

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

**CÁLCULO DE LIGAÇÕES DE ESTRUTURAS DE AÇO DE  
PÓRTICO INTERNO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL**

AUTOR: JOSÉ AUGUSTO PEREIRA BARBOSA  
PROF. ORIENTADOR: ARMANDO CESAR CAMPOS LAVALL

2016

<b><u>ITEM</u></b>	<b><u>DESCRIÇÃO</u></b>	<b><u>FOLHA</u></b>
1.	INTRODUÇÃO .....	4
2.	OBJETIVO .....	4
3.	ESTRUTURA EM ANÁLISE .....	5
3.1.	SEÇÕES DOS COMPONENTES ESTRUTURAIS .....	7
3.2.	RESULTADOS NAS REAÇÕES NAS BARRA .....	8
3.2.1.	REAÇÕES VIGA V1 .....	9
3.2.1.	REAÇÕES VIGA V2.....	9
4.	VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES .....	10
4.1.	TRELIÇA – LIGAÇÃO NÓ 13 .....	10
	▪ DADOS: .....	11
	▪ DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS: .....	12
	▪ CISALHAMENTO PARAFUSO – BARRA 13 .....	12
	▪ PRESSÃO DE CONTATO – BARRA 13 .....	13
	▪ COMPRESSÃO NAS CANTONEIRAS – BARRA 13 .....	14
	▪ COMPRESSÃO NA CHAPA DE 8MM.....	15
	▪ COLAPSO POR RASGAMENTO DA CANTONEIRA – BARRA 13 .....	15
	▪ COLAPSO POR RASGAMENTO DA CHAPA – BARRA 13 .....	16
	▪ BARRAS 11, 12 E 21 .....	17
4.2.	LIGAÇÃO DA VIGA V1 COM PILAR .....	18
	▪ DADOS: .....	18
	▪ DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS .....	19
	▪ CISALHAMENTO PARAFUSO .....	20
	▪ PRESSÃO DE CONTATO .....	21
	▪ COLAPSO POR RASGAMENTO DA CANTONEIRA .....	22
	▪ CISALHAMENTO DA CANTONEIRA .....	22
	▪ VERIFICAÇÃO DA SOLDA .....	23
4.3.	LIGAÇÃO DA VIGA V2 COM VPI .....	26
	▪ DADOS: .....	26
	▪ DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS .....	27
	▪ CISALHAMENTO PARAFUSO .....	28
	▪ PRESSÃO DE CONTATO .....	29
	▪ COLAPSO POR RASGAMENTO DA CANTONEIRA .....	30
	▪ CISALHAMENTO DA CANTONEIRA .....	30

▪ VERIFICAÇÃO DA SOLDA .....	31
▪ VERIFICAÇÃO DA VIGA SUPORTADA .....	33
<b>4.4. LIGAÇÃO DA VIGA VPI COM PILAR .....</b>	<b>36</b>
▪ DADOS: .....	36
▪ DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS .....	37
▪ MESAS E ALMA DA VIGA.....	39
<b>4.4.1. VERIFICAÇÃO DOS PARAFUSOS E CHAPAS DE LIGAÇÃO .....</b>	<b>40</b>
▪ CISALHAMENTO PARAFUSO .....	40
▪ PRESSÃO DE CONTATO .....	40
▪ TRAÇÃO NOS PARAFUSOS .....	41
▪ EFEITO ALAVANCA .....	41
▪ TRAÇÃO E CISALHAMENTO .....	43
<b>4.4.2. VERIFICAÇÃO PILAR .....</b>	<b>44</b>
▪ CISALHAMENTO NA ALMA DO PILAR .....	44
<b>4.4.3. VERIFICAÇÃO DA SOLDA .....</b>	<b>44</b>
▪ SOLDA DE FILETE ENTRE A CHAPA DE EXTREMIDADE E A ALMA DA VIGA .....	45
<b>4.4.4. VERIFICAÇÃO ENRIJECEDORES .....</b>	<b>47</b>
▪ CISALHAMENTO .....	47
▪ SOLDA .....	47
<b>4.5. BASE DO PILAR .....</b>	<b>50</b>
▪ DISPOSIÇÕES E LIMITAÇÕES CONSTRUTIVAS.....	50
▪ ESFORÇOS SOLICITANTES NA BASE.....	51
<b>4.5.1. CHUMBADORES .....</b>	<b>52</b>
▪ ESCOAMENTO DA SEÇÃO BRUTA .....	52
▪ RUPTURA DA SEÇÃO ROSQUEADA .....	53
▪ ARRANCAMENTO DO CONCRETO .....	53
▪ RUPTURA DO CONCRETO .....	43
<b>4.5.2. VERIFICAÇÃO DA PLACA DE BASE .....</b>	<b>54</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>56</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

O projeto de estruturas de aço envolve a especificação e o cálculo das ligações entre os seus diversos componentes, envolvendo elementos de ligação, como chapas e cantoneiras, e meio de ligação, como soldas e parafusos.

Os elementos e meios de ligação devem ser dimensionados de forma que sua resistência de cálculo aos estados-limites seja igual ou superior à solicitação de cálculo, determinada: (1) pela análise da estrutura sujeita às combinações de cálculo das ações ou (2) como uma porcentagem especificada da resistência de uma das barras conectadas. Em algumas situações específicas, o dimensionamento pode também ter como base um estado-limite de serviço.

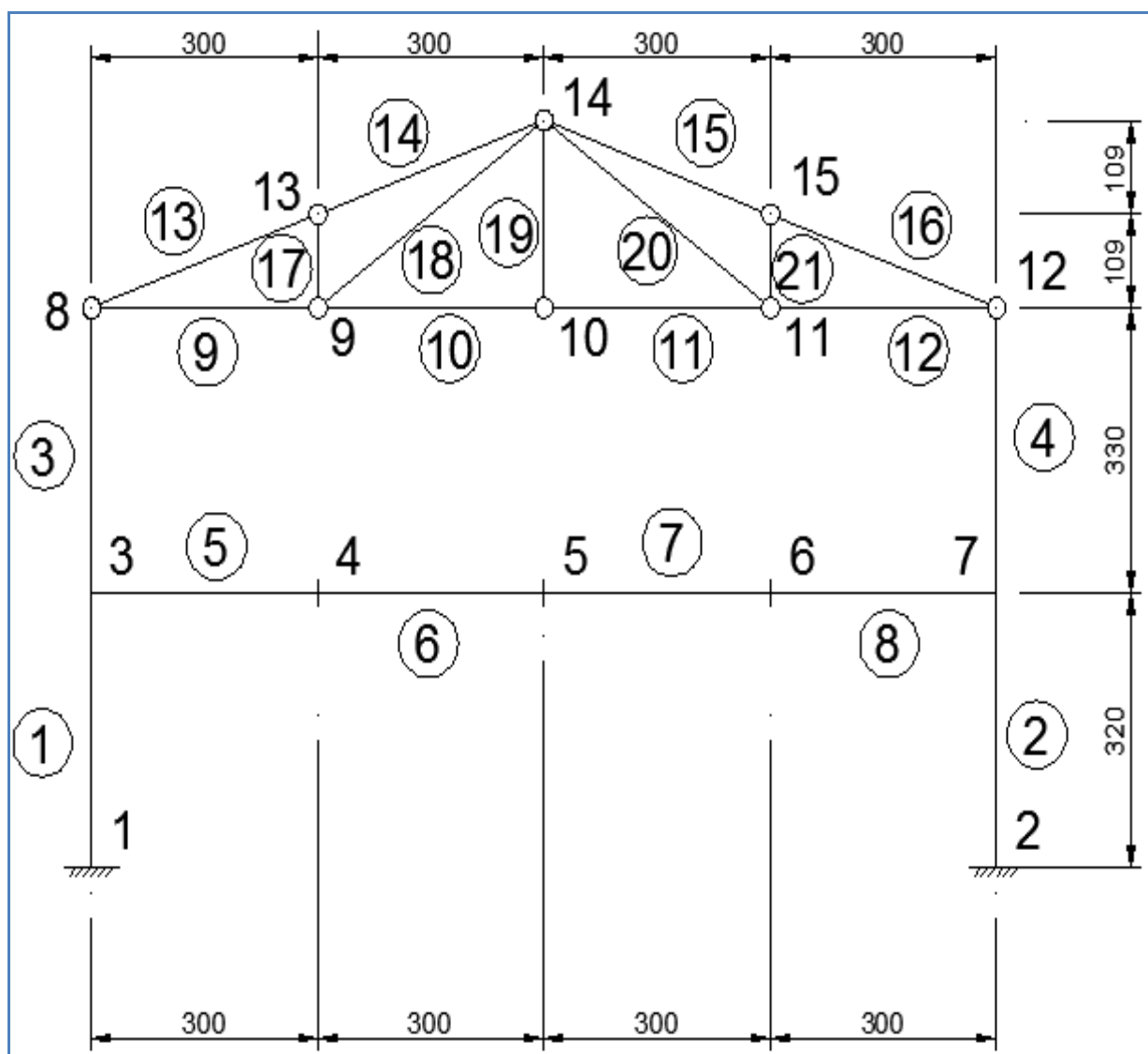
A solda normalmente proporciona melhor continuidade entre as peças conectadas que os parafusos, no entanto, exige mão de obra mais especializada. Aspectos econômicos aliados a facilidades práticas geralmente levam a uma utilização maior da solda na fábrica e do parafuso no canteiro de obras. Por exemplo, na ligação entre a viga e pilar, é usual soldar a chapa de extremidade na viga na fábrica e parafusar a chapa na extremidade do pilar na obra.

## **2. OBJETIVO**

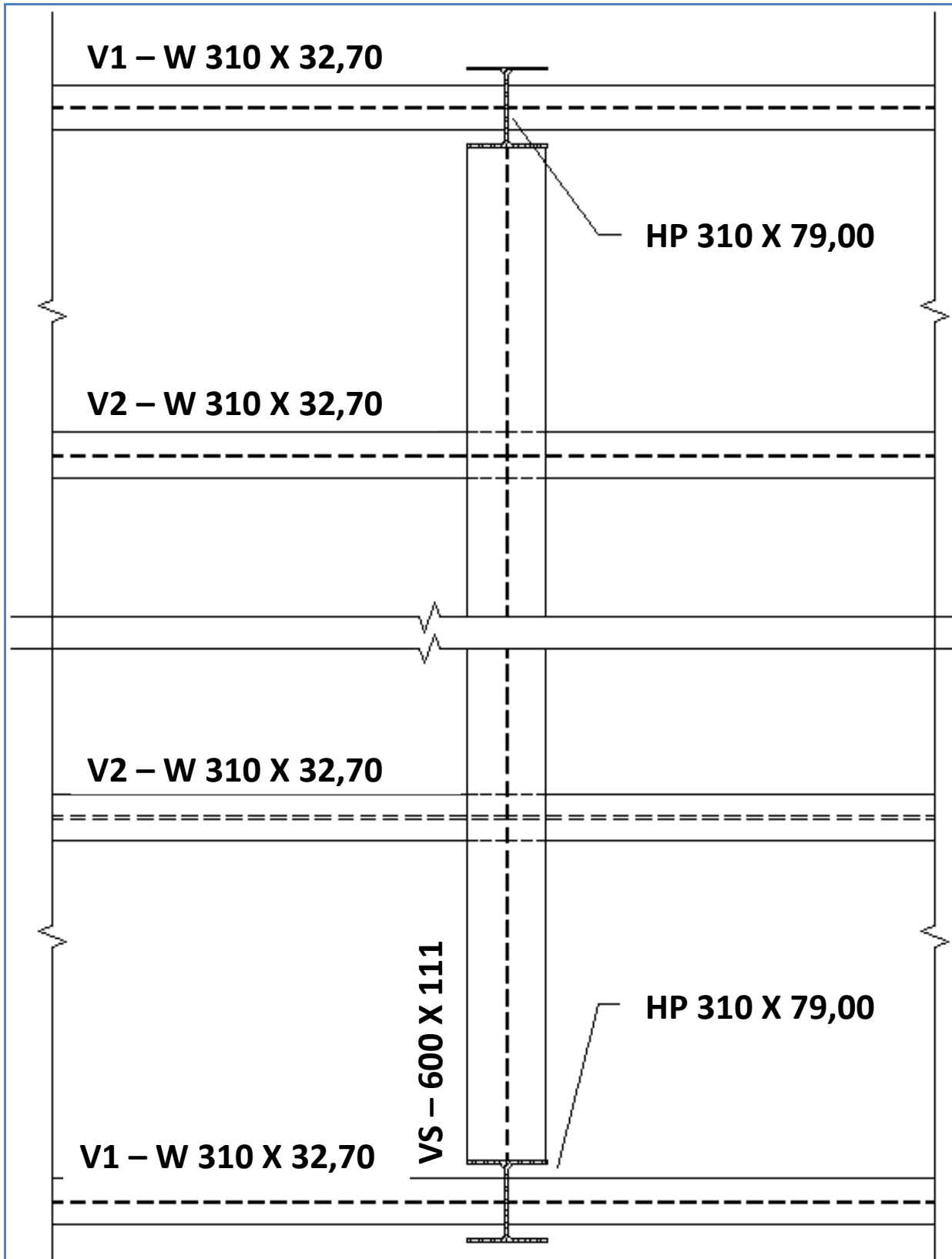
Esse trabalho tem como objetivo desenvolver o cálculo e detalhamento de ligações típicas de um prédio comercial.

### 3. ESTRUTURA EM ANÁLISE

O presente trabalho foi baseado no trabalho desenvolvido na Disciplina de Aço I, onde foi calculado o pórtico mostrado na figura 1.1 abaixo e as vigas e pilares mostrados na figura 1.2.



**Figura 1.1 – Pórticos Internos – Estrutura de Análise – Dimensões em cm.**



**Figura 1.2 – Componentes Estruturais – Planta Típica**

O trabalho consiste em projetar e detalhar os seguintes itens:

- Projetar e detalhar as ligações do nó 08 e do nó 13 (cobertura) dentro das seguintes condições e premissas:
  - Parafusadas.
  - Soldadas.
- Projetar as ligações flexíveis das vigas V1 e V2.
- Projetar a ligação rígida do pórtico transversal, nó 03 e nó 07.
- Projetar as bases engastadas dos pilares.

### **3.1. Seções dos Componentes Estruturais**

Do trabalho da Disciplina de Aço I, as peças foram dimensionadas com as seguintes seções:

- Pilares: HP 310 x 79,00.
- Vigas dos pórticos, barras 5, 6, 7 e 8: VS 600 x 111.
- V1: W 310 x 32,70.
- V2: W 310 x 32,70.
- Barras da treliça: 2 L 63,50 x 6,35.

### 3.2. Resultados nas reações nas Barras

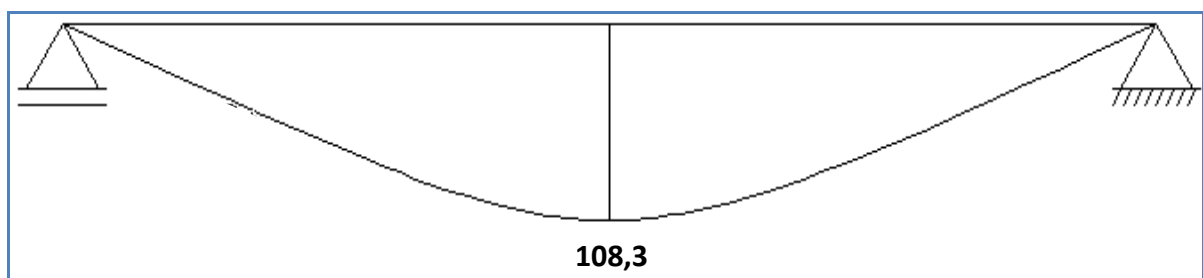
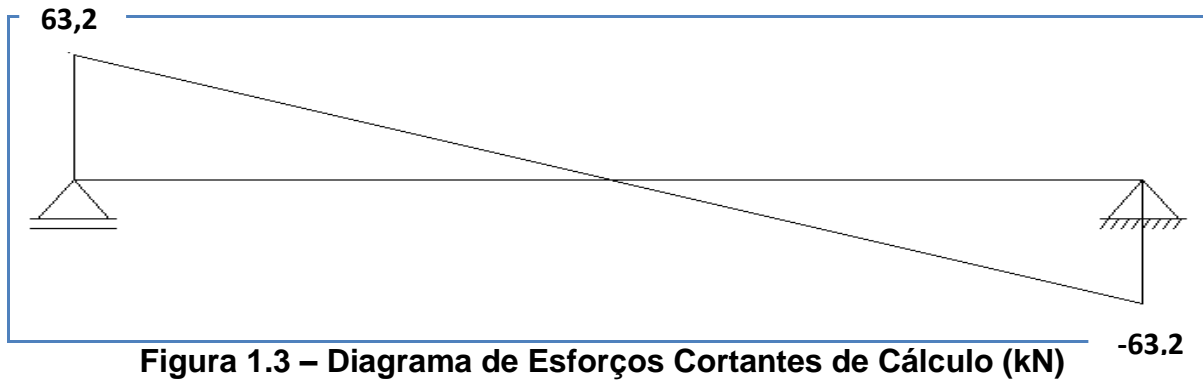
Do trabalho anterior da Disciplina de Estruturas de Aço I seguem abaixo as reações das barras (ver tabela 1.1) ao carregamento proposto:

