



Universidade Federal de Minas Gerais  
Escola de Engenharia



**Especialização em Estruturas**

# **TRABALHO FINAL**

**CÁLCULO DE LIGAÇÕES RÍGIDAS E FLEXÍVEIS  
DE PÓRTICO INTERNO DE UM EDIFÍCIO  
COMERCIAL EM ESTRUTURAS DE AÇO**

**Professor: Armando Cesar Campos Lavall  
Aluno: Lauro Cabral Guerra**

## ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>FOLHA</u>
1.	INTRODUÇÃO .....	4
2.	OBJETIVO.....	4
3.	ESTRUTURA EM ANÁLISE .....	5
3.1.	SEÇÕES DOS COMPONENTES ESTRUTURAIS .....	6
3.2.	RESULTADOS NAS REAÇÕES NAS BARRAS .....	7
3.2.1.	REAÇÕES VIGA V1 .....	8
3.2.1.	REAÇÕES VIGA V2 .....	8
4.	VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES.....	9
4.1.	TRELIÇA – LIGAÇÃO NÓ 11.....	9
	➤ <u>DADOS:</u> .....	9
	➤ <u>DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS:</u> .....	10
	➤ <u>CISALHAMENTO PARAFUSO – BARRA 20</u> .....	11
	➤ <u>PRESSÃO DE CONTATO – BARRA 20</u> .....	11
	➤ <u>TRAÇÃO NAS CANTONEIRAS – BARRA 20</u> .....	12
	➤ <u>TRAÇÃO NA CHAPA DE 8MM.</u> .....	12
	➤ <u>COLAPSO POR RASGAMENTO DA CANTONEIRA – BARRA 20</u> .....	13
	➤ <u>COLAPSO POR RASGAMENTO DA CHAPA – BARRA 20</u> .....	13
	➤ <u>BARRAS 11, 12 E 21.</u> .....	14
4.2.	LIGAÇÃO DA VIGA V1 COM PILAR .....	15
	➤ <u>DADOS:</u> .....	15
	➤ <u>DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS.</u> .....	16
	➤ <u>CISALHAMENTO PARAFUSO</u> .....	17
	➤ <u>PRESSÃO DE CONTATO</u> .....	17
	➤ <u>COLAPSO POR RASGAMENTO DA CANTONEIRA.</u> .....	18
	➤ <u>CISALHAMENTO DA CANTONEIRA.</u> .....	18
	➤ <u>VERIFICAÇÃO DA SOLDA.</u> .....	19
4.3.	LIGAÇÃO DA VIGA V2 COM VPI .....	21
	➤ <u>DADOS:</u> .....	21
	➤ <u>DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS.</u> .....	22
	➤ <u>CISALHAMENTO PARAFUSO</u> .....	23
	➤ <u>PRESSÃO DE CONTATO</u> .....	23
	➤ <u>COLAPSO POR RASGAMENTO DA CANTONEIRA.</u> .....	24
	➤ <u>CISALHAMENTO DA CANTONEIRA.</u> .....	24
	➤ <u>VERIFICAÇÃO DA SOLDA.</u> .....	25
	➤ <u>VERIFICAÇÃO DA VIGA SUPOSTADA.</u> .....	27
4.4.	LIGAÇÃO DA VIGA VPI COM PILAR .....	29
	➤ <u>DADOS:</u> .....	29
	➤ <u>DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS.</u> .....	30
	➤ <u>MESAS E ALMA DA VIGA</u> .....	31
4.4.1.	VERIFICAÇÃO DOS PARAFUSOS E CHAPAS DE LIGAÇÃO.....	32

