / Brenda Isabelle Ribeiro de Oliveira. - 2024.

1 recurso online (14 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Rodrigo Barreto Caldas.

“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais” .

Bibliografia: f. 14.

1. Engenharia de estruturas. 2. Estruturas - Dimensionamento. 3. Normas técnicas (Engenharia). 4. Estruturas metálicas. I. Caldas, Rodrigo Barreto. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 624



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA / TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Aos **três dias** do mês de **dezembro de 2024**, às 18h, a estudante Brenda Isabelle Ribeiro de Oliveira, matrícula 2023689737, defendeu o Trabalho intitulado “**Análise do Projeto de Revisão da ABT NBR 8800: Efeito de Alavanca no Dimensionamento de Ligações Metálicas**”.

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, por nada mais terem a declarar; assinam eletronicamente a presente ata.

Nota: (75)

Orientador(a): Prof. Rodrigo Barreto Caldas

Nota: (75)

Examinador(a): Eng. João Pedro Navarro Rocha



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Barreto Caldas, Professor do Magistério Superior**, em 25/03/2025, às 09:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **João Pedro Navarro Rocha, Usuário Externo**, em 25/03/2025, às 20:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3787427** e o código CRC **4397557D**.

INSTRUÇÕES

Este documento deve ser editado apenas pelo Orientador e deve ser assinado eletronicamente por todos os membros da banca.

RESUMO

O dimensionamento de estruturas de aço e de obras mistas de aço e concreto de edifícios é feito respeitando e tendo como referência a ABNT NBR 8800. Em fevereiro de 2024, entrou em consulta nacional seu processo de revisão. Este trabalho relata as propostas apresentadas na revisão, com ênfase na seção 6: condições específicas para o dimensionamento de ligações metálicas, que sofreu mudanças relevantes na verificação do efeito de alavanca. Sua versão anterior se mostra mais conservadora e restrita. A seção 6.3.5 Efeito de Alavanca, aprimorou seu dimensionamento e conceitos, foi apresentado uma breve discussão sobre e feito um comparativo entre os conceitos usados anteriormente e os propostos pelo projeto.

Palavras-chave: Estruturas metálicas; Ligação; Efeito de Alavanca; Chapa rígida; Chapa flexível.

ABSTRACT

The design of steel structures and composite steel and concrete building structures is carried out in accordance with ABNT NBR 8800. In February 2024, its revision process entered into national consultation. This paper reports on the proposals presented in the revision, with emphasis on section 6: specific conditions for the design of steel connections, which has undergone significant changes in the verification of the leverage effect. Section 6.3.5 Leverage effect has improved its design and concepts, a brief discussion has been presented and a comparison has been made between the concepts used previously and those proposed by the project.

Keywords: Steel structures; Connection; Lever effect; Rigid plate; Flexible plate.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ligação com T.....	10
Figura 2 – Ligação com T deformada.....	11
Figura 3 – Nomenclatura do efeito de alavanca.....	11
Figura 4 – Diagrama de corpo livre do trecho entre a face da alma do T e o centro do parafuso.....	11
Figura 5 – Geometria para o efeito de alavanca.....	15
Figura 6 – Dimensões e parâmetros para estudo de caso.....	17
Gráfico 1 – Relação $Ft, Sd \times t$ (espessura).....	20

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	EFEITO DE ALAVANCA.....	10
3	PROCEDIMENTO CONFORME ABNT NBR 8800:2024.....	15
4	ESTUDO DE CASO.....	17
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	21
	REFERÊNCIAS.....	22

1 INTRODUÇÃO

Ligações metálicas é o termo utilizado para se referir as conexões entre componentes de um perfil, emendas de barras, ligações entre chapas e ligações de barra com elementos externos, tais como bases de concreto.

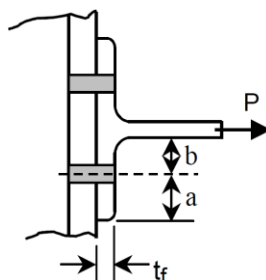
As ligações metálicas são compostas por meios de ligação, dispositivo que executam a união entre as partes da estrutura, como parafusos, barras roscadas, pinos e soldas. E os elementos de ligações, que são os componentes incluídos nas ligações para permitir ou facilitar a transmissão de esforços, sendo eles chapas de ligação, enrijecedores, cantoneiras e consolos.