<b>Barras</b>	<b>Nsd (KN)</b>	<b>Vsd (KN)</b>	<b>Msd (KN.m)</b>
1	-471,64	-87,68	207,43
2	-478,44	104,51	219,61
3	-32,65	-49,75	144,90
4	-34,03	53,24	159,11
5	-28,70	287,12	-351,74
6	-28,70	93,92	779,44
7	-28,70	-99,28	781,29
8	-28,70	-292,48	-345,07
9	29,98	0,00	0,00
10	-8,07	0,00	0,00
11	-8,07	0,00	0,00
12	32,44	0,00	0,00
13	-60,68	0,00	0,00
14	-57,95	0,00	0,00
15	-62,39	0,00	0,00
16	-60,27	0,00	0,00
17	-6,41	0,00	0,00
18	20,91	0,00	0,00
19	5,88	0,00	0,00
20	23,89	0,00	0,00
21	-8,19	0,00	0,00

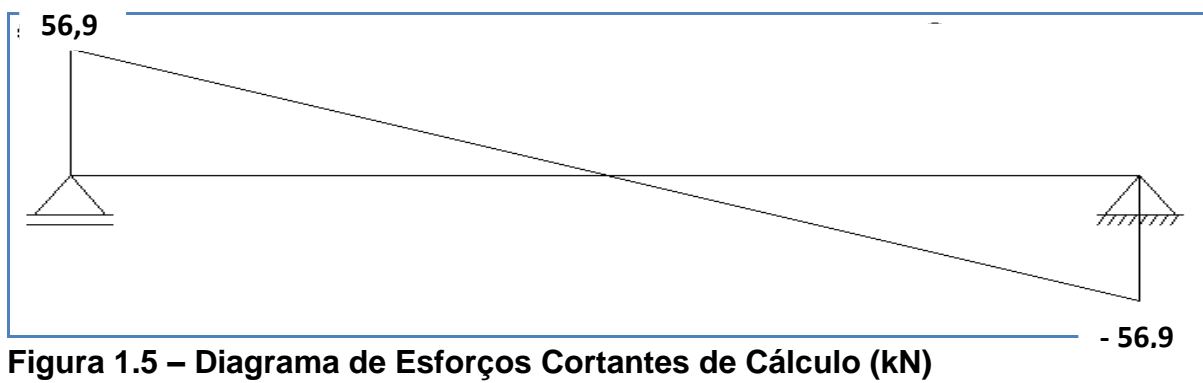
Tabela 1.1 – Reações das barras



### 3.2.1. Reações Viga V1



### 3.2.1. Reações Viga V2



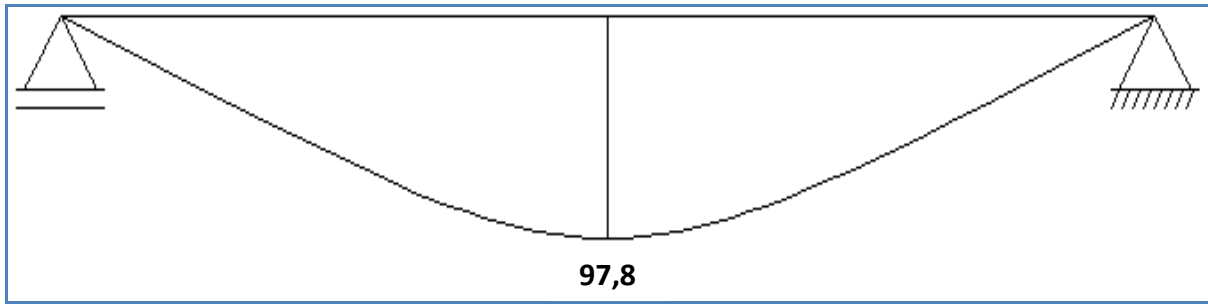


Figura 1.6 – Diagrama de Esforços de Momento de Cálculo (kN.m)

#### 4. VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES

##### 4.1. Treliça – Ligação Nó 13

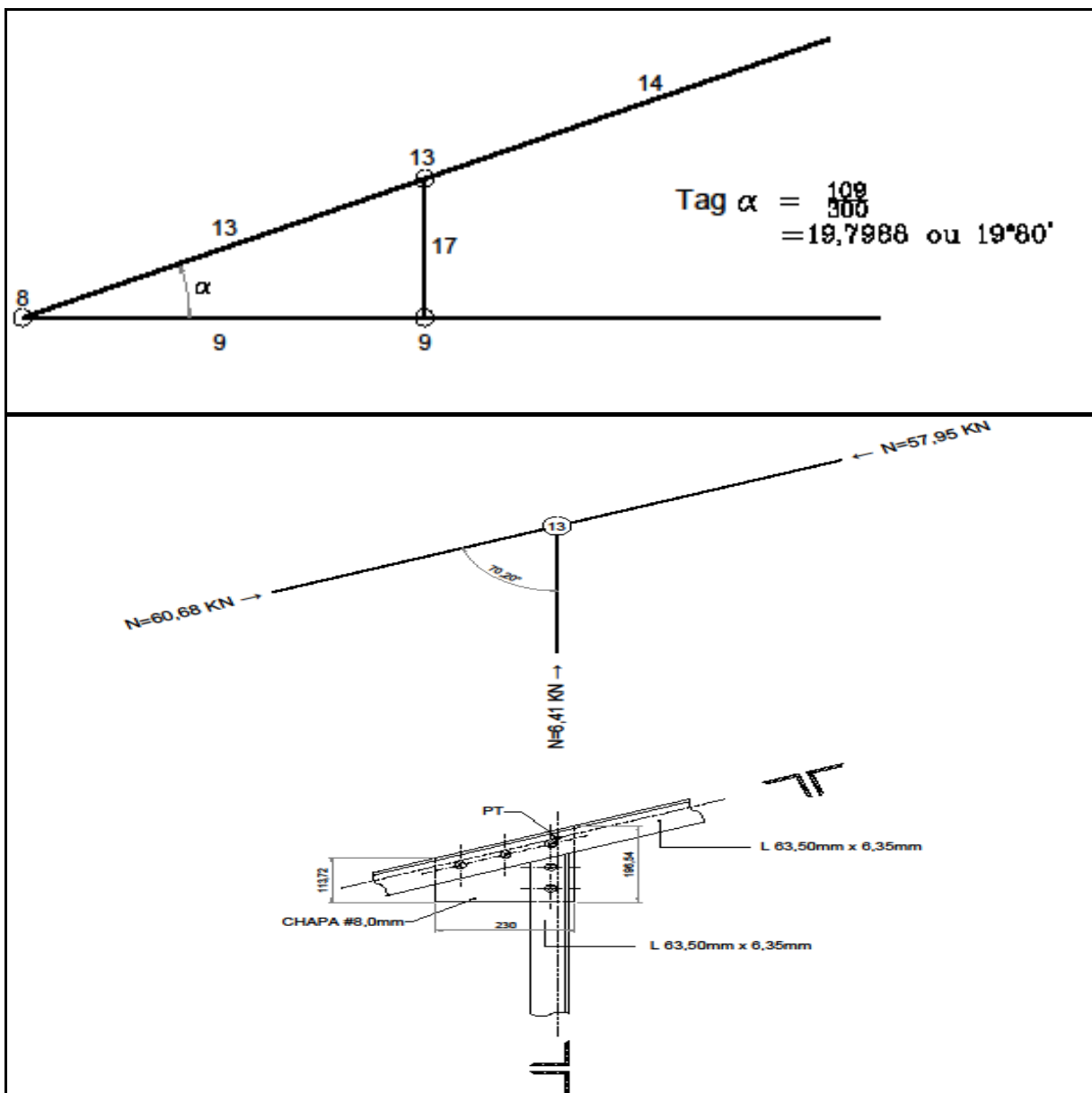


Figura 4.1 – Nó 13 – Ligações

➤ **Dados:**

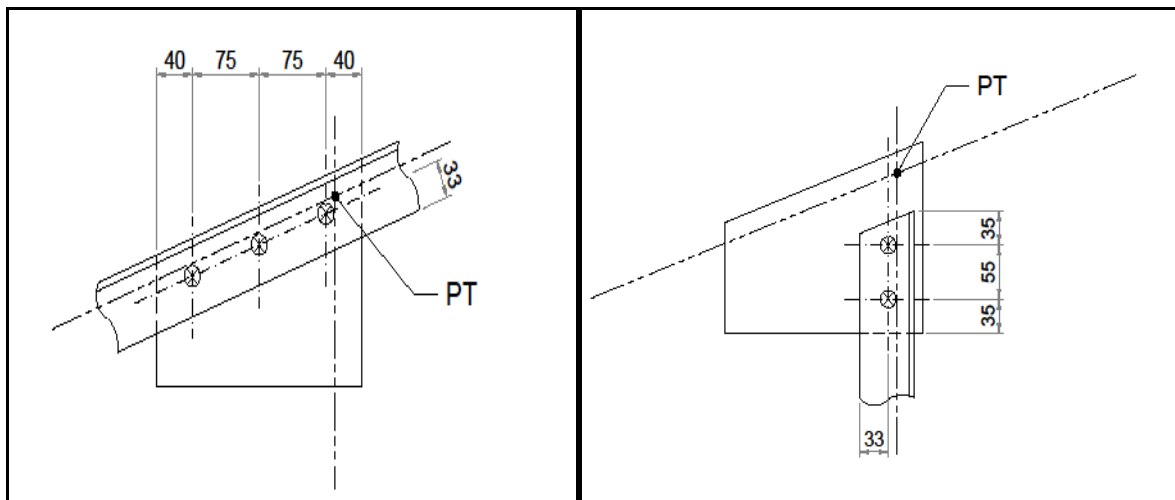
- **Barras 13, 14 e 17** - Perfil L 63,50 mm x 6,35 mm; (perfil duplo a utilizar, espaçado a 8 mm).

- ✓  $t = 6,35$  mm.
- ✓  $b = 63,50$  mm.
- ✓  $A_g = 7,67$  cm<sup>2</sup>.
- ✓  $r_x = 1,96$  cm.
- ✓  $r_y = 1,24$  cm.
- ✓  $I_x = 29,00$  cm<sup>4</sup>.
- ✓  $W_x = 6,40$  cm<sup>3</sup>.
- ✓  $f_y = 250$  MPa.
- ✓  $f_u = 400$  MPa.

- **Parafusos** – Ø 16 mm x 25 mm (ASTM A325).

- ✓  $\varnothing = 16$  mm.
- ✓  $A_g = 2,01$  cm<sup>2</sup>.
- ✓  $f_y = 635$  MPa.
- ✓  $f_u = 825$  MPa.

➤ **Disposições construtivas:**



**Figuras 4.2 – Nó 13 – Disposição Construtiva**

- Furo Padrão:

$$d_f = 16 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm} = 17,5 \text{ mm.}$$

- Distância entre furos ( $e_{ff}$ ):

$$e_{ff} \geq 3,0 d_b = 48 \text{ mm} \leq e_{ff} = 55 \leq 24 * 6,3 = 152,4 \text{ mm e } 300 \text{ mm (OK!).}$$

- Distância dos furos às bordas ( $e_{fb}$ ):

$$1,25 d_b = 1,25 \times 16 \text{ mm} = 20 \text{ mm} \leq e_{fb} = 35 \text{ mm} \leq 12 * 6,3 = 76,2 \text{ mm e } 150 \text{ m. (OK!).}$$

- Distância entre furos e aba da cantoneira:

$$63,5 - 33,0 - 6,35 = 24,2 \text{ mm} > 1,5 * 16 \rightarrow 24,2 > 24 \text{ mm (OK!).}$$

➤ **Cisalhamento Parafuso – Barra 13**

- $F_v, S_d \leq F_v, R_d.$

$$F_v, S_d = F_{Sd} / n_v = 30,34 \text{ kN.}$$

$$F_{Sd} = 60,68 \text{ kN; } n_v = 2.$$

$$F_{v,Rd} = (0,4 n_s A_b f_{ub}) / \gamma_{a2} = 982,96 \text{ kN.}$$

$n_s = 2$ ;  $A_b = 2,01 \text{ cm}^2$ ;  $f_{ub} = 82,5 \text{ kN/cm}^2$ ;  $\gamma_{a2} = 1,35$ .

$30,34 \text{ kN} \leq 982,96 \text{ kN}$  (OK!).

➤ **Pressão de Contato – Barra 13**

• Cantoneira  $\rightarrow F_{c, Sd} \leq F_{c, Rd}$ .

$F_{c, Sd} = F_{Sd} / n_v = 15,17 \text{ kN}$ .

$F_{Sd} = 60,68 \text{ kN}$ ;  $n_v = 4$  (2 parafusos e duas cantoneiras).

$F_{c, Rd} \leq (1,2 l_f t f_u) / \gamma_{a2} = 59,27 \text{ kN} \leq (2,4 d_b t f_u) / \gamma_{a2} = 72,25 \text{ kN}$ .

$t = 6,35 \text{ mm}$ ;  $f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$ ;  $\gamma_{a2} = 1,35$ ;  $d_b = 16 \text{ mm}$ .

$l_f \leq (35 - 17,5/2) \text{ mm}$  e  $(55 - 17,5) \text{ mm} = 26,25 \text{ mm}$ .

$F_{c, Rd} = 59,27 \text{ kN} \rightarrow 15,17 \text{ kN} \leq 59,27 \text{ kN}$  (OK!).

• Chapa  $\rightarrow F_{c, Sd} \leq F_{c, Rd}$ .

$F_{v, Sd} = F_{Sd} / n_v = 30,34 \text{ kN}$ .

$F_{Sd} = 60,68 \text{ kN}$ ;  $n_v = 2$ .

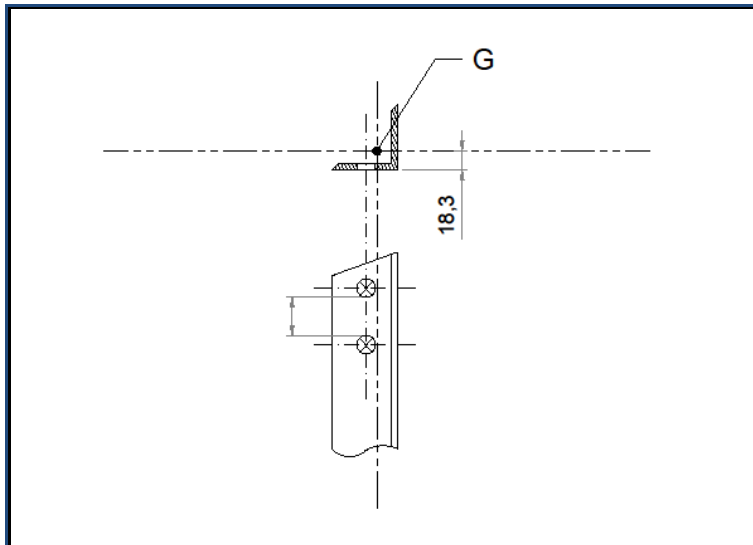
$F_{c, Rd} \leq (1,2 l_f t f_u) / \gamma_{a2} = 74,67 \text{ kN} \leq (2,4 d_b t f_u) / \gamma_{a2} = 91,02 \text{ kN}$ .

$t = 8 \text{ mm}$ ;  $f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$ ;  $\gamma_{a2} = 1,35$ ;  $d_b = 16 \text{ mm}$ .

$l_f \leq (35 - 17,5/2) \text{ mm}$  e  $(55 - 17,5) \text{ mm} = 26,25 \text{ mm}$ .

$F_{c, Rd} = 74,67 \text{ kN} \rightarrow 30,34 \text{ kN} \leq 74,67 \text{ kN}$  (OK!).

➤ **Compressão nas Cantoneiras – Barra 13**



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

$$N_{t, Sd} = 60,68 \text{ kN.}$$

$$l_c = 55 \text{ mm} - 17,5 \text{ mm} \rightarrow l_c = 37,5 \text{ mm.}$$

$$C_t = (1 - e/l_c) = 0,67 \geq 0,6 \text{ (OK!).}$$

$$e = 18,3 \text{ mm}; l_c = 55 \text{ mm.}$$

$$A_g = 7,67 * 2 = 15,34 \text{ cm}^2.$$

$$A_n = A_g - 2d_{ft} = (7,67 - 2 * 1,75 * 0,635) * 2 = 10,90 \text{ cm}^2.$$

$$A_e = C_t A_n = 7,30 \text{ cm}^2.$$

$$C_t = 0,67; A_n = 10,90 \text{ cm}^2.$$

$$N_{t, Rd} \leq (A_g f_y) / \gamma_{a1} = 247,73 \text{ kN.}$$

$$A_g = 15,34 \text{ cm}^2; f_y = 25 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10 < (A_e f_u) / \gamma_{a2} = 216,30 \text{ kN.}$$

$$A_e = 7,30 \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35.$$

$$N_{t, Rd} = 216,30 \text{ kN.}$$

60,68 kN ≤ 216,30 kN (OK!).

➤ **Compressão na Chapa de 8mm**

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

$N_{t, Sd} = 60,68$  kN (Compressão devido a Barra 13 – mais comprimida).

$$A_g = (5,5 * t_g 30^\circ) * 2 * 0,8 = 5,08 \text{ cm}^2.$$

$$A_e = A_g - 2d_f t = 3 \text{ cm}^2.$$

$$A_g = 5,8 \text{ cm}^2; d_f = 17,5 \text{ mm}; t = 8 \text{ mm}.$$

$$N_{t, Rd} \leq (A_g f_y) / \gamma_{a1} = 131,18 \text{ kN}.$$

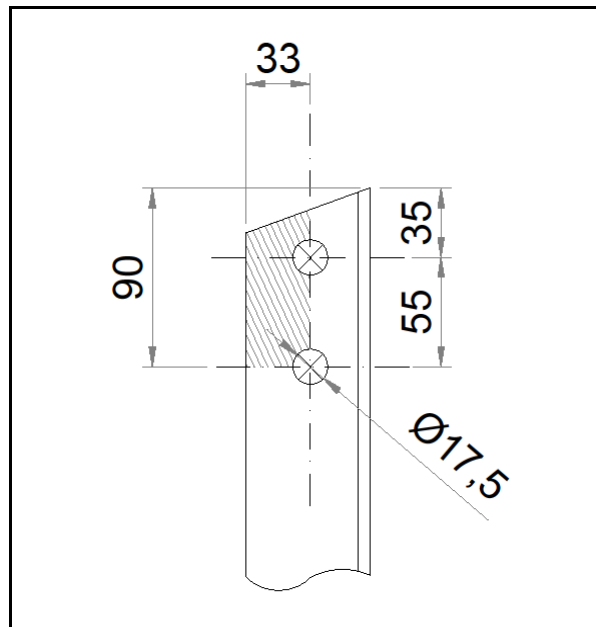
$$A_g = 5,8 \text{ cm}^2; f_y = 25 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10 < (A_e f_u) / \gamma_{a2} = 88,89 \text{ kN}.$$

$$A_e = 3 \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35.$$

$$N_{t, Rd} = 88,89 \text{ kN}.$$

60,68 kN ≤ 88,89 kN (OK!).

➤ **Colapso por rasgamento da Cantoneira – Barra 13**



**Figura 4.3 – L 63,5 x 6,35 - Área de Rasgamento**

$$A_{gv} = 0,635 * 9,0 = 5,72 \text{ cm}^2.$$

$$A_{nv} = 5,72 - 1,5 \cdot 1,75 \cdot 0,635 = 4,05 \text{ cm}^2.$$

$$A_{nt} = 3,3 \cdot 0,635 - 0,5 \cdot 1,75 \cdot 0,635 = 1,54 \text{ cm}^2.$$

- $F_{r,Sd} \leq F_{r,Rd}$ .

$$F_{r,Sd} = 60,68 / 2, \quad F_{r,Sd} = 30,34 \text{ kN}.$$

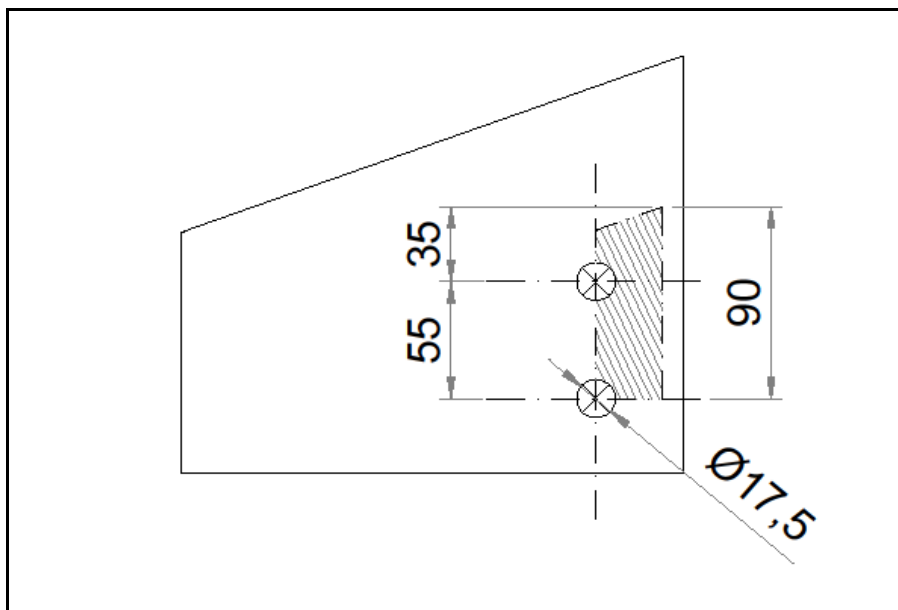
$$F_{r,Rd} \leq (0,6 A_{nv} + C_{ts} A_{nt}) f_u / \gamma_{a2} = 117,63 \text{ kN}.$$

$$A_{nv} = 4,05 \text{ cm}^2; C_{ts} = 1; A_{nt} = 1,54 \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35 \leq (0,6 A_{gv} + f_y + C_{ts} A_{nt} f_u) / \gamma_{a2} = 109,19 \text{ kN}.$$

$$A_{gv} = 5,72 \text{ cm}^2; C_{ts} = 1; A_{nt} = 1,54 \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; f_y = 25 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35.$$

$$F_{r,Rd} = 109,19 \text{ kN} \rightarrow 30,34 \text{ kN} \leq 44,70 \text{ kN (OK!)}.$$

➤ **Colapso por rasgamento da Chapa – Barra 13**



**Figura 4.4 – CH. 8mm - Área de Rasgamento**

$$A_{gv} = 0,8 \cdot 9,0 = 7,20 \text{ cm}^2.$$

$$A_{nv} = 7,20 - 1,5 \cdot 1,75 \cdot 0,8 = 5,10 \text{ cm}^2.$$



$$A_{nt} = 9,8 \cdot 0,8 - 0,5 \cdot 1,75 \cdot 0,8 = 7,14 \text{ cm}^2.$$

- $F_{r,Sd} \leq F_{r,Rd}.$

$$F_{r,Sd} = 60,68.$$

$$F_{r,Rd} \leq (0,6 A_{nv} + C_{ts} A_{nt}) f_u / \gamma_{a2} = 302,22 \text{ kN}.$$

$$A_{nv} = 5,10 \text{ cm}^2; C_{ts} = 1; A_{nt} = 7,14 \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35 \leq (0,6 A_{gv} f_y + C_{ts} A_{nt} f_u) / \gamma_{a2} = 291,56 \text{ kN}.$$

$$A_{gv} = 7,20 \text{ cm}^2; C_{ts} = 1; A_{nt} = 7,14 \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; f_y = 25 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35.$$

$$F_{r,Rd} = 291,56 \text{ kN} \rightarrow 60,68 \text{ kN} \leq 290,96 \text{ kN (OK!)}.$$

➤ **Barras 09, 14 e 17**

As barras 09, 14 e 17 têm esforços menores que a barra 13, além de terem no mínimo a mesma quantidade de parafusos e terem a mesma seção de perfil L (2L 63,5 x 6,35). Desta maneira, como a barra 13 passou nas verificações, não é necessário verificar as barras 09, 14 e 17.

## 4.2. Ligação flexível da viga V1 com pilar

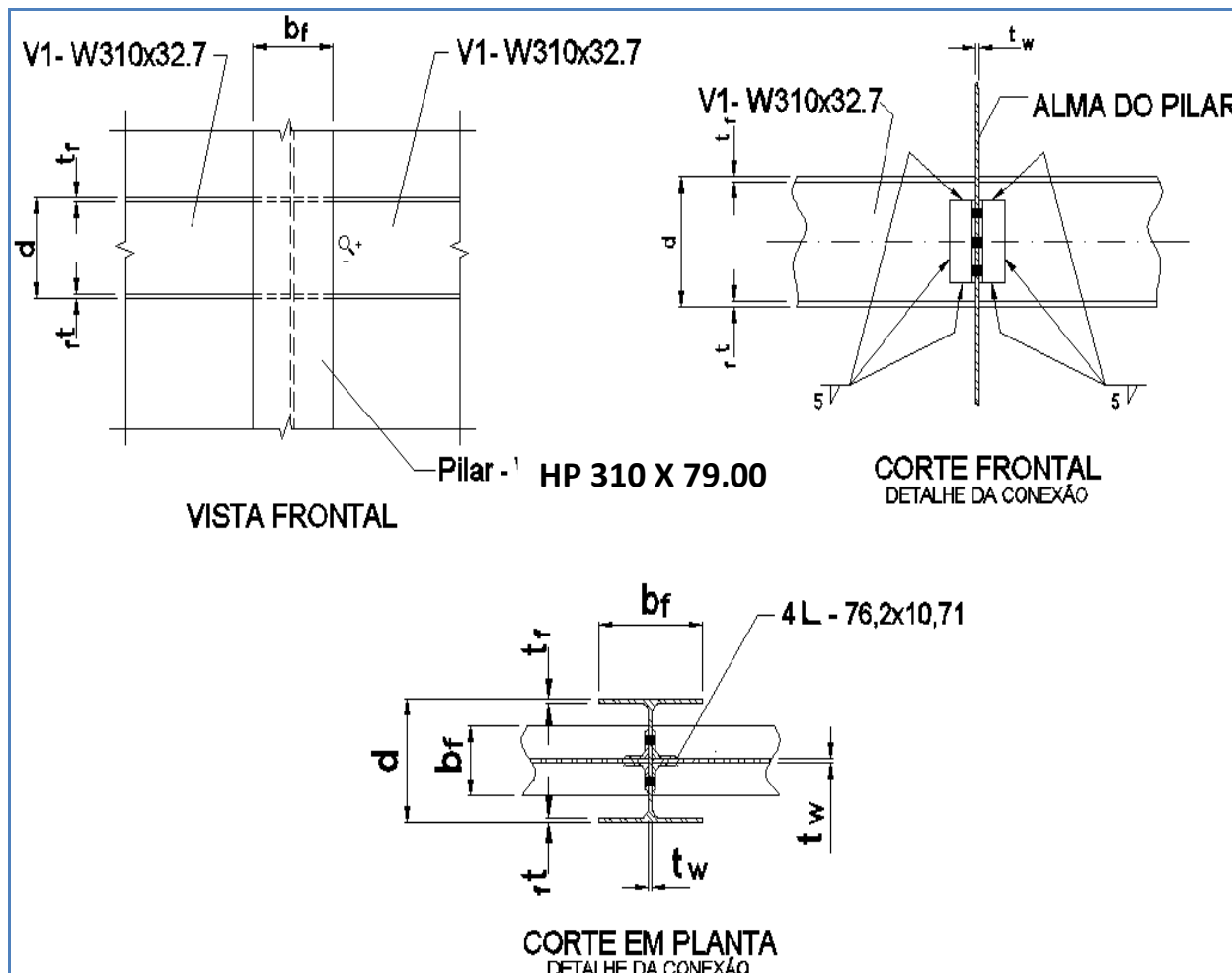


Figura 4.5 – Detalhes Construtivos

### ➤ Dados:

- V1 - Perfil W 310 mm x 32.70 kg/m =

- ✓  $d = 313$  mm.
- ✓  $b_f = 102$  mm.
- ✓  $t_w = 6,6$  mm.
- ✓  $t_r = 10,8$  mm.
- ✓  $A_g = 42,1$  cm<sup>2</sup>.
- ✓  $I_x = 6.570$  cm<sup>4</sup>.
- ✓  $f_y = 345$  MPa.
- ✓  $f_u = 450$  MPa.

- Pilar - Perfil HP 310 mm x 79,0 kg/m =

- ✓  $d = 299 \text{ mm.}$
  - ✓  $b_f = 306 \text{ mm.}$
  - ✓  $t_w = 11,0 \text{ mm.}$
  - ✓  $t_f = 11,0 \text{ mm.}$
  - ✓  $A_g = 100,0 \text{ cm}^2.$
  - ✓  $I_x = 16.316 \text{ cm}^4.$
  - ✓  $f_y = 345 \text{ MPa.}$
  - ✓  $f_u = 450 \text{ MPa.}$
- **Perfil de Ligação - Perfil L 76,2 mm x 10,71 kg/m =**
    - ✓  $b=76,2 \text{ mm.}$
    - ✓  $t = 9,52 \text{ mm.}$
    - ✓  $A_g = 13,61 \text{ cm}^2.$
    - ✓  $I_x = 7 \text{ cm}^4.$
    - ✓  $f_y= 250 \text{ MPa.}$
    - ✓  $f_u = 400 \text{ MPa.}$
- **Parafusos – Ø - 22 mm x 40 mm (ASTM A325) =**
    - ✓  $\text{Ø} = 22 \text{ mm.}$
    - ✓  $A_g = 3,80 \text{ cm}^2.$
    - ✓  $f_y= 635 \text{ MPa.}$
    - ✓  $f_u = 825 \text{ MPa.}$

➤ **Disposições construtivas:**

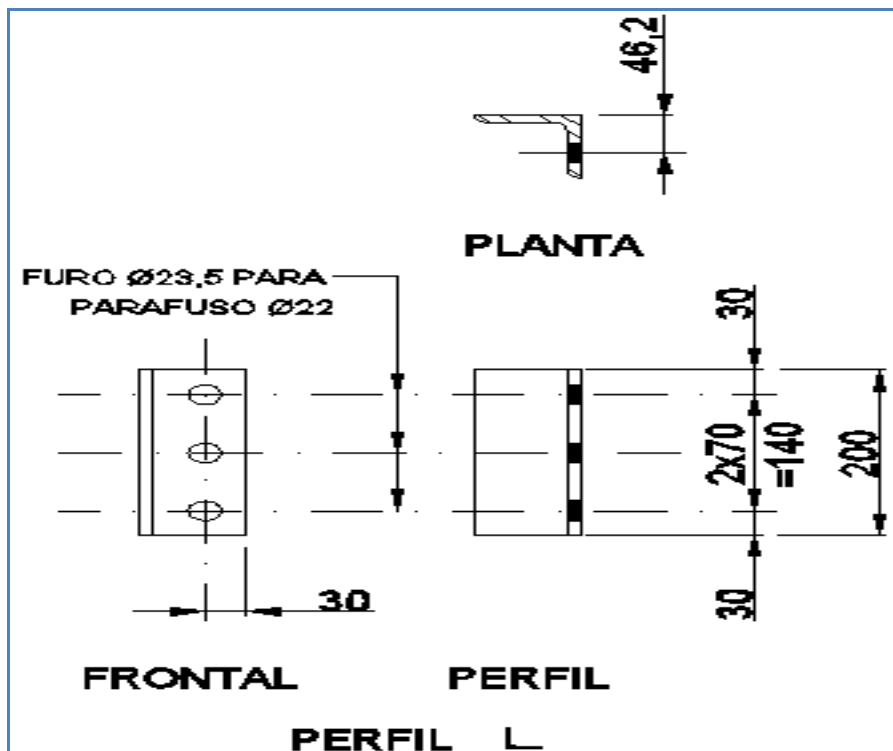


Figura 4.6 – L 76,20x10,71. Dimensões em mm

- Furo Padrão = 22 mm + 1,5 mm = 23,5 mm.

- Distância entre furos ( $e_{ff}$ ) =  $e_{ff} \geq 3,0 d_b$ ;  $e_{ff} \geq 3,0 * 22 \text{ mm} \rightarrow e_{ff} \geq 66 \text{ mm}$ .  
Adotado:  $e_{ff} = 70 \text{ mm}$ .

- Distância entre furos e bordas ( $e_{fb}$ ) =  $e_{fb} \geq 1,25 d_b$ ;  $e_{fb} \geq 1,25 * 22 \text{ mm} \rightarrow e_{fb} \geq 27,5 \text{ mm}$ .  
Adotado:  $e_{fb} = 30 \text{ mm}$ .

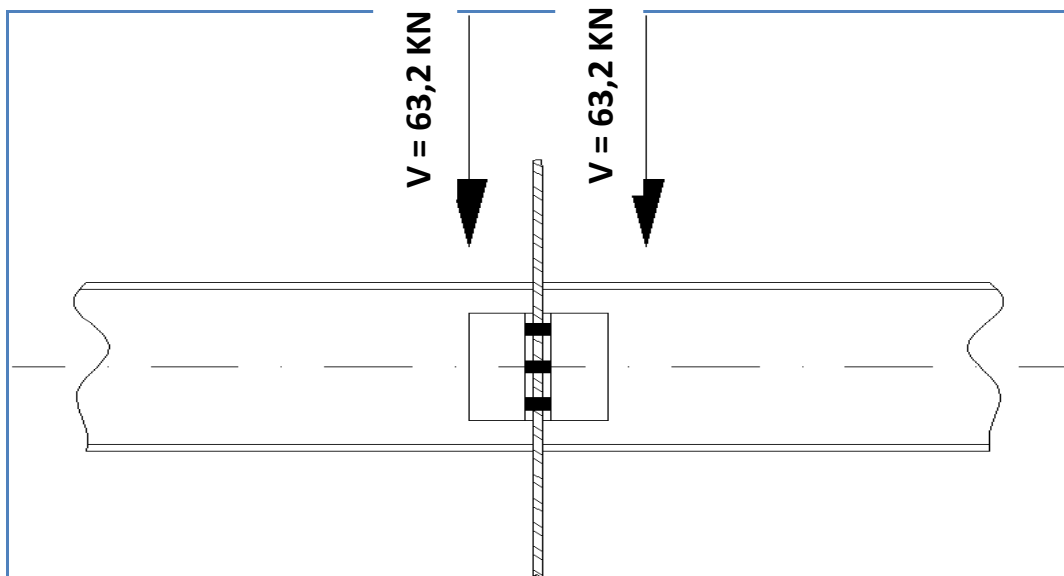
- Menor distância entre Quadrantes dos furos ( $l_f$ ) =  $l_f = 30 - 23,5/2$ ;  $l_f = 18,25 \text{ mm}$ .  
Adotado:  $l_f = 36,5 \text{ mm}$ .

- Dimensões Mínimas das Soldas de Filete =  $t_w$  (Viga) = 6,6 mm  $\leftrightarrow d_w = 5 \text{ mm}$  (Perna mínima da solda).  
Adotado:  $d_w = 5 \text{ mm}$ .

- Dimensão Máxima:

$t_w$  (Viga) = 6,6 mm  $\leftrightarrow d_w = t_w - 1,5 \text{ mm} \rightarrow d_w = 5 \text{ mm} < 5,1 \text{ mm}$ ; **(OK!)**

➤ **Cisalhamento Parafuso:**



- $F_{v, Sd} \leq F_{v, Rd}$

$F_{v, Sd} = F_{Sd} / n_v$ .