Os componentes de uma ligação devem ser dimensionados de forma que sua resistência de cálculo a um determinado estado-limite ultimo seja igual ou inferior à solicitação de cálculo. Na revisão da ABNT NBR 8800, propõe-se que as ligações devam atender também a uma base de distribuição realística de esforços solicitantes, admitindo-se os seguintes critérios para sua determinação:

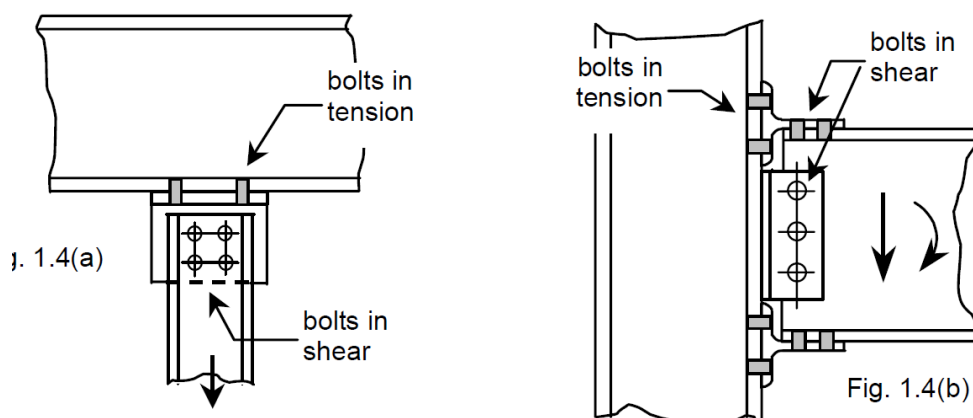
- Os esforços utilizados em análise devem estar em equilíbrio com os esforços aplicados a ligações;
- Cada componente da ligação deve resistir aos esforços solicitantes;
- As deformações da distribuição dos esforços solicitantes não podem exceder a capacidade de deformação dos elementos e meios de ligação;
- A distribuição dos esforços solicitantes adotada deve ser compatível com a rigidez de cada componente da ligação;
- As deformações assumidas em modelos de análise plástica devem ser baseadas em deslocamentos e deformações cinematicamente possíveis;

2 EFEITO DE ALAVANCA

A deformação das partes conectadas podem produzir acréscimo de força nas reações dos parafusos. Por exemplo, a ligação mostrada na Figura 1 que possui 4 parafusos conectando a mesa a uma chapa, que pode ser a mesa de um pilar.



(a) Ligação com T tracionando os parafusos



(b) Exemplos onde ligações com T são utilizadas Figura 1. Ligação com T (Fonte: Kulak 2002)

A força de tração solicitante em cada parafuso será superior a $P/4$ devido a deformação das partes conectadas. Conforme a Figura 2, a mesa do T atua como uma alavanca. O efeito de alavanca depende principalmente da rigidez das chapas ligadas (mesa do T) além de outros fatores como a capacidade de deformação dos parafusos e as dimensões a e b mostradas na Figura 1a. Chapas rígidas terão pouca deformação por flexão e consequentemente o efeito de alavanca pode ser desconsiderado. À medida que a chapa se torna mais flexível, aumenta o valor da força Q mostrada na Figura 3 e consequentemente a força solicitante no parafuso B. A dimensão b deve ser a menor possível (o mínimo para garantir a instalação dos parafusos) para minimizar a força Q .

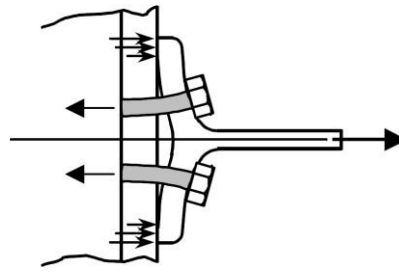


Figura 2. Ligação com T deformada (Fonte: Kulak 2002)

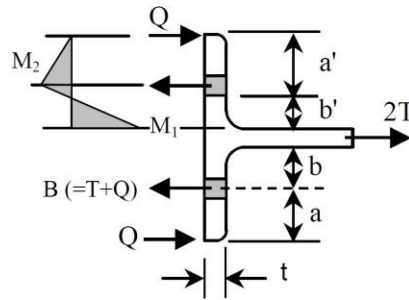


Figura 3. Nomenclatura do efeito de alavanca (Fonte: Kulak 2002)

Kulak et al (1987) apresenta uma revisão de vários modelos desenvolvidos para quantificar o efeito de alavanca. O modelo apresentado a seguir, consta no projeto de revisão da ABNT NBR 8800:2024, obtido da ANSI AISC 360:2022. A partir do equilíbrio de forças na Figura 3:

$$B = T + Q \quad (1)$$

Considerando o diagrama de corpo livre do trecho entre a extremidade da mesa do T e o centro do parafuso (não mostrado na Figura 3) tem-se:

$$M_2 = Qa \quad (2)$$

Considerando o diagrama de corpo livre do trecho entre a face da alma do T e o centro do parafuso (Figura 4) tem-se:

$$M_1 + M_2 - Tb = 0 \quad (3a)$$

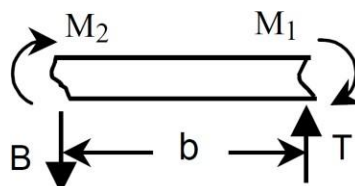


Figura 4. diagrama de corpo livre do trecho entre a face da alma do T e o centro do parafuso (Fonte: Kulak 2002)