$F_{Sd} = 126,40 \text{ kN}$  (esforço de duas vigas V1).

$n_v = 6$  (número de parafusos).

$F_{v, Sd} = 21,07 \text{ kN}$ .

$$F_{v,Rd} = (0,4 n_s A_b f_{ub}) / \gamma_{a2}$$

$$n_s = 2; A_b = 3,8 \text{ cm}^2$$

$$f_{ub} = 82,5 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35$$

$$F_{v,Rd} = 185,78 \text{ kN}$$

$$21,07 \text{ kN} \leq 185,78 \text{ kN (OK!)}$$

➤ **Pressão de Contato:**

- Cantoneira  $\rightarrow F_{c,Sd} \leq F_{c,Rd}$

$$F_{c,Sd} = F_{Sd} / n_v$$

$$F_{Sd} = 126,40 \text{ kN}$$

$$n_v = 6 \text{ (número de parafusos)}$$

$$F_{c,Sd} = 21,07 \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd} \leq (1,2 l_s t f_u) / \gamma_{a2} = 61,60 \text{ kN}$$

$$l_s = 18,25 \text{ mm}; t = 9,5 \text{ mm}; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35 \leq (2,4 d_b t f_u) / \gamma_{a2} = 148,60 \text{ kN}$$

$$d_b = 22 \text{ mm}; t = 9,5 \text{ mm}; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35$$

$$\rightarrow F_{c,Rd} = 61,60 \text{ kN}$$

$$21,07 \text{ kN} \leq 61,60 \text{ kN (OK!)}$$

- Alma do Pilar  $\rightarrow F_{c,Sd} \leq F_{c,Rd}$

$$F_{c,Sd} = F_{Sd} / n_v = 21,07 \text{ kN}$$

$$F_{Sd} = 126,40 \text{ kN}; n_v = 6 \text{ (número de parafusos)}$$

$$F_{c,Rd} \leq (1,2 l_s t f_u) / \gamma_{a2} = 71,38 \text{ kN}$$

$$l_s = 18,25 \text{ mm}; t = 11 \text{ mm}; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35 \leq (2,4 d_b t f_u) / \gamma_{a2} = 172,09 \text{ kN}$$

$$d_b = 22 \text{ mm}; t = 11 \text{ mm}; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35$$

→  $F_{c, Rd} = 71,38 \text{ kN} \leftrightarrow 21,07 \text{ kN} \leq 71,38 \text{ kN}$  (OK!).

➤ **Colapso por rasgamento da Cantoneira:**

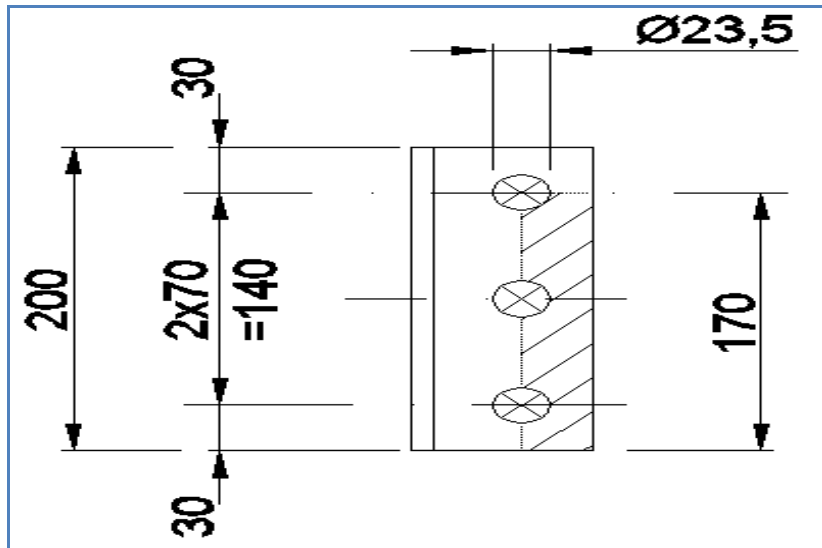


Figura 4.7 – L 76,2x10,71 - área de rasgamento da cantoneira

$$A_{nv} = 170 \cdot 9,5 - 2,5(9,5 \cdot 23,5) \rightarrow A_{nv} = 10,57 \text{ cm}^2.$$

$$A_{nt} = 9,5 \cdot (3 - 0,5 \cdot 23,5) \rightarrow A_{nt} = 1,734 \text{ cm}^2.$$

$$A_{gv} = 9,5 \cdot (200 - 30) \rightarrow A_{gv} = 16,15 \text{ cm}^2.$$

- $F_{Sd} \leq F_{Rd}$

$$F_{Sd} = 63,20 / 2 = 31,60 \text{ kN}.$$

$$F_{Rd} \leq (0,6 A_{nv} + C_{ts} A_{nt}) f_u / \gamma_{a2} = 239,29 \text{ kN}.$$

$$A_{nv} = 10,57 \text{ cm}^2; C_{ts} = 1; A_{nt} = 1,734 \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35 \leq (0,6 A_{gv} f_y + C_{ts} A_{nt} f_u) / \gamma_{a2} = 211,56 \text{ kN}.$$

$$A_{gv} = 16,15 \text{ cm}^2; C_{ts} = 1; A_{nt} = 1,734 \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; f_y = 25 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35. \\ \leq 211,56 \text{ kN}.$$

→  $F_{Rd} = 211,56 \text{ kN} \leftrightarrow 31,60 \text{ kN} \leq 239,29 \text{ kN}$  (OK!).

➤ **Cisalhamento da Cantoneira:**

- $F_{Sd} \leq F_{Rd}$

$$F_{Sd} = 63,20 / 2 \quad F_{Sd} = 31,60 \text{ kN.}$$

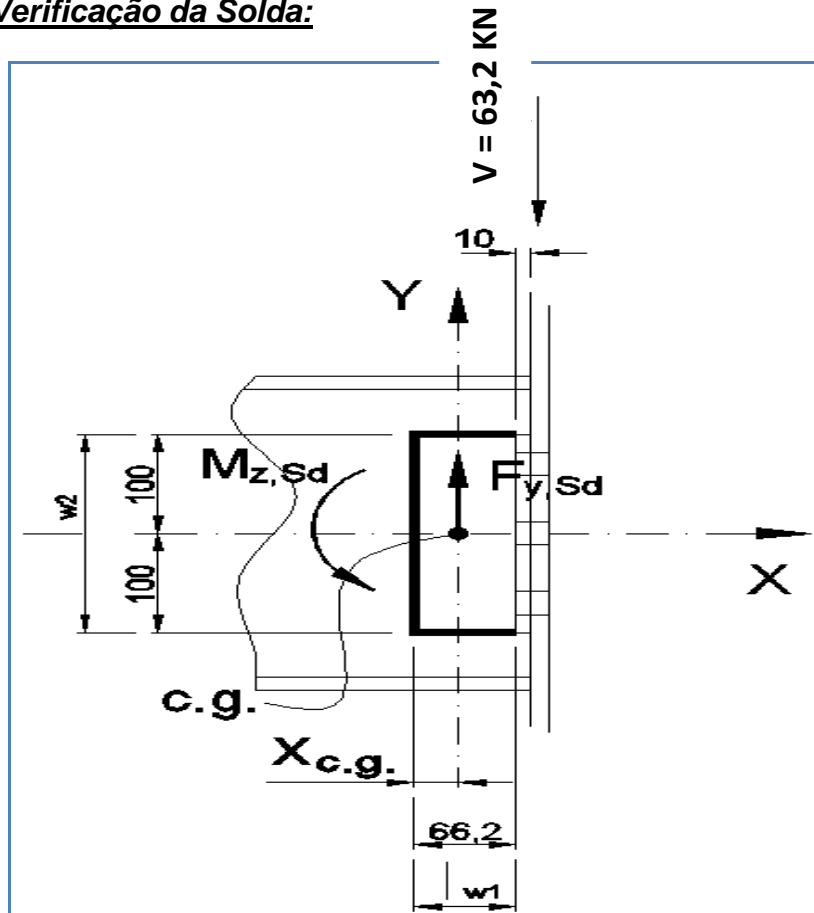
$$F_{Rd} \leq (0,6 A_{gv} f_y) / \gamma_{a1} = 220,23 \text{ kN.}$$

$$A_{gv} = 16,15 \text{ cm}^2; f_y = 25 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10 \leq (0,6 A_{nv} f_u) / \gamma_{a2} = 218,67 \text{ kN.}$$

$$A_{nv} = 12,30 \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35.$$

$$\rightarrow F_{Rd} = 218,67 \text{ kN} \leftrightarrow 31,60 \text{ kN} \leq 218,67 \text{ kN (OK!).}$$

➤ **Verificação da Solda:**



**Figura 4.8 – Solda - Dimensões em mm**

$$x_{c.g.} = (2 * 3,31 * 6,62 * 0,354) / (2 * 6,62 * 0,34 + 2 * 0,354) \rightarrow x_{c.g.} = 2,88 \text{ cm.}$$

$$I_x = (0,354 * 203 / 12) + 2 * [(6,62 * 0,354^3) / 12 + 6,62 * 0,354 * (20/2)^2] = 704,75 \text{ cm}^4.$$

$$I_y = 2 * (0,354 * 6,62^3 / 12) + 6,62 * 0,354 * [(6,62/2) - 2,88]^2 + (20 * 0,354^3 / 12) + 20 * 0,354 * 2,88^2 = 76,78 \text{ cm}^4.$$

$$a_w = d_w \text{ Sen}45^\circ.$$

$d_w = 5 \text{ mm}$ .

$a_w = 3,54 \text{ mm}$ .

$A_w = 2 a_w l_{w1} + l_{w2} a_w = 11,77 \text{ cm}^2$ .

$a_w = 3,54 \text{ mm}$ ;  $l_{w1} = 66,2 \text{ mm}$ ;  $l_{w2} = 200 \text{ mm}$ .

$F_{y,Sd} = 63,20 / 2 = 31,60 \text{ kN}$ .

$M_{z,Sd} = 31,60 \text{ kN} * (7,62 \text{ cm} - 2,88 \text{ cm}) \rightarrow M_{z,Sd} = 149,78 \text{ kN.cm}$ .

- **Esforços solicitantes na solda:**

$\tau_{w,x,Sd} = (F_{x,Sd} / A_w) + (M_{z,Sd} / I_z) y = 1,82 \text{ kN/cm}^2$ .

$F_{x,Sd} = 0$ ;  $A_w = 11,77 \text{ cm}^2$ ;  $M_{z,Sd} = 149,78 \text{ kN.cm}$ ;  $I_z = I_x + I_y = 781,53 \text{ cm}^4$ .

$y = 10 \text{ cm}$ .

$\tau_{w,y,Sd} = (F_{y,Sd} / A_w) + (M_{z,Sd} / I_z) x = 3,53 \text{ kN/cm}^2$ .

$F_{y,Sd} = 31,60 \text{ kN}$ ;  $A_w = 11,77 \text{ cm}^2$ ;  $M_{z,Sd} = 149,78 \text{ kN.cm}$ ;  $I_z = I_x + I_y = 781,53 \text{ cm}^4$ .

$x = 3,74 \text{ cm}$ .

$\tau_{w,Sd} = (\tau_{w,x,Sd}^2 + \tau_{w,y,Sd}^2)^{1/2} = 3,97 \text{ kN/cm}^2$ .

$\tau_{w,x,Sd} = 1,82 \text{ kN/cm}^2$ ;  $\tau_{w,y,Sd} = 3,53 \text{ kN/cm}^2$ .

- **Tensões Metal da Base:**

$\tau_{MB,Sd} \leq \tau_{MR,Rd}$ .

$\tau_{MB,Sd} = 0,707 \tau_{w,Sd} = 2,71 \text{ kN/cm}^2$ .

$\tau_{w,Sd} = 3,97 \text{ kN/cm}^2$ .

$\tau_{MB,Rd} = 0,6 f_y / \gamma_{a1} = 13,64 \text{ kN/cm}^2$ .

$f_y = 25 \text{ kN/cm}^2$ ;  $\gamma_{a1} = 1,10$ .

$2,71 \text{ kN} \leq 13,64 \text{ kN}$  (OK!).



- **Tensões Metal da Base:**

$$\tau_{w,Sd} \leq \tau_{w,Rd}$$

$$\tau_{w,Sd} = 3,97 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{w,Rd} = 0,6 f_w / \gamma_{w2} = 21,55 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_w = 48,5 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{w2} = 1,35$$

$$3,97 \text{ kN} \leq 21,55 \text{ kN (OK!)}$$

- **Ruptura na região da Solda:**

$$f_{w,res.,Sd} = (\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2)^{1/2} = 3,97 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Sd} = 0; \tau_{w,Sd} = 3,97 \text{ kN/cm}^2$$

$$t_w \text{ (viga)} \geq (2,25 n a_w f_{w,res.,Sd}) / (m f_u)$$

$$n = 2; a_w = 3,54 \text{ mm}; f_{w,res.,Sd} = 3,84 \text{ kN/cm}^2; m = 1; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$$

$$0,66 \geq 0,15 \text{ (OK!)}$$

### 4.3. Ligação da Viga V2 com VPI

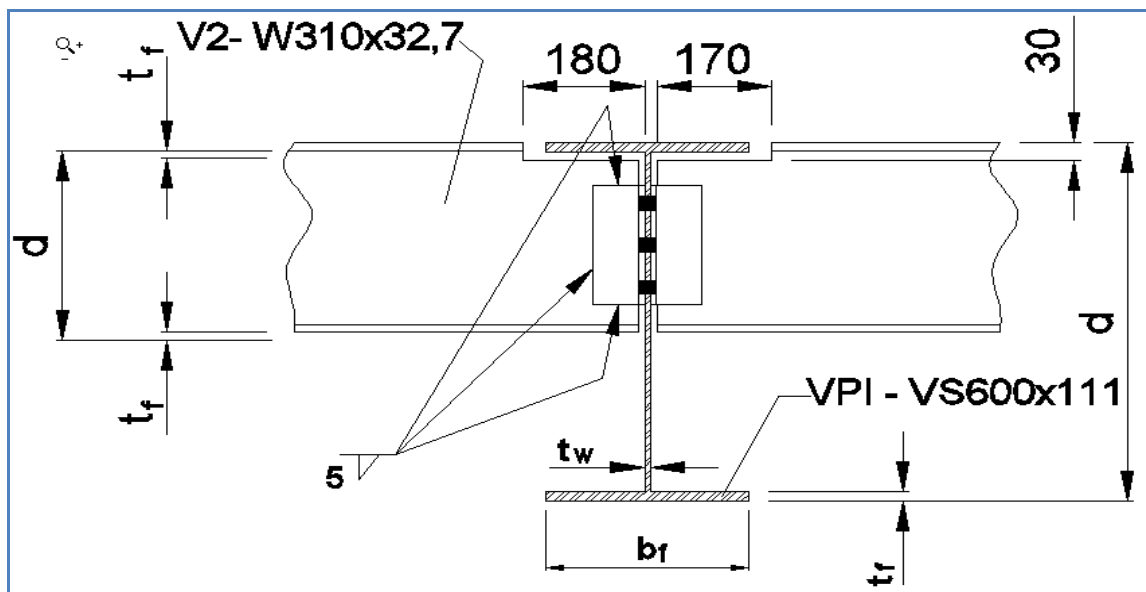


Figura 4.9 – Detalhes Construtivos

➤ Dados:

- **V2** - Perfil **W** 310 mm x 32.7 kg/m =
  - ✓  $d = 313$  mm.
  - ✓  $b_f = 102$  mm.
  - ✓  $t_w = 6,6$  mm.
  - ✓  $t_f = 10,8$  mm.
  - ✓  $A_g = 42,1$  cm<sup>2</sup>.
  - ✓  $I_x = 6.570$  cm<sup>4</sup>.
  - ✓  $f_y = 345$  MPa.
  - ✓  $f_u = 450$  MPa.
  
- **VPI** - Perfil **VS** 600 mm x 111 kg/m =
  - ✓  $d = 600$  mm.
  - ✓  $b_f = 300$  mm.
  - ✓  $t_w = 8$  mm.
  - ✓  $t_f = 16$  mm.
  - ✓  $A_g = 141,40$  cm<sup>2</sup>.
  - ✓  $I_x = 94.091$  cm<sup>4</sup>.
  - ✓  $f_y = 300$  MPa.
  - ✓  $f_u = 400$  MPa.
  
- **Perfil de Ligação** - Perfil **L** 76,2 mm x 10,71 kg/m =

- ✓  $b=76,2$  mm.
  - ✓  $t = 9,52$  mm.
  - ✓  $A_g = 13,61$  cm<sup>2</sup>.
  - ✓  $I_x = 7$  cm<sup>4</sup>.
  - ✓  $f_y = 250$  MPa.
  - ✓  $f_u = 400$  MPa.
- **Parafusos – Ø 22 mm x 40 mm (ASTM A325) =**
    - ✓ Ø = 22 mm.
    - ✓  $A_g = 3,80$  cm<sup>2</sup>.
    - ✓  $f_y = 635$  MPa.
    - ✓  $f_u = 825$  MPa.