Os momentos M_1 e M_2 atuam em diferentes seções transversais, o primeiro na seção bruta e o segundo na seção líquida (reduzida pelo furo do parafuso). Para normalizar a Eq. 3a, M_2 será multiplicado pela razão entre a seção líquida e a seção bruta representada por δ . Dessa forma a Eq. 3a fica

$$M_1 + \delta M_2 - Tb = 0 \quad (3b)$$

Também, será conveniente escrever M_2 como um fração α de M_1 , com α variando de 0 a 1.

$$M_1 + \alpha \delta M_1 - Tb = 0 \quad (3c)$$

Resolvendo para encontrar M_1

$$M_1 = \frac{Tb}{1 + \alpha \delta} \quad (4)$$

Eq. 2 pode ser reescrita

$$\alpha \delta M_1 = Qa \quad (5)$$

ou

$$Q = \frac{\alpha \delta}{a} M_1 \quad (6a)$$

Substituindo a Eq.4 na Eq. 5

$$Q = \left(\frac{\alpha \delta}{1 + \alpha \delta} \right) \left(\frac{b}{a} \right) T \quad (6b)$$

e levando na Eq. 1 ($B = T + Q$), tem-se a força solicitante no parafuso

$$B = T \left[1 + \left(\frac{\alpha \delta}{1 + \alpha \delta} \right) \left(\frac{b}{a} \right) \right] \quad (7a)$$

Para representar melhor os resultados experimentais, a AISI ANSI 360:2022 utiliza a' e b' (Figura 3) no lugar de a e b (Kulak et al, 1987). Dessa forma

$$B = T \left[1 + \left(\frac{\alpha \delta}{1 + \alpha \delta} \right) \left(\frac{b'}{a'} \right) \right] \quad (7b)$$

A força solicitante no parafuso obtida da Eq. (7b) deve ser menor ou igual força resistente do parafuso $F_{t,Rd} = A_{bef}f_{ub}/\gamma_{a2}$ para verificar se o parafuso atende. Outro requerimento é que a capacidade resistente a flexão da chapa (mesa do T) seja adequada. A capacidade resistente a flexão (momento de plastificação) é dada por Zf_y / γ_{a1} . A AISC ANSI 360:2022 utiliza a resistência a ruptura f_u no lugar de f_y para melhor se adequar aos resultados experimentais. Dessa forma, para uma largura p tributária da chapa referente a um parafuso, a capacidade resistente ao momento fletor é

$$M_{Rd} = \frac{pt^2f_u}{4\gamma_{a1}} \quad (8)$$

Igualando o momento resistente a M_1 dado pela Eq. (4) e resolvendo para a espessura requerida t da chapa (mesa do T)

$$t = \sqrt{\frac{4b'T\gamma_{a1}}{pf_u(1+\delta\alpha)}} \quad (9a)$$

Nas equações apresentadas pela ABNT NBR 8800:2024: b' é substituído por $b-0,5d_b$; a é substituído por $a+0,5d_b$; T é a força solicitante de cálculo no parafuso sem o efeito de alavanca $F_{t,0,Sd}$; d_b é o diâmetro do parafuso; e a razão entre a seção líquida e a seção bruta representada por $\delta=1-d_f/p$, sendo d_f o diâmetro do furo. Assim a espessura da chapa deve atender a condição

$$t \geq \sqrt{\frac{4(b-0,5d_b)F_{t,0,Sd}\gamma_{a1}}{pf_u(1+\delta\alpha)}} \quad (9b)$$

Na análise da força solicitante no parafuso (Eq. 7b) e da espessura da chapa (Eq. 9b) deve-se conhecer o valor de α que representa a razão entre M_2 e M_1 . O valor de α pode variar de 0 a 1.

Se $\alpha = 1,0$ indica que há uma rótula plástica nas localizações de M_2 e M_1 e o efeito de alavanca é máximo, ou seja, na Eq. 7b tem-se o maior valor de força solicitante no parafuso e na Eq. 9b tem-se a menor espessura da chapa (chapa flexível).

Se $\alpha = 0$, não há efeito de alavanca e na Eq. 7b tem-se $B = T$ e na Eq. 9b tem-se a maior espessura da chapa (chapa rígida).

O valor de α pode estabelecido de forma que o parafuso seja completamente utilizado (componente normalmente mais caro da ligação), ou seja, de forma que a condição $B = F_{t,Rd}$, seja atendida, assim

$$T \left[1 + \left(\frac{\alpha \delta}{1 + \alpha \delta} \right) \left(\frac{b'}{a'} \right) \right] = F_{t,Rd} \quad (10)$$

$$\text{sendo } F_{t,Rd} = \frac{A_{b e f_{ub}}}{\gamma_{a2}}$$

Considerando a nomenclatura da ABNT NBR 8800:2024: $B = F_{t,Sd}$; $T = F_{t,0,Sd}$; b' substituído por $b - 0,5d_b$; a' substituído por $a + 0,5d_b$ a Eq. 10 fica

$$F_{t,0,Sd} \left[1 + \left(\frac{\alpha \delta}{1 + \alpha \delta} \right) \left(\frac{b - 0,5d_b}{a + 0,5d_b} \right) \right] = F_{t,Rd} \quad (11)$$

Isolando o termo entre parênteses que contem α e δ

$$\left(\frac{\alpha \delta}{1 + \alpha \delta} \right) = \left(\frac{F_{t,Rd}}{F_{t,0,Sd}} - 1 \right) \left(\frac{a + 0,5d_b}{b - 0,5d_b} \right) \quad (12)$$

e chamando este termo de β tem-se

$$\beta = \left(\frac{\alpha \delta}{1 + \alpha \delta} \right) \quad (13a)$$

e

$$\beta = \left(\frac{a + 0,5d_b}{b - 0,5d_b} \right) \left(\frac{F_{t,Rd}}{F_{t,0,Sd}} - 1 \right) \quad (13b)$$

A partir da Eq. 13a tem-se

$$\alpha = \frac{1}{\delta} \left(\frac{\beta}{1 - \beta} \right) \quad (14)$$

Nas equações anteriores, a razão entre a seção líquida e a seção bruta $\delta = 1 - d_f/p$, sendo d_f o diâmetro do furo do parafuso.

Pela Eq. 13b o valor de β deve ser sempre maior ou igual a zero pois a razão $F_{t,Rd}/F_{t,0,Sd}$ deve ser sempre superior ou igual a 1,0. Caso β seja menor do que zero, o parafuso deve ser alterado para um parafuso mais resistente. Pela Eq. 14 os valores de β fazem sentido entre 0 e 1 sendo que α é proporcional a β nesse intervalo tendendo a infinito quando β tende a 1. Lembrando que α deve ter valores de 0 a 1 (limites de placa rígida a flexível). Para β superior a 1,0, α se torna negativo (o que não faz sentido). Dessa forma, a Eq. 14 somente leva a valores de α entre 0 e 1 (limites de aplicação entre

placa rígida e flexível) para b variando de 0 a 1. Assim a ABNT NBR 8800:2024 resume essas observações.

$$\alpha = \begin{cases} 1,0 & \text{se } \beta \geq 1,0 \\ \text{mínimo} \left[1,0; \frac{1}{\delta} \left(\frac{\beta}{1-\beta} \right) \right] & \text{se } 0 < \beta < 1,0 \end{cases} \quad (14)$$