➤ **Disposições construtivas:**

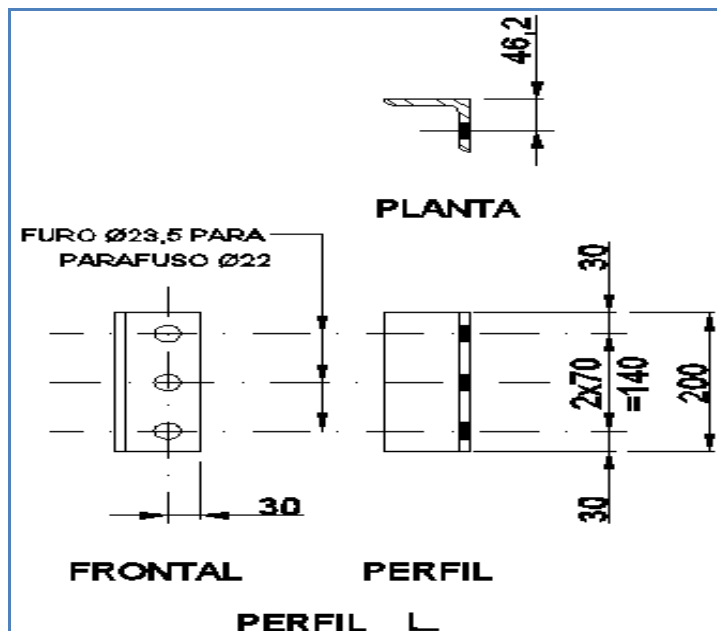


Figura 4.10 – L76,2x10,71 Dimensões em mm

- **Furo Padrão:**

$22 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm} = 23,5 \text{ mm}$ .

- **Distância entre furos ( $e_{ff}$ ):**

$e_{ff} \geq 3,0 d_b$ ;  $e_{ff} \geq 3,0 * 22 \text{ mm} \rightarrow e_{ff} \geq 66 \text{ mm}$ .

Adotado:  $e_{ff} = 70 \text{ mm}$ .

- **Distância entre furos e bordas ( $e_{fb}$ ):**

$e_{fb} \geq 1,25 d_b$ ;  $e_{fb} \geq 1,25 * 22 \text{ mm} \rightarrow e_{fb} \geq 27,5 \text{ mm}$ .

Adotado:  $e_{fb} = 30 \text{ mm}$ .

- **Menor distância entre Quadrantes dos furos ( $l_f$ ):**

$$l_f = 30 - 23,5/2; l_f = 18,25 \text{ mm.}$$

Adotado:  $l_{fb} = 36,5 \text{ mm.}$

- **Comprimento do Recorte da Viga V2:**

$$180 \text{ mm} \leq 2d_{v2}; 180 \text{ mm} \leq 2 * 310 \text{ mm} \rightarrow 180 \text{ mm} \leq 620 \text{ mm (OK!).}$$

- **Altura do Recorte da Viga V2:**

$$30 \text{ mm} \leq 0,2d_{v2}; 30 \text{ mm} \leq 0,2 * 310 \text{ mm} \rightarrow 30 \text{ mm} \leq 62 \text{ mm (OK!).}$$

- **Dimensões Mínimas das Soldas de Filete:**

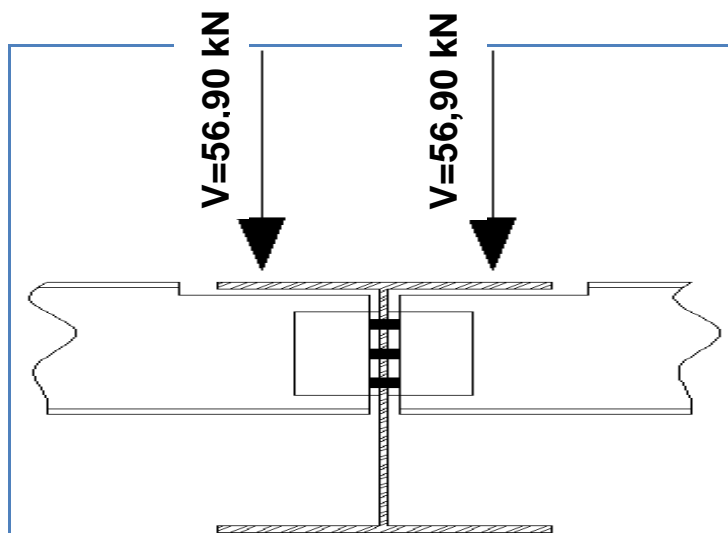
$$t_w (\text{Viga}) = 6,6 \text{ mm} \leftrightarrow d_w = 5 \text{ mm (Perna mínima da solda).}$$

Adotado:  $d_w = 5 \text{ mm.}$

- **Dimensão Máxima:**

$$t_w (\text{Viga}) = 6,6 \text{ mm} \leftrightarrow d_w = t_w - 1,5 \text{ mm} \rightarrow d_w \leq 5,1 \text{ mm; (OK!).}$$

- **Cisalhamento Parafuso:**



$$- F_{v, Sd} \leq F_{v, Rd.}$$

$$F_{v, Sd} = F_{Sd} / n_v.$$

$$F_{Sd} = 113,80 \text{ kN (Esforço de duas vigas V1).}$$

$$n_v = 6 \text{ (Número de parafusos).}$$

$$F_{v, Sd} = 18,97 \text{ kN.}$$

$$F_{v, Rd} = (0,4 n_s A_b f_{ub}) / \gamma_{a2}.$$

$$n_s = 2; A_b = 3,8 \text{ cm}^2.$$

$$f_{ub} = 82,5 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35.$$

$$F_{v, Rd} = 185,78 \text{ kN.}$$

$$18,97 \leq 185,78 \text{ kN (OK!).}$$

➤ **Pressão de Contato:**

- **Cantoneira** →  $F_{c, Sd} \leq F_{c, Rd}$ :

$$F_{c, Sd} = F_{Sd} / n_v.$$

$$F_{Sd} = 113,80 \text{ kN.}$$

$$n_v = 6 \text{ (Número de parafusos).}$$

$$F_{c, Sd} = 18,97 \text{ kN.}$$

$$F_{c, Rd} \leq (1,2 l_s t f_u) / \gamma_{a2} = 61,60 \text{ kN.}$$

$$l_s = 18,25 \text{ mm}; t = 9,5 \text{ mm}; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35 \leq (2,4 d_b t f_u) / \gamma_{a2} = 148,60 \text{ kN.}$$

$$d_b = 22 \text{ mm}; t = 9,5 \text{ mm}; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35.$$

$$\rightarrow F_{c, Rd} = 61,60 \text{ kN.}$$

$$18,97 \text{ kN} \leq 61,60 \text{ kN (OK!).}$$

- **Alma da Viga V2** →  $F_{c, Sd} \leq F_{c, Rd}$ :

$$F_{c, Sd} = F_{Sd} / n_v = 18,97 \text{ kN.}$$

$$F_{Sd} = 113,80 \text{ kN}; n_v = 6 \text{ (Número de parafusos).}$$

$$F_{c, Rd} \leq (1,2 l_s t f_u) / \gamma_{a2} = 51,91 \text{ kN.}$$

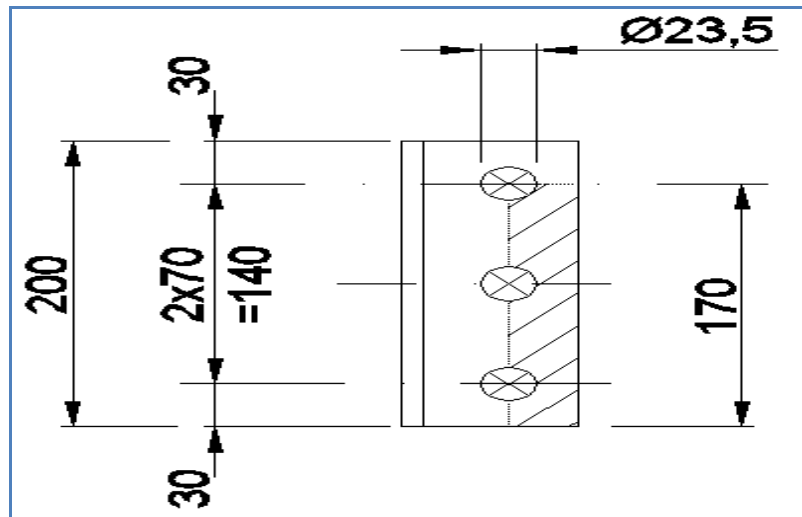
$$l_s = 18,25 \text{ mm}; t = 8 \text{ mm}; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35 \leq (2,4 d_b t f_u) / \gamma_{a2} = 125,16 \text{ kN.}$$

$d_b = 22 \text{ mm}$ ;  $t = 8 \text{ mm}$ ;  $f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$ ;  $\gamma_{a2} = 1,35$ .

$F_{c, Rd} = 51,91 \text{ kN}$ .

$18,97 \text{ kN} \leq 51,91 \text{ kN}$  (OK!).

➤ **Colapso por rasgamento da Cantoneira:**



**Figura 4.11 – L76,2x10,71 - Área de Rasgamento da cantoneira**

$A_{nv} = 170 \cdot 9,5 - 2,5(9,5 \cdot 23,5) \rightarrow A_{nv} = 10,57 \text{ cm}^2$ .

$A_{nt} = 9,5 \cdot (3 - 0,5 \cdot 23,5) \rightarrow A_{nt} = 1,734 \text{ cm}^2$ .

$A_{gv} = 9,5 \cdot (200 - 30) \rightarrow A_{gv} = 16,15 \text{ cm}^2$ .

- $F_{Sd} \leq F_{Rd}$

$F_{Sd} = 56,90 / 2 \rightarrow F_{Sd} = 28,45 \text{ kN}$ .

$F_{Rd} \leq (0,6 A_{nv} + C_{ts} A_{nt}) f_u / \gamma_{a2} = 239,29 \text{ kN}$ .

$A_{nv} = 10,57 \text{ cm}^2$ ;  $C_{ts} = 1$ ;  $A_{nt} = 1,734 \text{ cm}^2$ ;  $f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$ ;  $\gamma_{a2} = 1,35 \leq (0,6 A_{gv} f_y + C_{ts} A_{nt} f_u) / \gamma_{a2} = 211,56 \text{ kN}$ .

$A_{gv} = 16,15 \text{ cm}^2$ ;  $C_{ts} = 1$ ;  $A_{nt} = 1,734 \text{ cm}^2$ ;  $f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$ ;  $f_y = 25 \text{ kN/cm}^2$ ;  $\gamma_{a2} = 1,35$ .

$\rightarrow F_{Rd} = 211,56 \text{ kN} \leftrightarrow 56,90 \text{ kN} \leq 211,56 \text{ kN}$  (OK!).

➤ **Cisalhamento da Cantoneira:**

- $F_{Sd} \leq F_{Rd}$

$$F_{Sd} = 113,80/2 = 56,90 \text{ kN.}$$

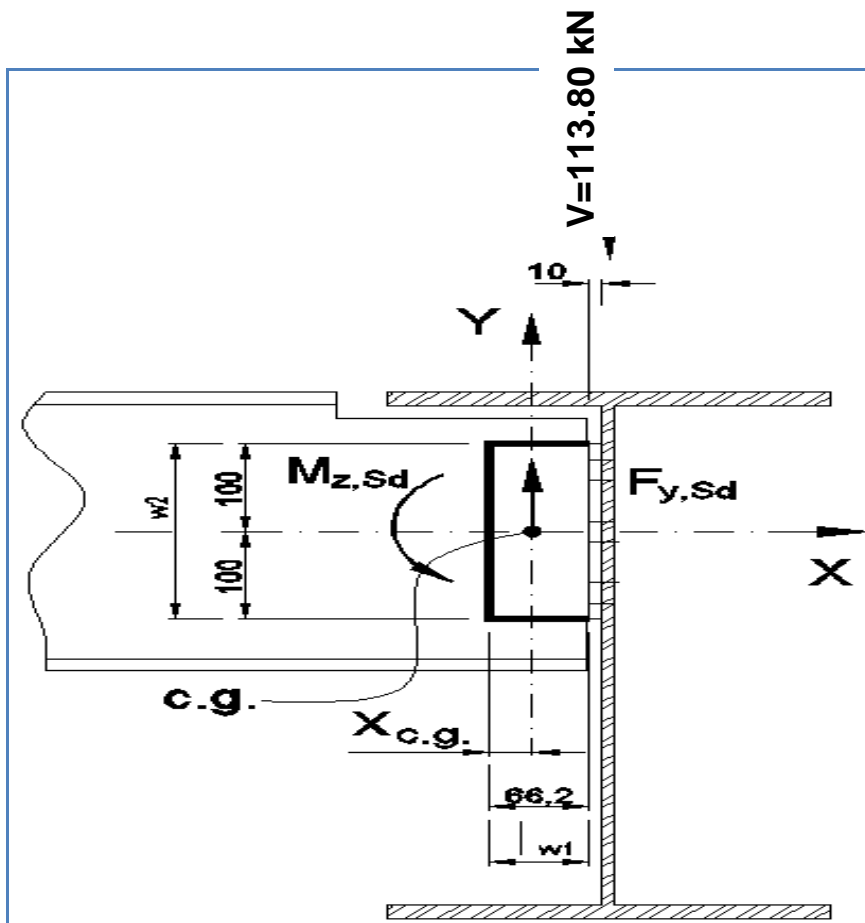
$$F_{Rd} \leq (0,6 A_{gv} f_y) / \gamma_{a1} = 220,23 \text{ kN.}$$

$$A_{gv} = 16,15 \text{ cm}^2; f_y = 25 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10 \leq (0,6 A_{nv} f_u) / \gamma_{a2} = 218,67 \text{ kN.}$$

$$A_{nv} = 12,30 \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35.$$

$$F_{Rd} = 218,67 \text{ kN} \leftrightarrow 113,80 \text{ kN} \leq 218,67 \text{ kN (OK!).}$$

➤ **Verificação da Solda:**



**Figura 4.12 – Solda**

$$x_{c.g.} = (2 * 3,31 * 6,62 * 0,354) / (2 * 6,62 * 0,34 + 2 * 0,354) = 2,88 \text{ cm.}$$

$$I_x = (0,354 * 203 / 12) + 2 * [(6,62 * 0,354) / 12 + 6,62 * 0,354 * (20/2)^2] = 704,75 \text{ cm}^4.$$

$$I_y = 2 \cdot (0,354 \cdot 6,623 / 12) + 6,62 \cdot 0,354 \cdot [(6,62/2) - 2,88]^2 + (20 \cdot 0,354^3 / 12) + 20 \cdot 0,354 \cdot 2,88^2 = 76,78 \text{ cm}^4.$$

$$a_w = d_w \text{ Sen}45^\circ.$$

$$d_w = 5 \text{ mm}.$$

$$a_w = 3,54 \text{ mm}.$$

$$A_w = 2 a_w l_{w1} + l_{w2} a_w = 11,77 \text{ cm}^2.$$

$$a_w = 3,54 \text{ mm}; l_{w1} = 66,2 \text{ mm}; l_{w2} = 200 \text{ mm}.$$

$$F_{y,Sd} = 56,90 / 2 = 28,45 \text{ kN}.$$

$$M_{z,Sd} = 28,45 \text{ kN} \cdot (7,62 \text{ cm} - 2,88 \text{ cm}) = 134,85 \text{ kN.cm}.$$

- **Tensões de Cisalhamento:**

$$\tau_{w,x,Sd} = (F_{x,Sd} / A_w) + (M_{z,Sd} / I_z) y = 1,59 \text{ kN/cm}^2.$$

$$F_{x,Sd} = 0; A_w = 11,77 \text{ cm}^2; M_{z,Sd} = 134,85 \text{ kN.cm}; I_z = I_x + I_y = 781,53 \text{ cm}^4; y = 10 \text{ cm}.$$

$$\tau_{w,y,Sd} = (F_{y,Sd} / A_w) + (M_{z,Sd} / I_z) x = 2,83 \text{ kN/cm}^2.$$

$$F_{y,Sd} = 26,25 \text{ kN}; A_w = 11,77 \text{ cm}^2; M_{z,Sd} = 134,85 \text{ kN.cm}; I_z = I_x + I_y = 781,53 \text{ cm}^4.$$

$$x = 3,74 \text{ cm}.$$

$$\tau_{w,Sd} = (\tau_{w,x,Sd}^2 + \tau_{w,y,Sd}^2)^{1/2} = 3,24 \text{ kN/cm}^2.$$

- **Tensões Metal da Base:**

$$\tau_{MB,Sd} \leq \tau_{MR,Rd}.$$

$$\tau_{MB,Sd} = 0,707 \tau_{w,Sd} = 2,29 \text{ kN/cm}^2.$$

$$\tau_{w,Sd} = 3,24 \text{ kN/cm}^2.$$

$$\tau_{MB,Rd} = 0,6 f_y / \gamma_{a1} = 13,64 \text{ kN/cm}^2.$$

$$f_y = 25 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10.$$

$$2,29 \text{ kN} \leq 13,64 \text{ kN (OK!)}.$$



- **Tensões Metal da Base:**

$$\tau_{w,Sd} \leq \tau_{w,Rd}$$

$$\tau_{w,Sd} = 3,24 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{w,Rd} = 0,6 f_w / \gamma_{w2} = 21,55 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_w = 48,5 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{w2} = 1,35$$

$$3,24 \text{ kN} \leq 21,55 \text{ kN (OK!).}$$

- **Ruptura na região da Solda:**

$$f_{w,res.,Sd} = (\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2)^{1/2} = 3,24 \text{ kN/cm}^2$$