3 PROCEDIMENTO CONFORME ABNT NBR 8800:2024

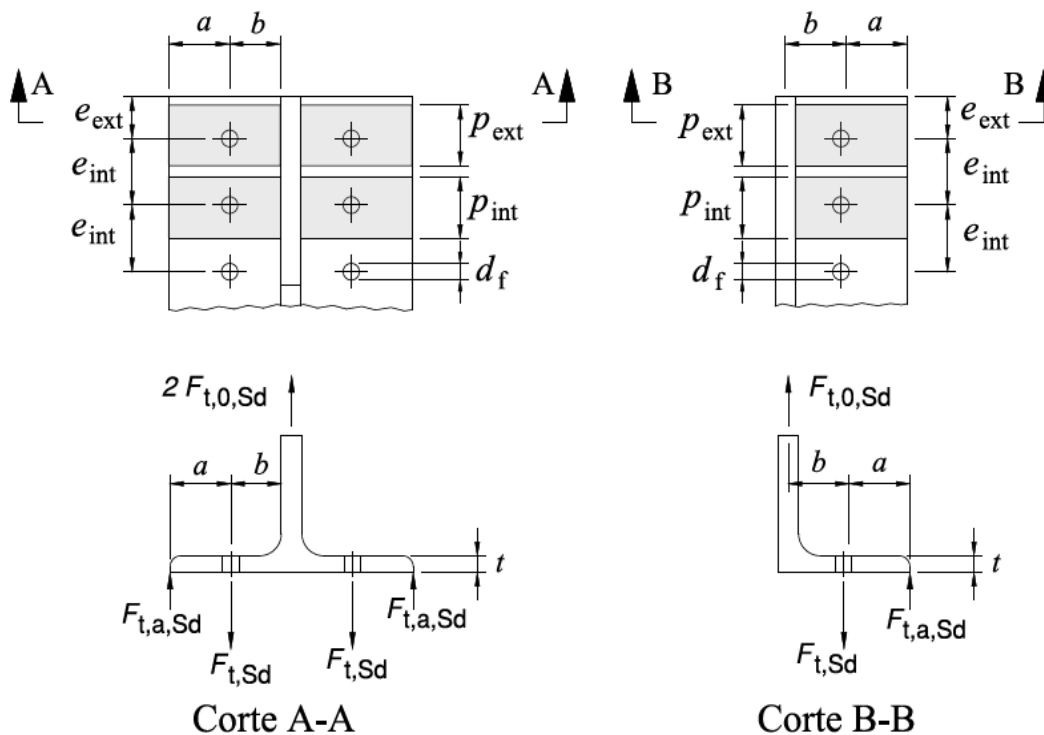
Para determinação da espessura t , considera-se a força atuante em um parafuso e a largura tributária p , obtida através da análise de cada lado do parafuso.

- para parafuso de extremidade:

$$p_{\text{ext}} = \left(< \frac{e_{\text{ext}}}{1,75b} \right) + \left(< \frac{e_{\text{int}}/2}{1,75b} \right) \quad (15)$$

- para parafuso interno:

$$p_{\text{int}} = \left(< \frac{e_{\text{int}}}{3,5b} \right) \quad (16)$$



(a) Chapas em forma de T com parafuso nos dois lados

(b) Chapas em forma de L ou T com parafuso em apenas

Figura 5. Geometria para o efeito de alavanca (Fonte: Figura 15 do Projeto de Revisão da NBR 8800)

Onde:

$F_{t,Rd}$. força de tração resistente de calculo

$F_{t,Sd}$. força de tração solicitante no parafuso, sem consideração do efeito de alavanca

p_{ext} e p_{int} larguras tributárias dos parafusos externos e internos, respectivamente

d_b diâmetro nominal do parafuso ou da barra rosqueada

d_f dimensão do furo na direção da largura tributária

Para que uma placa seja considerada rígida, ou seja, para que o efeito alavanca possa ser considerado nulo, sua espessura deve ser obtida pela seguinte equação:

$$t \geq \sqrt{\frac{4(b - 0,5d_b)F_{t,Sd}\gamma_{a1}}{p f_u}} \quad (17)$$

Onde:

t espessura da placa

f_u resistência a ruptura do aço da placa

γ_{a1} coeficiente de ponderação da resistência do aço para escoamento, igual a 1,10

p menor valor entre p_{ext} e p_{int}

A espessura da placa flexível, para que o conjunto placa e parafusos seja considerado adequado para resistir à força de tração solicitante de cálculo, deve ser calculada pela seguinte equação, que contempla, implicitamente, o efeito alavanca:

$$t \geq \sqrt{\frac{4(b - 0,5d_b)F_{t,Sd}\gamma_{a1}}{p f_u (1 + \delta\alpha)}} \quad (18)$$

Onde:

$$\delta = 1 - \frac{d_f}{p}$$

$$\beta = \left(\frac{a + 0,5 d_b}{b - 0,5 d_b} \right) \left(\frac{F_{t,Rd}}{F_{t,0,Sd}} - 1 \right) > 0$$

$$\alpha = \begin{cases} 1 & \text{se } \beta \geq 1,00 \\ \min \left[1,0 ; \left[\frac{1}{\delta} \left(\frac{\beta}{1 - \beta} \right) \right] \right] & \text{se } 0 < \beta < 1,0 \end{cases}$$

Se o parâmetro β for menor que zero, o parafuso deve ser alterado e para efeito de cálculo a dimensão de a não pode ser maior que $1,25b$.

4 ESTUDO DE CASO

A Figura 6 apresenta o detalhamento de um método de ligação muito usual. Para análise comparativa do efeito de alavanca, serão aplicadas as prescrições da ABNT NBR 8800:2008, e pelo método de placa rígida e placa flexível, propostos pelo projeto de revisão. Considerando que os parafusos são ISO Classe 8.8 e a chapa verificada vai ser a de 16 mm, possuindo menor espessura, se encontra em condição pior que a mesa inferior da viga.

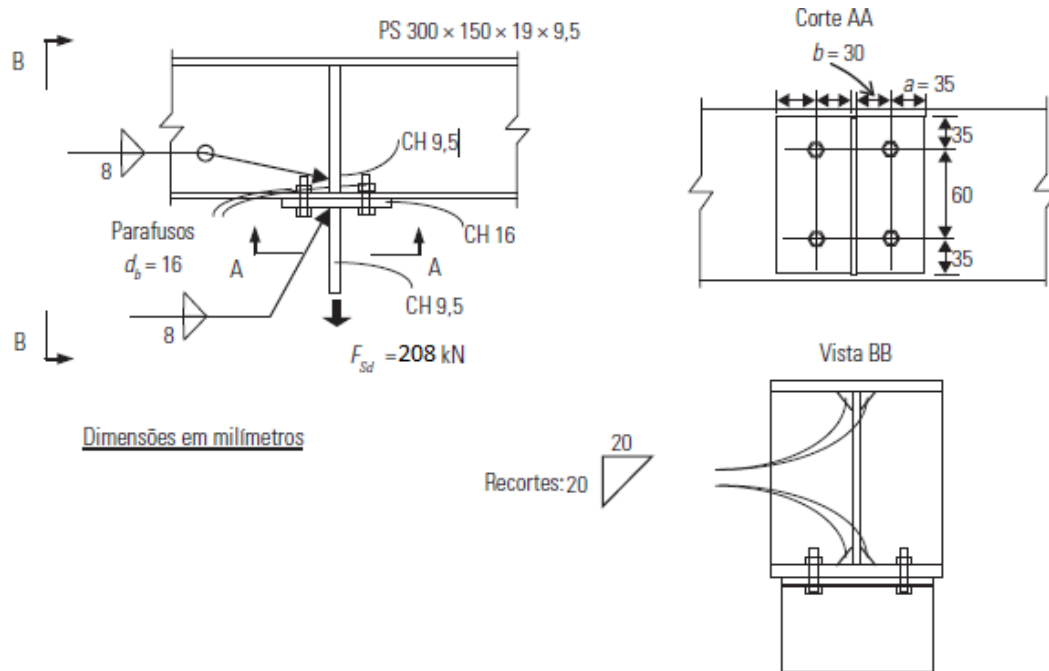


Figura 6. Dimensões e parâmetros do estudo de caso.

Verificação pela ABNT NBR 8800:2008

- Tração nos parafusos

$$F_{t,Sd} = \frac{F_{Sd}}{n_t} \leq F_{t,Rd} = \frac{A_{be} f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

$$F_{t,Sd} = \frac{208}{4} = 52 \text{ kN}$$

$$\phi_a = 0,67 \text{ (por causa do efeito de alavanca)}$$

$$A_{be} = 0,75 A_b = 0,75 \left(\frac{\pi d_b^2}{4} \right) = 0,75 \left(\frac{\pi \times 1,6^2}{4} \right) = 1,51 \text{ cm}^2$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,67 \times 1,51 \times 80}{1,35} = 60 \text{ kN}$$

$$F_{t,Sd} = 52 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 60 \text{ kN} \Rightarrow \text{Atende!}$$

- *Flexão da CH 16 do T*

$$a = 3,5\text{cm} > b = 3\text{cm} \Rightarrow \text{Atende!}$$

$$M_{Sd} = F_{t,Sd}b \leq M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{pt^{2f_y}}{4\gamma_{a1}}$$

$$M_{Sd} = 52 \times 3 = 156 \text{ KN.cm}$$

$$p = \left(< \begin{cases} 35\text{mm} \\ 30 + 0,5 \times 16 = 38\text{mm} \end{cases} \right) + \left(< \begin{cases} 60/2 = 30\text{mm} \\ 30 + 0,5 \times 16 = 38\text{mm} \end{cases} \right) = 35 + 30 = 65\text{mm} = 6,5\text{cm}$$

$$M_{Rd} = \frac{6,5 \times 1,6^2 \times 35}{4 \times 1,10} = 132,4 \text{ KN.cm}$$

$$M_{Sd} = 156 \text{ KN.cm} < M_{Rd} = 132,4 \text{ KN.cm} \Rightarrow \text{Não Atende!}$$

Verificação pelo método de Placa Rígida proposto no projeto de revisão

- *Tração nos parafusos*

$$F_{t,Sd} = \frac{F_{Sd}}{n_t} \leq F_{t,Rd} = \frac{A_{be} f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

$$F_{t,Sd} = \frac{208}{4} = 52 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{1,51 \times 80}{1,35} = 89,48 \text{ kN}$$

$$F_{t,Sd} = 52 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 89,48 \text{ kN} \Rightarrow \text{Atende!}$$