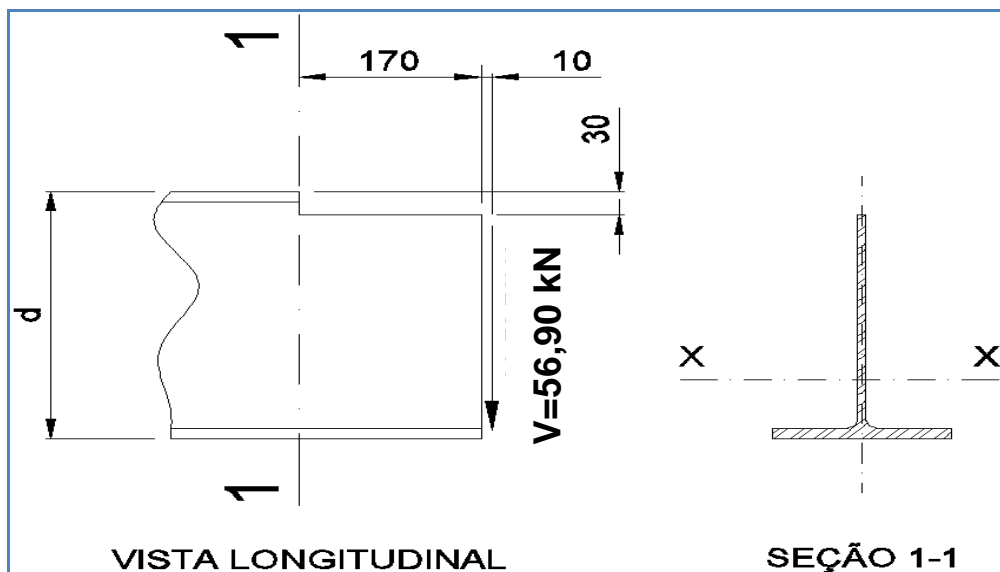
$$\sigma_{w,Sd} = 0; \tau_{w,Sd} = 3,24 \text{ kN/cm}^2$$

$$t_w \text{ (viga)} \geq (2,25 n a_w f_{w,res.,Sd}) / (m f_u)$$

$$n = 2; a_w = 3,54 \text{ mm}; f_{w,res.,Sd} = 3,24 \text{ kN/cm}^2; m = 1; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$$

$$0,66 \geq 0,13 \text{ (OK!).}$$

➤ **Verificação da Viga Suportada:**



**Figura 4.13 – Recorte**

$$y_{c.g. 1-1} = (10,2 \cdot 1,08 \cdot 0,54 + 27,22 \cdot 0,66 \cdot 14,69) / (10,2 \cdot 1,08 + 27,22 \cdot 0,66) = 9,31 \text{ cm.}$$

$$I_{y1-1} = 0,66 \cdot (27,22)^3 / 12 + (0,66 \cdot 27,22) \cdot (14,69 - 9,31)^2 + (10,2 \cdot 1,08) \cdot (9,31 - 0,54)^2 = 2477 \text{ cm}^4.$$

$$A_{g1-1} = 10,2 \cdot 1,08 + 27,22 \cdot 0,66 = 28,98 \text{ cm}^2.$$

$$r_{y1-1} = (I_{y1-1} / A_{g1-1})^{1/2} = 9,25 \text{ cm.}$$

- **Flexão:**

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}.$$

$$M_{Sd} = 18 \text{ cm} \cdot 56,90 \text{ kN} = 1.024,20 \text{ kN.cm.}$$

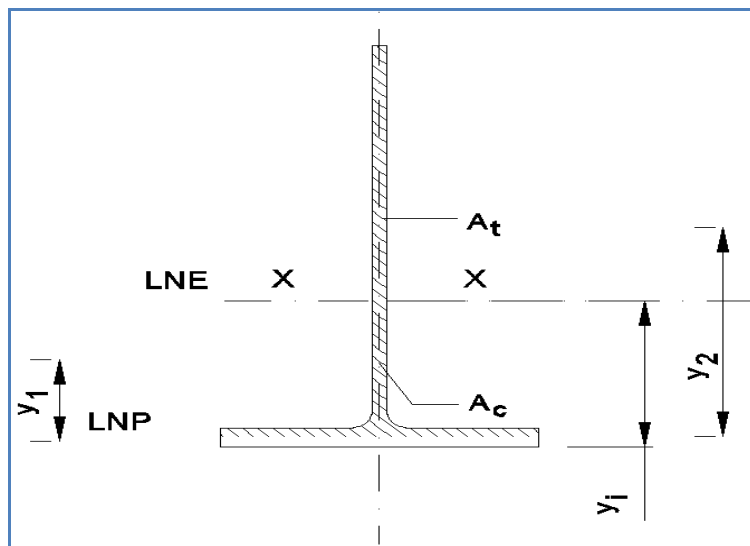
$$\lambda_b = L_b / r_y = 1,84.$$

$$L_b = 17 \text{ cm} / 2; r_{y1-1} = 9,25 \text{ cm.}$$

$$\lambda_P = 1,76 \cdot (E/f_y)^{1/2} = 42,38.$$

$$E = 20.000 \text{ kN/cm}^2; f_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2.$$

$$\lambda_b \leq \lambda_P \rightarrow \text{Não ocorre flambagem local.}$$



**Figura 4.14 – Perfil 1-1 – Seção Típica**

$$A_c = A_t.$$

$$A_t = 21,19 \text{ cm}^2 ; A_c = 21,19 \text{ cm}^2; y_1 = 2,08 \text{ cm}; y_2 = 9,50 \text{ cm}.$$

$$Z_x = A_c y_1 + A_t y_2 = 245,38 \text{ cm}^3.$$

$$M_{Rd} = M_{PL} = Z_x * f_y.$$

$$Z_x = 245,38 \text{ cm}^3; f_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2.$$

$$M_{Rd} = 8.466 \text{ kN.cm}.$$

$$1.024,20 \text{ kN.cm} \leq 8.466 \text{ kN.cm (OK!)}.$$

- **Flexão e Cisalhamento Combinados:**

$$\sigma_x = M_{Sd} / Z_x = 4,17 \text{ kN/cm}^2.$$

$$M_{Sd} = 1.024,20 \text{ kN.cm}; Z_x = 245,38 \text{ cm}^3.$$

$$\tau = F_{Sd} / (A_c + A_t) = 1,34 \text{ kN/cm}^2.$$

$$F_{Sd} = 56,90 \text{ kN}; A_c = 21,19 \text{ cm}^2; A_t = 21,19 \text{ cm}^2.$$

$$(\sigma_x^2 + 3 \tau^2)^{1/2} \leq f_y / \gamma_{a1} = 4,46 \text{ kN/cm}^2 \leq 31,36 \text{ kN/cm}^2 \text{ (OK!)}.$$

$$\sigma_x = 3,85 \text{ kN/cm}^2; \tau = 1,34 \text{ kN/cm}^2; f_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10.$$

## 4.4. Ligação da Viga VPI com Pilar

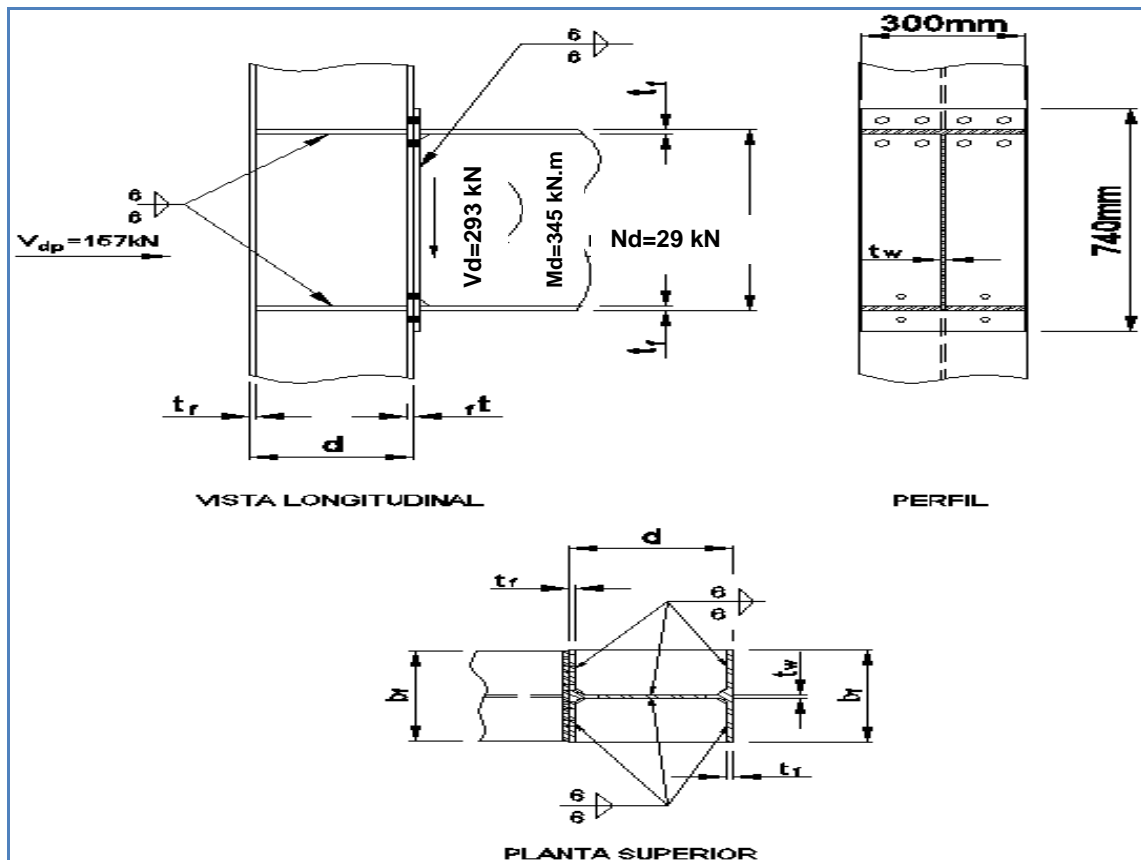


Figura 4.15 – Pilar e VPI

➤ Dados:

- VPI - Perfil **VS** 600 mm x 111 kg/m =

- ✓  $d = 600 \text{ mm.}$
- ✓  $b_f = 300 \text{ mm.}$
- ✓  $t_w = 8 \text{ mm.}$
- ✓  $t_f = 16 \text{ mm.}$
- ✓  $A_g = 141,40 \text{ cm}^2.$
- ✓  $I_x = 94.091 \text{ cm}^4.$
- ✓  $f_y = 300 \text{ MPa.}$
- ✓  $f_u = 400 \text{ MPa.}$

- Pilar - Perfil **HP** 310 mm x 79 kg/m =

- ✓  $d = 299 \text{ mm.}$
- ✓  $b_f = 306 \text{ mm.}$
- ✓  $t_w = 11,0 \text{ mm.}$

- ✓  $t_f = 11,0 \text{ mm}$ .
- ✓  $A_g = 100,0 \text{ cm}^2$ .
- ✓  $I_x = 16.316 \text{ cm}^4$ .
- ✓  $f_y = 345 \text{ MPa}$ .
- ✓  $f_u = 450 \text{ MPa}$ .

- Chapa de Extremidade - **CH** 11 mm x 300 mm x 740 mm =

- ✓  $t = 11 \text{ mm}$ .
- ✓  $A = 2.220 \text{ cm}^2$ .
- ✓  $f_y = 250 \text{ MPa}$ .
- ✓  $f_u = 400 \text{ MPa}$ .

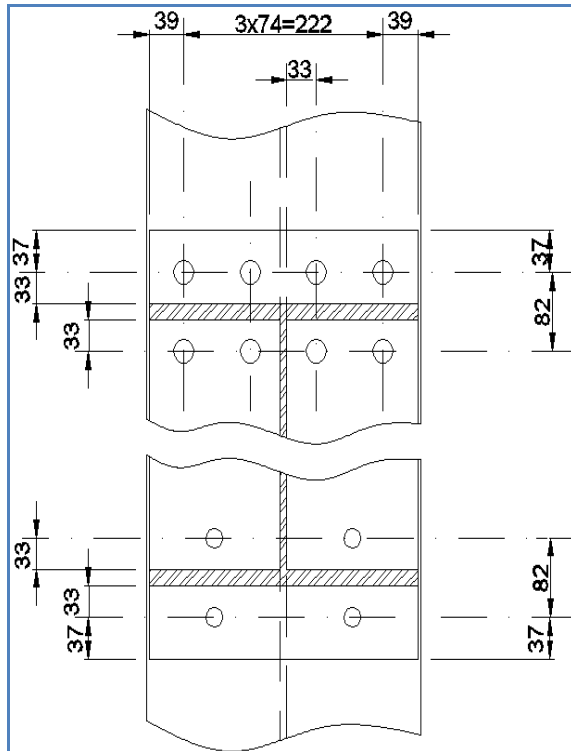
- Chapas Enrijecedoras - **CH** 16 mm x 147,5 mm x 277 mm =

- ✓  $t = 16 \text{ mm}$ .
- ✓  $A = 404,57 \text{ cm}^2$ .
- ✓  $f_y = 250 \text{ MPa}$ .
- ✓  $f_u = 400 \text{ MPa}$ .

- Parafusos –  $\varnothing 22 \text{ mm} \times 30 \text{ mm}$  (ASTM A325) =

- ✓  $\varnothing = 22 \text{ mm}$ .
- ✓  $A_g = 3,80 \text{ cm}^2$ .
- ✓  $f_y = 635 \text{ MPa}$ .
- ✓  $f_u = 825 \text{ MPa}$ .

➤ **Disposições construtivas:**



- **Furo Padrão:**

22 mm + 1,5 mm = 23,5 mm.

- **Distância entre furos ( $e_{ff}$ ):**

$e_{ff} \geq 3,0d_b$ ,  $e_{ff} \geq 3,0 * 22 \text{ mm} \rightarrow e_{ff} \geq 66 \text{ mm}$ .

Menor distância adotada:  $e_{ff} = 74 \text{ mm}$ .

- **Distância entre furos e bordas ( $e_{fb}$ ):**

$e_{fb} \geq 1,25 d_b$ ,  $e_{fb} \geq 1,25 * 22 \text{ mm} \pm e_{fb} \geq 27,5 \text{ mm}$ .

$e_{fb} \leq 12 t_w(\text{Pilar})$ ,  $e_{fb} \leq 12 * 11 \text{ mm} \pm e_{fb} \leq 132 \text{ mm}$ .

Menor distância adotada:  $e_{fb} = 37 \text{ mm}$ .

- **Distância entre furos e Alma do Pilar:**

$d_{fa} \geq 1,5 d_b$ ,  $d_{fa} \geq 1,5 * 22 \text{ mm} \pm d_{fa} \geq 33 \text{ mm}$ .

Menor distância adotada:  $e_{fa} = 33 \text{ mm}$ .

- **Distância entre furos e Mesa da Viga:**

$d_{fa} \geq 1,5 d_b$ ,  $d_{fa} \geq 1,5 * 22 \text{ mm} \pm d_{fa} \geq 33 \text{ mm}$ .

Menor distância adotada:  $e_{fa} = 33 \text{ mm}$ .

- **Menor distância entre Quadrante do furo e Borda ( $l_f$ ):**

$$l_f = 37 - 23,5/2 \rightarrow l_f = 25,25 \text{ mm}.$$

- **Dimensões Mínimas das Soldas de Filete da Placa de Ligação com Alma da Viga:**

$$d_w \geq 5 t_w(\text{Viga})/8 \rightarrow d_w \leq 5 * 8 \text{ mm} / 8 \rightarrow d_w \leq 5 \text{ mm}.$$

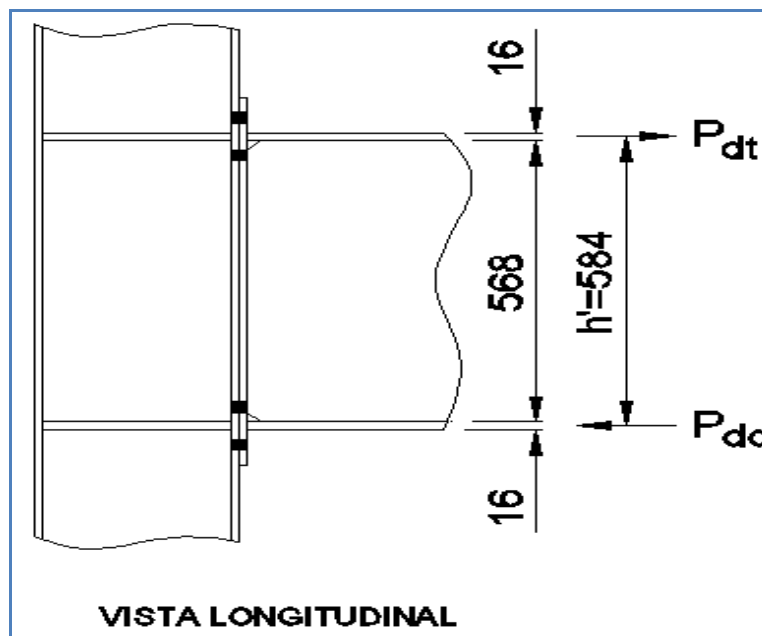
Adotado:  $d_w = 6 \text{ mm}$ .

- **Dimensões Mínimas das Soldas de Filete do Enrijecedor e Alma do Pilar:**

$$t_w (\text{Pilar}) = 9,9 \text{ mm} \leftrightarrow d_w = 5 \text{ mm} (\text{Perna mínima da solda}).$$

Adotado:  $d_w = 6 \text{ mm}$ .