- *Flexão da CH 16 do T*

$$t \geq \sqrt{\frac{4(b - 0,5d_b)F_{t,Sd}\gamma_{a1}}{p f_u}}$$

$$p = \left(< \begin{cases} 35 \text{ mm} \\ 1,75 \times 30 = 52,5 \text{ mm} \end{cases} \right) + \left(< \begin{cases} 60 / 2 = 30 \text{ mm} \\ 1,75 \times 30 = 52,5 \text{ mm} \end{cases} \right) = 35 + 30 = 65 \text{ mm} = 6,5 \text{ cm}$$

$$t = 1,6\text{cm} \geq \sqrt{\frac{4(3 - 0,5 \times 1,6)52 \times 1,10}{6,5 \times 50}} = 1,24 \text{ cm} \Rightarrow \text{Atende!}$$

Verificação pelo método de **Placa Flexível** proposto no projeto de revisão

- *Tração nos parafusos*

$$F_{t,Sd} = \frac{F_{Sd}}{n_t} \leq F_{t,Rd} = \frac{A_{be} f_{ub}}{\gamma_{a2}}$$

$$F_{t,Sd} = \frac{208}{4} = 52 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{1,51 \times 80}{1,35} = 89,48 \text{ kN}$$

$$F_{t,Sd} = 52 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 89,48 \text{ kN} \Rightarrow \textbf{Atende!}$$

- *Flexão da CH 16 do T*

$$t \geq \sqrt{\frac{4(b-0,5d_b)F_{t,Sd}\gamma_{a1}}{pf_u(1+\delta\alpha)}}$$

$$p = \left(< \begin{cases} 35 \text{ mm} \\ 1,75 \times 30 = 52,5 \text{ mm} \end{cases} \right) + \left(< \begin{cases} 60 / 2 = 30 \text{ mm} \\ 1,75 \times 30 = 52,5 \text{ mm} \end{cases} \right) = 35 + 30 = 65 \text{ mm} = 6,5 \text{ cm}$$

$$\beta = \left(\frac{35+0,5 \times 16}{30-0,5 \times 16} \right) \times \left(\frac{89,48}{52} - 1 \right) = 1,41 > 0 \text{ com } a = 30 \leq 1,25 \times 30 = 37,5 \text{ mm}$$

$$\delta = 1 - \frac{1,95}{6,5} = 0,7$$

$$\alpha = \begin{cases} 1 & \text{se } \beta \geq 1,00 \\ \min \left[1,0 ; \left[\left(\frac{1}{\delta} \right) \times \left(\frac{\beta}{1-\beta} \right) \right] \right] & \text{se } 0 < \beta < 1,0 \end{cases} \Rightarrow \alpha = 1$$

$$t = 1,6 \text{ cm} \geq \sqrt{\frac{4(3-0,5 \times 1,6)52 \times 1,10}{6,5 \times 50 \times (1+0,7 \times 1)}} = 0,95 \text{ cm} \Rightarrow \textbf{Atende!}$$

Considerando os dados do estudo de caso, foi elaborado o Gráfico 1 para análise da relação t versus $(F_{t,Rd} / F_{t,0,Sd})$. O valor da espessura foi obtida considerando placa flexível variando-se a razão $(F_{t,Rd} / F_{t,0,Sd})$ entre 2 e 1 para cálculo do β e consequentemente da espessura.

No gráfico, observa-se que para a razão $(F_{t,Rd} / F_{t,0,Sd}) = 1$, ou seja a solicitação no parafuso é igual a resistência, sem qualquer folga, a placa tem espessura igual a 1,24 cm, portanto, o valor obtido no estudo quando a placa é considerada rígida. A espessura diminui até 0,954 cm quando a razão $(F_{t,Rd} / F_{t,0,Sd}) = 1,2$ ou seja a resistência é 20% a mais que a solicitação e não apresenta mais redução para razões maiores, demonstrando que folgas elevadas nos parafusos não implicam em um benefício para a o dimensionamento da chapa.

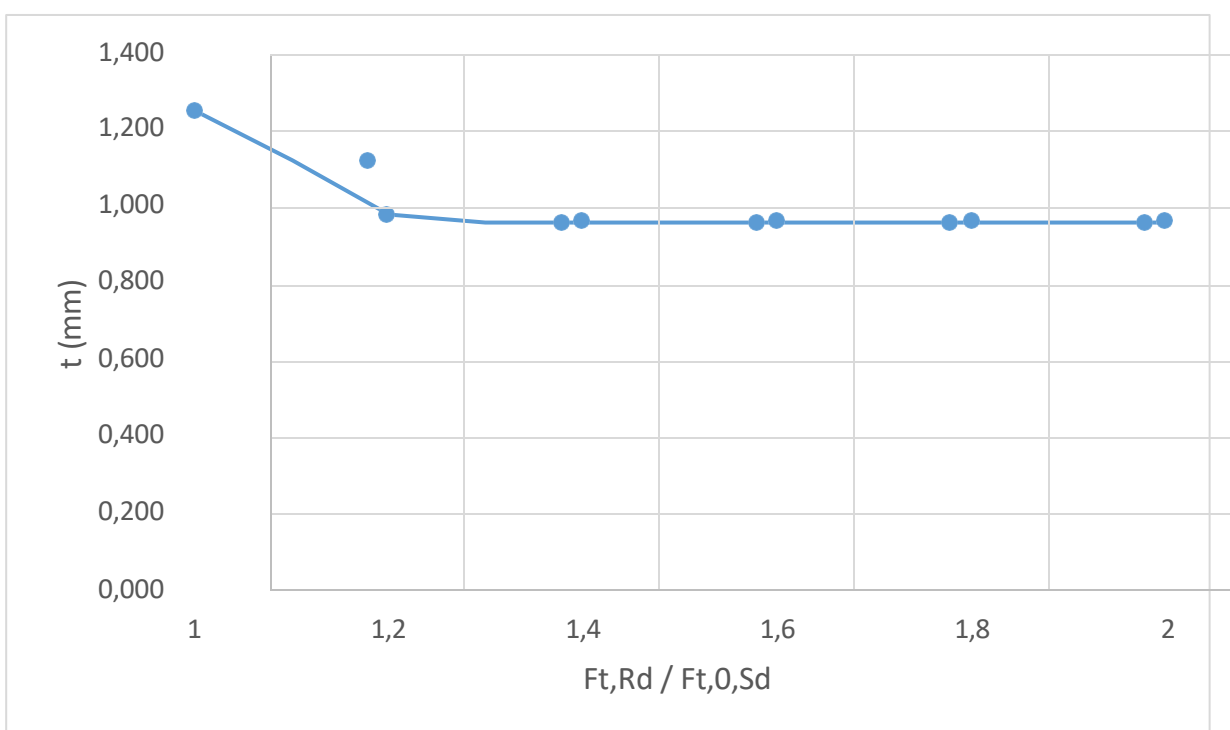


Gráfico 1. Relação t versus $(F_{t,Rd} / F_{t,0,Sd})$

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o estudo de caso apresentado, ficou claro como o projeto de revisão da norma ABNT NBR 8800, seção 6.3.5 (Efeito de Alavanca) melhorou seus conceitos principalmente em relação a capacidade de resistência. A primeira mudança favorável a ressaltar nesse projeto é a retirada do ϕ_a , fator de redução da força resistente devido ao efeito de alavanca que no estudo de caso resultou em um aumento de mais de 45% na força de tração resistente de cálculo do parafuso, o que na verificação pela ABNT NBR 8800/2008, a força de tração nos parafuso estava quase no limite, na verificação pela revisão estava com bastante folga, o que olhando isoladamente poderia resultar, na troca do parafuso por um diâmetro menor.

Já nos cálculos de flexão da chapa em T de 16mm com força de tração de 208Kn, pela ABNT NBR 8800/2008 que estuda o efeito de alavanca pelo momento que ele exerce na ligação, a chapa dimensionada não atenderia o momento solicitante. Porém nas duas verificações propostas pelo projeto de revisão da norma, tanto o conceito de placa rígida, que é quando o efeito de alavanca é nulo, quando o conceito de placa flexível que considera o efeito de alavanca a espessura da chapa atenderia com folga a força de tração exercida nela.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2008

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. REVISÃO NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2024

SITE ABECE. NBR 8800 em consulta nacional. 2023. Disponível em: <
<https://site.abece.com.br/nbr-8800-em-consulta-nacional/> > Acesso em:
junho.2024

SITE ASTM.ORG. ASTM F3125/F3125M. 2023. Disponível em: <
https://www.astm.org/f3125_f3125m-23.html> Acesso em: junho. 2024

FAKURY, Ricardo H. CALDAS, Rodrigo B. SILVA, Ana Lydia R.de C.
Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto. 1º
edição. Pearson Education do Brasil Ltda, 2017.

KULAK, G.L., FISHER, J.W., STRUIK, J.A.H. Guide to Design Criteria for Bolted and
Riveted Joints, Second Edition, John Wiley, New York, 1987.

KULAK, Geoffrey. High Strength Bolts. A Primer for Structural Engineers, Steel
Design Guide, American Institute of Steel Construction, 2002.