➤ **Mesas e Alma da Viga:**



**Figura 4.17 – Esforços Axiais**

$$(b_f/2) / t_f = 9,38.$$

$$b_f = 300 \text{ mm}; t_f = 16 \text{ mm}.$$

$$[(b_f/2) / t_f]_{lim} = 0,64 (E k_c/f_y)^{1/2} = 11,33.$$

$$E = 20.000 \text{ kN/cm}^2; k_c = 4 / (592 \text{ mm} / 8\text{mm})^{1/2}.$$

$$f_y = 30 \text{ kN/cm}^2.$$

$$(b_f/2) / t_f \leq [(b_f/2) / t_f]_{\text{lim}}; Q_s = 1,0.$$

- **Mesas:**

$$P_{dt} = (M_d / h') - N_d / 2 = 570,9 \text{ kN}.$$

$$M_d = 348 \text{ kN.m}; h' = 584 \text{ mm}; N_d = 50 \text{ kN}.$$

$$F_{Rd} = A_{ms} * f_y / \gamma_{a1} = 1.309,10 \text{ kN}.$$

$$A_{ms} = 300 \text{ mm} * 16 \text{ mm}; f_y = 30 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10.$$

$$570,90 \text{ kN} \leq 1.309,10 \text{ kN (OK!)}.$$

$$P_{dc} = (M_d / h') + N_d / 2 = 620,90 \text{ kN}.$$

$$M_d = 348 \text{ kN.m}; h' = 584 \text{ mm}; N_d = 50 \text{ kN}.$$

$$F_{Rd} = \chi Q A_{mi} f_y / \gamma_{a1}.$$

$$\chi = 1,0; Q = 1; A_{mi} = 300 \text{ mm} * 16 \text{ mm}; f_y = 30 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10.$$

$$F_{Rd} = 1.440 \text{ kN} \leftrightarrow 620,90 \text{ kN} \leq 1.440 \text{ kN (OK!)}.$$

- **Alma:**

$$V_{sd} \leq V_{Rd}.$$

$$V_{sd} = 292 \text{ kN}.$$

$$V_{Rd} = 0,6 A_w f_y / \gamma_{a1} = 691,20 \text{ kN}.$$

$$A_w = (60 \text{ cm} - 2 * 1,6 \text{ cm} - 2 * 2) * 0,8 \text{ cm}; f_y = 30 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10.$$

$$292 \text{ kN} \leq 691,20 \text{ kN (OK!)}.$$

#### **4.4.1. Verificação dos Parafusos e Chapas de Ligação**



➤ **Cisalhamento Parafuso:**

- **Considerando apenas os parafusos comprimidos:**

$$F_{V, Sd} \leq F_{V, Rd}$$

$$F_{V, Sd} = F_{Sd} / n_v = 73 \text{ kN.}$$

$$F_{Sd} = 292 \text{ kN; } n_v = 4 \text{ (número de parafusos).}$$

$$F_{V, Rd} = (0,4 n_s A_b f_{ub}) / \gamma_{a2} = 92,89 \text{ kN.}$$

$$n_s = 1; A_b = 380 \text{ mm}^2; f_{ub} = 82,5 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35.$$

$$73 \text{ kN} \leq 92,89 \text{ kN (OK!)}$$

➤ **Pressão de Contato:**

- **Chapa de Extremidade:**

$$\rightarrow F_{C, Sd} \leq F_{C, Rd}$$

$$F_{C, Sd} = F_{Sd} / n_v = 73 \text{ kN.}$$

$$F_{Sd} = 292 \text{ kN; } n_v = 4 \text{ (número de parafusos comprimidos).}$$

$$F_{C, Rd} \leq (1,2 l_f t f_u) / \gamma_{a2} = 98,92 \text{ kN.}$$

$$l_f = 25,25 \text{ mm; } t = 11 \text{ mm; } f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35 \leq (2,4 d_b t f_u) / \gamma_{a2} = 172,09 \text{ kN.}$$

$$d_b = 22 \text{ mm; } t = 11 \text{ mm; } f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35.$$

$$F_{C, Rd} = 98,92 \text{ kN.}$$

$$73 \text{ kN} \leq 98,92 \text{ kN (OK!).}$$

➤ **Tração nos Parafusos:**

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

$$F_{t, Sd} = F_{Sd} / n_t = 71,37 \text{ kN.}$$

$$F_{Sd} = 570,90 \text{ kN; } n_t = 8 \text{ (número de parafusos tracionados).}$$

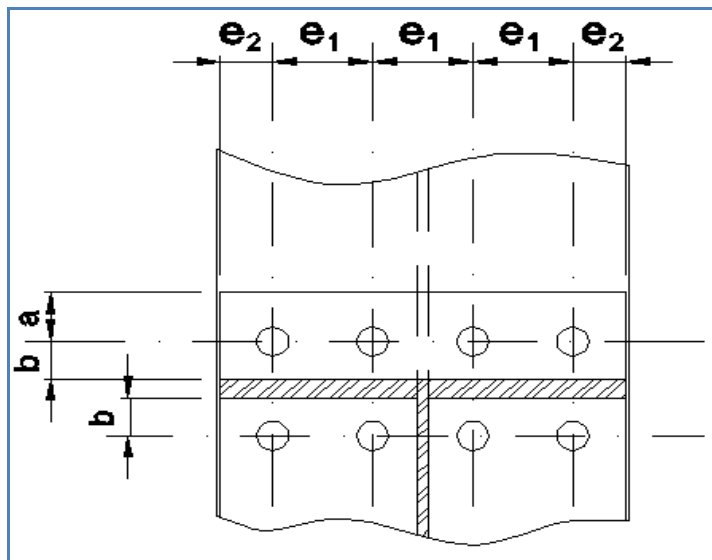
$$F_{t,Rd} = (\phi_a A_{be} f_{ub}) / \gamma_{a2}$$

$$\phi_a = 0,67; A_{be} = 0,75 \cdot 380 \text{ mm}^2; f_{ub} = 82,50 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35.$$

$$F_{t,Rd} = 116,69 \text{ kN}.$$

$$71,37 \text{ kN} \leq 116,69 \text{ kN (OK!)}.$$

➤ **Efeito Alavanca:**



**Figura 4.18 – Efeito Alavanca**

Na condição de verificação da chapa de 11 mm é a pior situação em relação à mesa do pilar.

$$a=37 \text{ mm}; b=33 \text{ mm}; e_1=74 \text{ mm}; e_2= 39 \text{ mm}.$$

• **Parafuso de extremidade:**

$$P = \leq (39) \text{ e } (33 + 0,5 \cdot 22) + \leq (74/2) \text{ e } (33 + 0,5 \cdot 22).$$

$$P = 39 + 37 = 74 \text{ mm.}$$

- **Parafuso Interno:**

$$P = \leq (74/2) \text{ e } (33 + 0,5 \cdot 22) \times 2.$$

$$P = 2 \cdot 37 = 74 \text{ mm.}$$

- **MSd < MRd:**

$$M_{Sd} = F_{t,Sd} b = 214,10 \text{ kN.cm.}$$

$$F_{t,Sd} = 71,37 \text{ kN; } b=3 \text{ cm.}$$

$$M_{Rd} = (P t^2 f_y) / (4 \gamma_{a1}) = 50,88 \text{ kN.cm.}$$

$$P= 74\text{mm; } t= 11\text{mm; } f_y = 25\text{kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10.$$

$$214,10 \text{ kN.cm} > 50,88 \text{ kN.cm} \text{ (n\~{a}o OK!).}$$

Na condi\c{c}~{a}o do efeito alavanca atender \~{a} verifica\c{c}~{a}o, seguem as sugest\~{o}es:

- ❖ Acr\~{e}scimo na espessura da chapa (chapa de 25 mm).
- ❖ Acr\~{e}scimo na espessura da chapa somada com melhorias na qualidade do a\c{c}o (chapa de 19 mm com a\c{c}o com  $f_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2$ ).
- ❖ Acr\~{e}scimo no n\~{u}mero de parafusos na liga\c{c}~{a}o.

➤ **Tra\c{c}~{a}o e Cisalhamento:**

No caso do cisalhamento dos parafusos, foram adotados apenas os parafusos comprimidos. Suficientes para suportar o esfor\c{c}o cortante/cisalhamento.

Na condi\c{c}~{a}o de efeito combinado, ser\~{a} necess\~{a}rio contar com os parafusos tracionados:

$$F_{v,Sd} = V_d / n_v.$$

$$V_d = 292 \text{ kN; } n_v = 12 \text{ (n\~{u}mero total de parafusos).}$$

$$F_{v,Sd} = 24,3 \text{ kN.}$$

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

$F_{t,Sd} = 71,37 \text{ kN}$ ;  $F_{t,Rd} = 116,69 \text{ kN}$ ;  $F_{v,Sd} = 24,30 \text{ kN}$ ;  $F_{v,Rd} = 92,89 \text{ kN}$ .

$0,44 < 1,0$  (**OK!**).

#### 4.4.2. Verificação Pilar

➤ Cisalhamento na Alma do Pilar:

$V_{sd} = 570,90 \text{ kN} + 157 \text{ kN} \rightarrow 727,9 \text{ kN}$ .

$\lambda = h/t_w \rightarrow \lambda = 277 / 9,9$ ;  $\lambda = 28$ .

$\lambda_P = 1,10 * (k_v E / f_y)^{1/2} = 65,90$ .

$k_v = 6,19$ ;  $E = 20.000 \text{ kN/cm}^2$ ;  $f_y = 34,50 \text{ kN/cm}^2$ .

$\lambda < \lambda_P \rightarrow V_{Rd} = 0,6 A_w f_y / \gamma_{a1}$ .

$A_w = (308 * 9,9) \text{ mm}^2$ ;  $f_y = 34,50 \text{ kN/cm}^2$ ;  $\gamma_{a1} = 1,10$ .

$V_{Rd} = 573,80 \text{ kN}$ .

$727,90 \text{ kN} > 573,80 \text{ kN}$  (não **OK**).

Na condição do cisalhamento na alma do pilar passar na verificação deve-se utilizar enrijecedores na alma do pilar, aumentando a resistência da peça ao cisalhamento.

### 4.4.3. Verificação da Solda

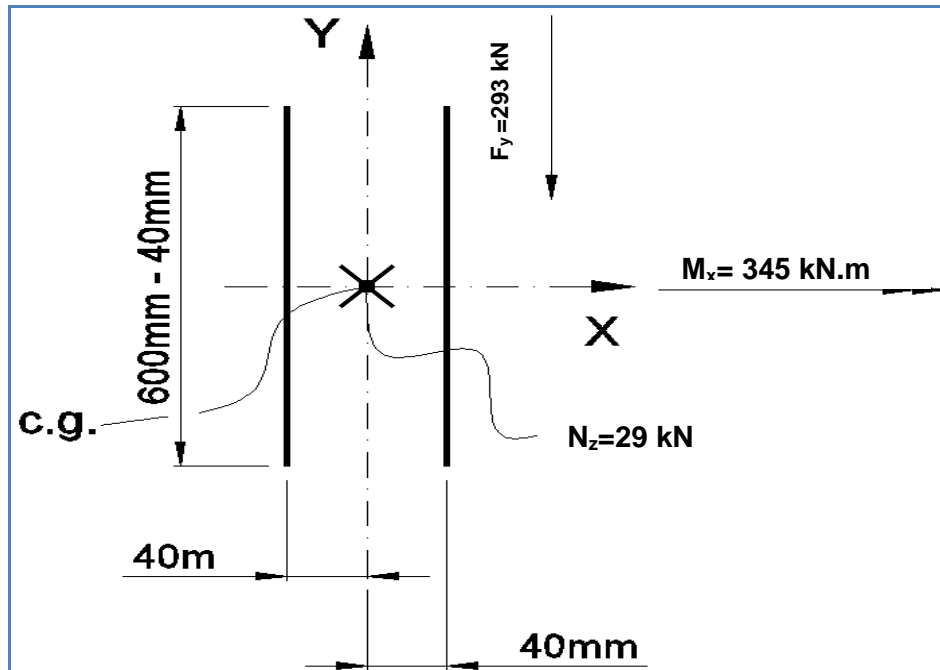


Figura 4.19 – Solda de Filete entre Chapa e Alma da Viga – Esforços e localização

➤ **Solda de Filete entre a Chapa de Extremidade e a Alma da Viga:**

$$a_w = d_w \text{ sen}45^\circ = 4,24 \text{ mm.}$$

$$d_w = 6 \text{ mm.}$$

$$A_w = a_w 2l_w = 47,52 \text{ cm}^2.$$

$$a_w = 4,24 \text{ mm; } l_w = 560 \text{ mm.}$$

$$F_{y,Sd} = 292 \text{ kN.}$$

$$M_{z,Sd} = 0.$$

• **Tensões de Cisalhamento:**

$$\tau_{w,x,Sd} = 0.$$

$$\tau_{w,y,Sd} = (F_{y,Sd} / A_w) + (M_{z,Sd} / I_z) x = 6,16 \text{ kN/cm}^2.$$

$$F_{y,Sd} = 293 \text{ kN}; A_w = 47,52 \text{ cm}^2; M_{z,Sd} = 0.$$

$$\tau_{w,Sd} = \tau_{w,y,Sd} = 6,16 \text{ kN/cm}^2.$$

- **Tensões Normais:**

$$\sigma_{w,Sd} = (P_{dt} l_w) / (A_{\text{mesa}} h') = 11,66 \text{ kN/cm}^2.$$

$$P_{dt} = 570,90 \text{ kN}; A_{\text{mesa}} = (305 * 15,4) \text{ mm}^2; l_w = 560 \text{ mm}; h' = 584 \text{ mm}.$$

- **Tensões Metal da Base:**

$$\tau_{MB,Sd} \leq \tau_{MR,Rd}.$$

$$\tau_{MB,Sd} = 0,707 * \tau_{w,Sd} = 4,35 \text{ kN/cm}^2.$$

$$\tau_{w,Sd} = 6,16 \text{ kN/cm}^2.$$

$$\tau_{MB,Rd} = 0,6 f_y / \gamma_{a1} = 16,36 \text{ kN/cm}^2.$$

$$f_y = 30 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10.$$

$$4,35 \text{ kN} \leq 16,36 \text{ kN (OK!)}.$$

$$\sigma_{MB,Sd} \leq \sigma_{MR,Rd}.$$

$$\sigma_{MB,Sd} = 0,707 * \sigma_{w,Sd} = 8,24 \text{ kN/cm}^2.$$

$$\sigma_{w,Sd} = 11,66 \text{ kN/cm}^2.$$

$$\sigma_{MB,Rd} = 0,6 f_y / \gamma_{a1} = 16,36 \text{ kN/cm}^2.$$

$$f_y = 30 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10.$$

$$8,24 \text{ kN} \leq 16,36 \text{ kN (OK!)}.$$

- **Tensões do Metal da Solda:**

$$\tau_{w,Sd} \leq \tau_{w,Rd}.$$

$$\tau_{w,Rd} = 0,6 f_w / \gamma_{w2} = 21,55 \text{ kN/cm}^2.$$

$$f_w = 48,5 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{w2} = 1,35.$$

$$6,16 \leq 21,55 \text{ kN/cm}^2 \text{ (OK!).}$$

$$\sigma_{w,Sd} \leq \sigma_{w,Rd}.$$

$$\sigma_{w,Rd} = 0,6 f_w / \gamma_{w2} = 21,55 \text{ kN/cm}^2.$$

$$f_w = 48,5 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{w2} = 1,35.$$

$$11,66 \leq 21,55 \text{ kN/cm}^2 \text{ (OK!).}$$

- **Ruptura na região da Solda:**
- **Na Alma da Viga:**

$$f_{w,res.,Sd} = (\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2)^{1/2} = 13,18 \text{ kN/cm}^2.$$

$$\sigma_{w,Sd} = 11,66; \tau_{w,Sd} = 6,15 \text{ kN/cm}^2.$$

$$t_w \geq (2,25 n a_w f_{w,res.,Sd}) / (m f_u) = 0,62 \text{ cm}.$$

$$n=2; a_w=4,2 \text{ mm}; f_{w,res.,Sd} = 13,18 \text{ kN/cm}^2; m=1; f_u=40 \text{ kN/cm}^2.$$

$$0,8 \text{ cm} \geq 0,62 \text{ cm (OK!).}$$

- **Na Chapa de Extremidade:**

$$f_{w,res.,Sd} = (\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2)^{1/2} = 13,18 \text{ kN/cm}^2.$$

$$\sigma_{w,Sd} = 11,66; \tau_{w,Sd} = 6,15 \text{ kN/cm}^2.$$

$$t_w \geq (2,25 n a_w f_{w,res.,Sd}) / (m f_u).$$

$$n = 2; a_w = 4,2 \text{ mm}; f_{w,res.,Sd} = 13,18 \text{ kN/cm}^2; m = 2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2.$$

$$1,1 \text{ cm} \geq 0,31 \text{ cm (OK!).}$$

#### **4.4.4. Verificação Enrijecedores**

➤ **Cisalhamento:**

$$- F_{Sd} \leq F_{Rd}.$$

$$F_{Sd} = 570,90 / 2 \quad F_{Sd} = 285,45 \text{ kN}.$$

$$F_{Rd} < (0,6 A_{gv} f_y) / \gamma_{a1} = 604,36 \text{ kN}.$$

$$A_{gv} = (27,7 * 1,6) \text{ cm}^2; f_y = 25 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10.$$

$$< (0,6 A_{nv} f_u) / \gamma_{a2} = 674,13 \text{ kN}.$$

$$A_{nv} = (27,7 * 1,6 - 2 * 1,6 * 2) \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35.$$

$$F_{Rd} = 604,36 \text{ kN}.$$

$$285,45 \text{ kN} \leq 604,36 \text{ kN} \text{ (OK!).}$$

➤ **Solda:**

$$a_w = d_w \text{ sen}45^\circ = 4,24 \text{ mm}.$$

$$d_w = 6 \text{ mm}.$$

$$A_w = a_w l_w = 10,05 \text{ cm}^2.$$

$$a_w = 4,24 \text{ mm}; l_w = (277 - 2 * 20) \text{ mm}.$$

$$F_{Sd} = 570,90 / 4 \rightarrow F_{Sd} = 142,73 \text{ kN (dois enrijecedores com duas pernas de solda)}.$$

$$\tau_{w,Sd} = F_{Sd} / A_w.$$

$$F_{Sd} = 142,73 \text{ kN/cm}^2; A_w = 10,05 \text{ cm}^2.$$

$$\tau_{w,Sd} = 14,20 \text{ kN/cm}^2.$$

• **Tensões Metal da Base:**

$$\tau_{MB,Sd} \leq \tau_{MR,Rd}.$$

$$\tau_{MB,Sd} = 0,707 * \tau_{w,Sd} = 10,04 \text{ kN/cm}^2.$$

$$\tau_{w,Sd} = 14,20 \text{ kN/cm}^2.$$



$$\tau_{MB,Rd} = 0,6 f_y / \gamma_{a1} = 13,64 \text{ kN/cm}^2.$$

$$f_y = 25 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10.$$

$$10,04 \text{ kN} \leq 13,64 \text{ kN (OK!).}$$

- **Tensões do Metal da Solda:**

$$\tau_{w,Sd} \leq \tau_{w,Rd}.$$

$$\tau_{w,Rd} = 0,6 f_w / \gamma_{w2} = 21,55 \text{ kN/cm}^2.$$

$$f_w = 48,5 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{w2} = 1,35.$$

$$14,20 \leq 21,55 \text{ kN/cm}^2 \text{ (OK!).}$$

- **Ruptura na região da Solda:**

- **Na Alma do Pilar:**

$$f_{w,res.,Sd} = (\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2)^{1/2} = 14,20 \text{ kN/cm}^2.$$

$$\sigma_{w,Sd} = 0; \tau_{w,Sd} = 14,20 \text{ kN/cm}^2.$$

$$t_w \geq (2,25 n a_w f_{w,res.,Sd}) / (m f_u) = 0,34 \text{ cm}.$$

$$n = 2; a_w = 4,2 \text{ mm}; f_{w,res.,Sd} = 14,20 \text{ kN/cm}^2; m = 2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2.$$

$$0,99 \text{ cm} \geq 0,34 \text{ cm (OK!).}$$

- **No Enrijecedor:**

$$f_{w,res.,Sd} = (\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2)^{1/2} = 14,20 \text{ kN/cm}^2.$$

$$\sigma_{w,Sd}=0; \tau_{w,Sd} = 14,20 \text{ kN/cm}^2.$$

$$t_w \geq (2,25 n a_w f_{w,res.,Sd}) / (m f_u) = 0,34 \text{ cm}.$$

$n = 2$ ;  $a_w = 4,2 \text{ mm}$ ;  $f_{w, \text{res.}, Sd} = 14,20 \text{ kN/cm}^2$ ;  $m = 1$ ;  $f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$ .

$1,6 \text{ cm} \geq 0,68 \text{ cm}$  (**OK!**).

#### **4.5. Base Do Pilar**

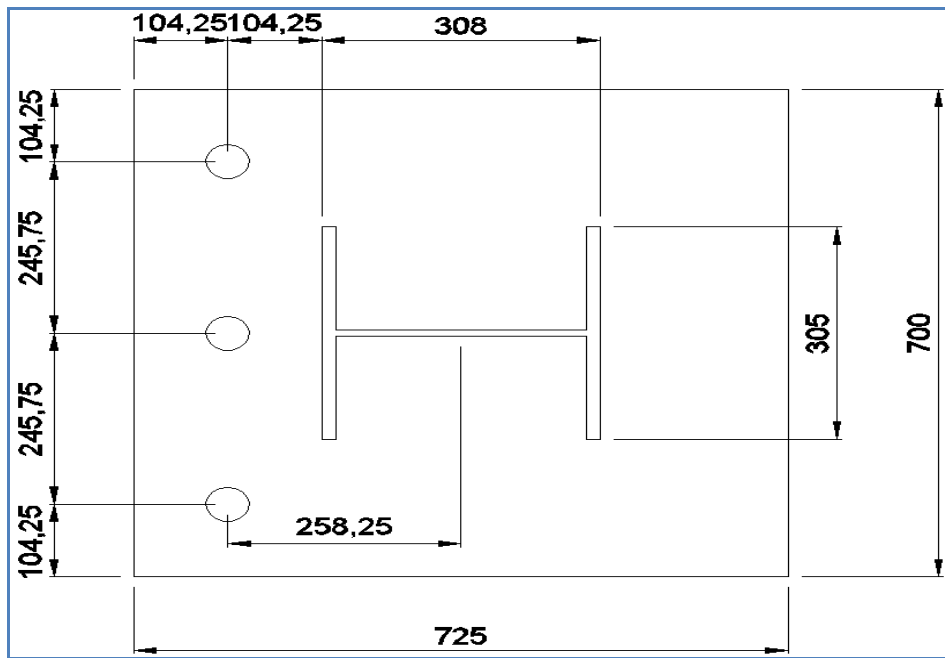


Figura 4.20 – Chapa de Base

➤ **Disposições e limitações construtivas:**

$d_{ch} = 50 \text{ mm}$

$h_2 = 350 \text{ mm}; r_1 = 375 \text{ mm}; r_2 = 100 \text{ mm}, d_f = 80 \text{ mm}$

• **Arruela Especial com furo padrão:**

espessura de 22 mm e dimensões de 125 mm por 125 mm; além da arruela normal de 4 mm.

• **Enchimento:**

$d_{ch} = 50 \text{ mm} \rightarrow$  Altura do Enchimento  $a_g = 75 \text{ mm}$

$f_{ck} = 1,5 f_{ck} (\text{base}) \rightarrow f_{ck} = 1,5 * 20 \text{ MPa}; f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

• **Dimensões da Placa:**

$d \leq H \leq d + 4a_1 \rightarrow 308 \text{ mm} \leq 725 \text{ mm} \leq 308 \text{ mm} + 4 * 104,25 \text{ mm} \rightarrow 308 \text{ mm} < 725 \text{ mm} < 725 \text{ mm}$  (OK!)

$b_f \leq B \leq b_f + 4a_1 \rightarrow 305 \text{ mm} \leq 700 \text{ mm} \leq 305 \text{ mm} + 4 \cdot 104,25 \text{ mm} \rightarrow 305 \text{ mm} \leq 700 \text{ mm} \leq 722 \text{ mm}$  (OK!)

$t = 60 \text{ mm} > 19 \text{ mm}$  (OK!)

- **Distância entre centro de furo e borda:**

$2d_{ch} \leq a_1 \rightarrow 2 \cdot 50 \text{ mm} \leq 104,25 \text{ mm} \rightarrow 100 \text{ mm} \leq 104,25 \text{ mm}$  (OK!)

- **Distância entre centros do furo:**

$a_2 \geq 4 d_{ch} \rightarrow 245,75 \text{ mm} \geq 4 \cdot 50 \text{ mm} \rightarrow 245,75 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm}$  (OK!)

➤ **Esforços Solicitantes na Base:**

- **Força de Compressão Máxima:**

$e = |M_{Sd} / N_{c,Sd}| = 45,65 \text{ cm}$

$M_{Sd} = 219,61 \text{ kN.m}$ ;  $N_{c,Sd} = 478,44 \text{ kN}$

$e_{crit} = 0,5 \cdot (72,5 - 478,35 / (1,02 \cdot 70,0)) = 32,9 \text{ cm}$

$\sigma_{c,Rd} \leq f_{ck} (A_2/A_1)^{1/2} / (\gamma_c \gamma_n) = 1,02 \text{ KN/cm}^2 \leq 2,0 \text{ KN/cm}^2$

$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$ ;  $A_2/A_1 = 1$ ;  $\gamma_c = 1,4$ ;  $\gamma_n = 1,4$

$e \geq e_{crit}$ ;  $\Delta = (h_t + 0,5H)^2 - [2N_{c,Sd} (e+h_t) / (B\sigma_{c,Rd})]$

$H = 725 \text{ mm}$ ;  $N_{c,Sd} = 478,34 \text{ kN}$ ;  $B = 700 \text{ mm}$ ;  $\sigma_{c,Rd} = 1,02 \text{ KN/cm}^2$ ;  $h_t = 258,25 \text{ mm}$ ;  
 $e = 45,65 \text{ cm}$ ;

$\Delta = 2895,62 \rightarrow \Delta \geq 0$

$Y = h_t + 0,5H - (\Delta)^{1/2} = 7,62 \text{ cm}$

$H_t = 258,25 \text{ mm}$ ;  $H = 725 \text{ mm}$ ;  $\Delta = 2895,62$

$Y = 8,26 \text{ cm}$

- **Tensão de Tração no Chumbador:**

$P_{t,Sd} = \sigma_{c,Rd} Y B - N_{c,Sd}$ .

$\sigma_{c,Rd} = 1,02 \text{ kN/cm}^2$ ;  $Y = 8,26 \text{ cm}$ ;  $B = 700 \text{ mm}$ ;  $N_{c,Sd} = 478,34 \text{ kN}$ .

$P_{t,Sd} = 111,42 \text{ kN}$ .

- **Tensão Solicitante no Concreto:**

$\sigma_{c,Sd} = (N_{c,Sd} + P_{t,Sd}) / (YB)$ .

$P_{t,Sd} = 111,42 \text{ kN}$ ;  $Y = 8,26 \text{ cm}$ ;  $B = 700 \text{ mm}$ ;  $N_{c,Sd} = 478,34 \text{ kN}$ .

$\sigma_{c,Sd} = 1,02 \text{ kN/cm}^2$ .

- **Esforços Horizontais:**

$V_{at} \leq 0,7 \mu N_{c,Sd} = 184,16 \text{ kN}$ .

$\mu = 0,55$ ;  $N_{c,Sd} = 478,34 \text{ kN} \leq 0,2 f_{ck} Y B = 231,28 \text{ kN}$ .

$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$ ;  $Y = 8,26 \text{ cm}$ ;  $B = 700 \text{ mm}$ .

$V_{at} = 184,16 \text{ kN}$ .

$V_{bc,Sd} = V_{Sd} - V_{at} = -76,77 \text{ kN}$  (não necessita placa de cisalhamento).

$V_{Sd} = 107,39 \text{ kN}$ ;  $V_{at} = 184,16 \text{ kN}$ .

- **Verificação do Concreto:**

$\sigma_{c,Sd} \leq \sigma_{c,Rd} \rightarrow 1,02 \text{ kN/cm}^2 \leq 1,02 \text{ kN/cm}^2$  (OK!).

### 4.5.1. Chumbadores

$P_{t,Sd} \leq P_{t,Rd}$ .

➤ **Escoamento da Seção Bruta:**

$P_{t,esc,Rd} = n_t A_g f_y / \gamma_1$

$n_t = 3$ ;  $A_g = 19,625 \text{ cm}^2$ ;  $f_y = 25 \text{ kN/cm}^2$ ;  $\gamma_1 = 1,1$ .

$P_{t,esc,Rd} = 1338,07 \text{ kN}$ .

$P_{t,Sd} = 111,42 \text{ kN} \leq 1338,07 \text{ kN}$  (OK!).

➤ **Ruptura da Seção Rosqueada:**

$$P_{t, \text{rup, Rd}} = n_t A_e f_u / \gamma_2 = 1308,33 \text{ kN.}$$

$$n_t = 3; A_e = 0,75 \cdot 19,625 \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_1 = 1,35.$$

$$P_{t, \text{Sd}} = 111,42 \text{ kN} \leq 1308,33 \text{ kN (OK!)}.$$

➤ **Arrancamento do Concreto:**

$$P_{t, \text{ac, Rd}} = 15 n_t A_g f_{ck} / \gamma_c = 1261,61 \text{ kN.}$$

$$n_t = 3; A_g = 19,625 \text{ cm}^2; f_{ck} = 20 \text{ MPa}; \gamma_c = 1,40.$$

$$P_{t, \text{Sd}} = 111,42 \text{ kN} \leq 1261,61 \text{ kN (OK!)}.$$

➤ **Ruptura do Concreto:**

• **Dimensões Mínimas do Bloco:**

$$H_b \geq H (A_2/A_1)^{1/2} = 72,5 \text{ cm.}$$

$$H = 725; A_2/A_1 = 1 \geq H + 11d_{ch} = 127,5 \text{ cm.}$$

$$H = 725 \text{ mm}; d_{ch} = 50 \text{ mm.}$$

$$H_b = 150 \text{ cm.}$$

$$B_b \geq B (A_2/A_1)^{1/2} = 70 \text{ cm.}$$

$$B = 700 \text{ mm}; A_2/A_1 = 1 \geq B + 11d_{ch} = 125 \text{ cm.}$$

$$B = 700 \text{ mm}; d_{ch} = 50 \text{ mm.}$$

$$B_b = 150 \text{ cm.}$$

$$A_b \geq H_b = 150 \text{ cm} \geq h_a + 20,0 \text{ cm} = 80 \text{ cm.}$$

$$h_a = 60 \text{ cm.}$$

$$A_b = 150 \text{ cm.}$$

• **Área de Ruptura do Concreto ( $A_{rc}$ ):**

$$c_1 \leq (H_b / 2) - h_t = 49,18 \text{ cm.}$$

$$H_b = 150 \text{ cm}; h_t = 25,825 \text{ cm} \leq 1,5h_a = 90,0 \text{ cm}.$$

$$c_1 = 49,18 \text{ cm}.$$

$$c_2 \leq (B_b - B + 2a_1) / 2 = 29,58 \text{ cm}.$$

$$B_b = 150 \text{ cm}; B = 70 \text{ cm}; a_1 = 104,25 \text{ mm} \leq 1,5h_a = 90,0 \text{ cm}.$$

$$c_2 = 29,58 \text{ cm}.$$

$$c_3 \leq (H_b / 2) + h_t = 100,83 \text{ cm}.$$

$$H_b = 150 \text{ cm}; h_t = 25,825 \text{ cm} \leq 1,5h_a = 90,0 \text{ cm}.$$

$$c_3 = 90 \text{ cm}.$$

$$c_4 \leq a_2 = 24,58 \text{ cm} \leq 3,0h_a = 180 \text{ cm}.$$

$$c_4 = 24,58 \text{ cm}.$$

$$A_{rc} = 2(c_2 + c_4/2)(c_1 + c_3) + (n_t - 2)c_4(c_1 + c_3) = 15.075,98 \text{ cm}^2.$$

$$c_1 = 49,18 \text{ cm}; c_2 = 29,58 \text{ cm}; c_3 = 90 \text{ cm}; c_4 = 24,58 \text{ cm}; n_t = 3.$$

$$P_{t,rc}, R_d = 0,08 A_{rc} f_{ck}^{1/2} / (\gamma_{ch} a^{1/3}) = 311,20 \text{ kN}.$$

$$H_a = 60 \text{ cm}; A_{rc} = 15.075,98 \text{ cm}^2; f_{ck} = 20 \text{ MPa}; \gamma_c = 1,40.$$

$$P_{t,rc}, R_d = 375,96 \text{ kN}.$$

$$P_{t,Sd} = 111,42 \text{ kN} \leq 311,20 \text{ kN (OK!)}.$$

### **4.5.2. Verificação da Placa de Base**

$$M_{pb,Sd} < M_{pb,Rd}.$$

$$M_{pb}, R_d = t_{pb}^2 f_y / (4\gamma_{a1}) = 204,5 \text{ kN.cm/cm}.$$

$$t_{pb} = 60 \text{ mm}; f_y = 25 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10.$$

$$m \geq m_1 = (H - 0,95d) / 2.$$

$$H = 725 \text{ mm}; d = 308 \text{ mm}.$$

$$\geq m_1 = 21,62 \text{ cm}.$$

$$\geq m_2 = (B - 0,80b_f) / 2.$$

$$B = 700 \text{ mm}; b_f = 305 \text{ mm}.$$

$$\geq m_2 = 22,8 \text{ cm}.$$

$$\geq m_3 = (db_f)^{1/2}/4 = 7,66 \text{ cm}.$$

$$d = 308 \text{ mm}; b_f = 305 \text{ mm}.$$

$$Y = 8,26 \text{ cm} \leq m_1 = 21,62 \text{ cm}; m = (2Ym_1 - Y^2)^{1/2} = 17 \text{ cm}.$$

$$m = 17 \text{ cm}.$$

$$M_{pb,c, Sd} = \sigma_{c,Sd} * m^2/2 = 147,39 \text{ kN}.$$

$$\sigma_{c,Rd} = 1,02 \text{ KN/cm}^2; m = 17 \text{ cm}.$$

$$M_{pb,c, Sd} = 147,39 \text{ kN.cm/cm} \leq 204,5 \text{ KN.cm/cm (OK!)}.$$



## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Apostila “Dimensionamento Básico de Elementos Estruturas de Aço”. Versão 3. Professor: Ricardo Hallal Fakury. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia de Estruturas. Março 2009.
- ABNT NBR 8800/2008 – Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e de Concreto de Edifícios.

## **6. CONCLUSÃO**

Neste trabalho foram projetadas ligações típicas de um edifício comercial e mostrado o nível de complexidade do cálculo das mesmas, com inúmeras verificações para cada tipo de ligação sejam soldadas, sejam parafusadas.

Em estruturas de aço o projeto e o dimensionamento das ligações são tão importantes quanto o dimensionamento das peças, uma vez que é de suma importância que os nós reais reflitam o modelo estrutural utilizado na concepção do projeto, sejam como ligações rotuladas ou ligações engastadas.

Os cálculos apresentados representam as verificações necessárias e como as mesmas devem ser executadas para as estruturas usuais e que estão presentes no dia-a-dia dos calculistas das estruturas metálicas.