➤	<u>CISLHAMENTO PARAFUSO</u> .....	32
➤	<u>PRESSÃO DE CONTATO</u> .....	32
➤	<u>TRAÇÃO NOS PARAFUSOS</u> .....	33
➤	<u>EFEITO ALAVANCA</u> .....	33
➤	<u>TRAÇÃO E CISLHAMENTO</u> .....	34
<b>4.4.2.</b>	<b>VERIFICAÇÃO PILAR</b> .....	<b>34</b>
➤	<u>CISLHAMENTO NA ALMA DO PILAR</u> .....	34
<b>4.4.3.</b>	<b>VERIFICAÇÃO DA SOLDA</b> .....	<b>35</b>
➤	<u>SOLDA DE FILETE ENTRE A CHAPA DE EXTREMIDADE E A ALMA DA VIGA</u> .....	35
<b>4.4.4.</b>	<b>VERIFICAÇÃO ENRIJECEDORES</b> .....	<b>37</b>
➤	<u>CISLHAMENTO</u> .....	37
➤	<u>SOLDA</u> .....	38
<b>4.5.</b>	<b>BASE DO PILAR</b> .....	<b>40</b>
➤	<u>DISPOSIÇÕES E LIMITAÇÕES CONSTRUTIVAS</u> .....	40
➤	<u>ESFORÇOS SOLICITANTES NA BASE</u> .....	41
<b>4.5.1.</b>	<b>CHUMBADORES</b> .....	<b>42</b>
➤	<u>ESCOAMENTO DA SEÇÃO BRUTA</u> .....	42
➤	<u>RUPTURA DA SEÇÃO ROSQUEADA</u> .....	42
➤	<u>ARRANCAMENTO DO CONCRETO</u> .....	42
➤	<u>RUPTURA DO CONCRETO</u> .....	43
<b>4.5.2.</b>	<b>VERIFICAÇÃO DA PLACA DE BASE</b> .....	<b>44</b>
<b>5.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>45</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>45</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 feito na disciplina Aço I, onde foi calculado o pórtico mostrado na figura 1.1 abaixo e as vigas e pilares mostrados na figura 1.2.

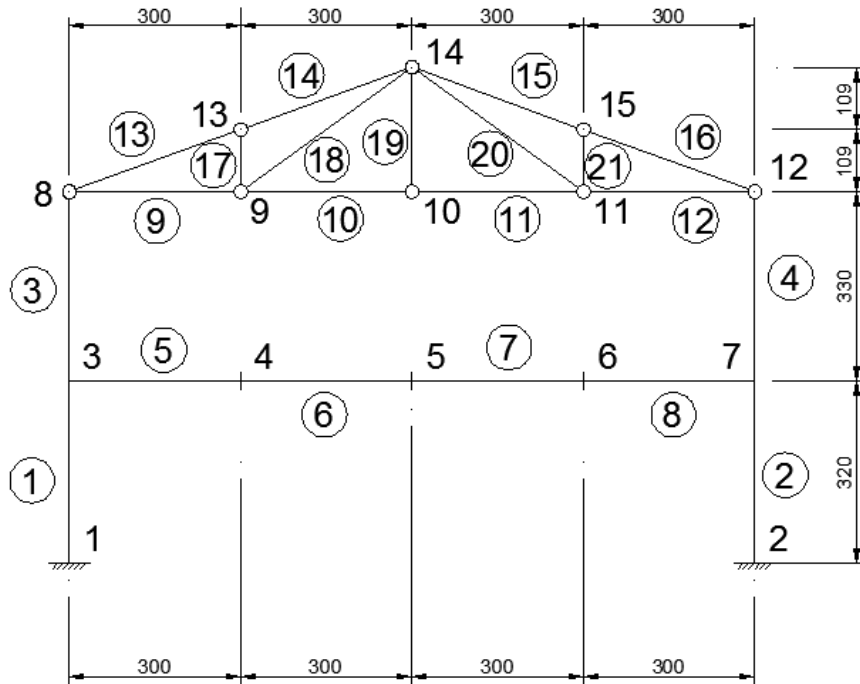


Figura 1.1 – Pórticos Internos – Estrutura de Análise – Dimensões em Centímetro

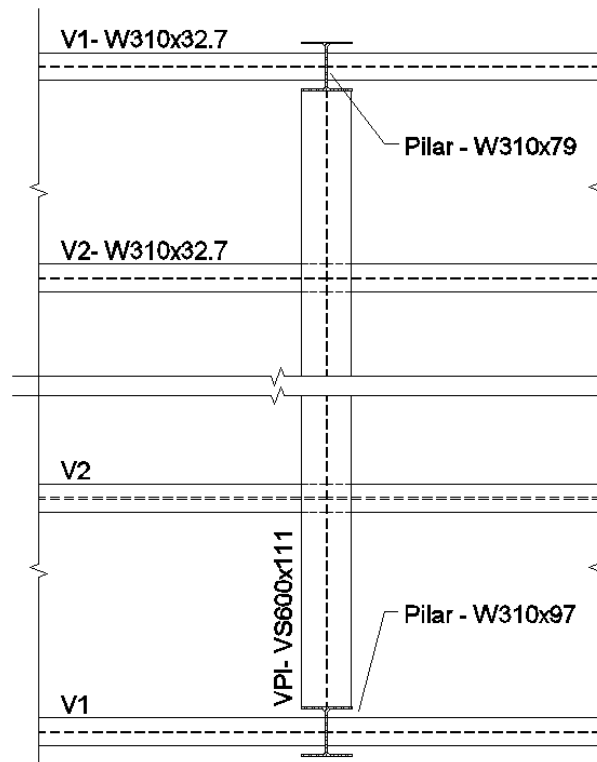


Figura 1.2 – Componentes Estruturais – Planta Típica

O trabalho consiste em projetar os seguintes itens:

- A ligação mais carregada da treliça da cobertura, admitindo a mesma como parafusada (2 parafusos) – adotada a ligação com maior carga de tração;
- As ligações flexíveis das vigas V1 e V2 (rotuladas);
- A ligação rígida do pórtico com a viga transversal;
- A base do pilar, considerando a mesma engastada.

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

Do trabalho anterior, as peças foram dimensionadas com as seguintes seções:

- Pilar: W310x97
- VPI: VS600x111
- V1: W310x32.7
- V2: W310x32.7
- Barras da treliça: 2L63,50x6,35

### 3.2. Resultados nas reações nas Barras

Do trabalho anterior, seguem abaixo as reações das barras (ver tabela 1.1) ao carregamento proposto:

Barra	Nsd (kN)	Vsd (kN)	Msd (kN.m)
1	-471,49	-89,37	209,17
2	-478,34	107,39	218,38
3	-32,63	-46,60	147,49
4	-34,00	51,71	161,48
5	-49,94	287,12	-346,36
6	-49,94	94,26	794,64
7	-49,94	-99,20	796,40
8	-49,94	-292,36	-347,96
9	11,67	0,000	0,000
10	-5,21	0,000	0,000
11	-5,21	0,000	0,000
12	14,15	0,000	0,000
13	-60,61	0,000	0,000
14	-57,87	0,000	0,000
15	-60,20	0,000	0,000
16	-62,32	0,000	0,000
17	-6,39	0,000	0,000
18	20,87	0,000	0,000
19	5,88	0,000	0,000
20	23,92	0,000	0,000
21	-8,18	0,000	0,000

**Tabela 1.1 – Reações das barras**

3.2.1. Reações Viga V1

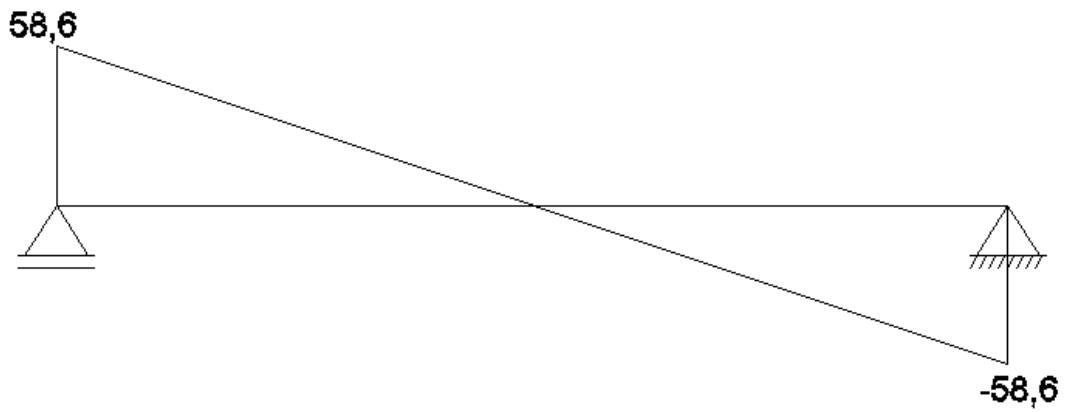


Figura 1.2 – Diagrama de Esforços Cortantes de Cálculo (kN)

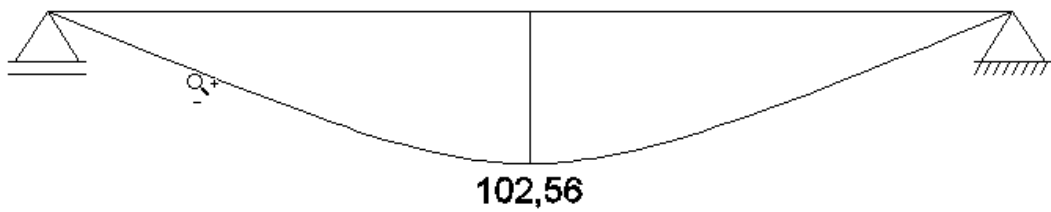


Figura 1.3 – Diagrama de Esforços de Momento de Cálculo (kN.m)

3.2.1. Reações Viga V2

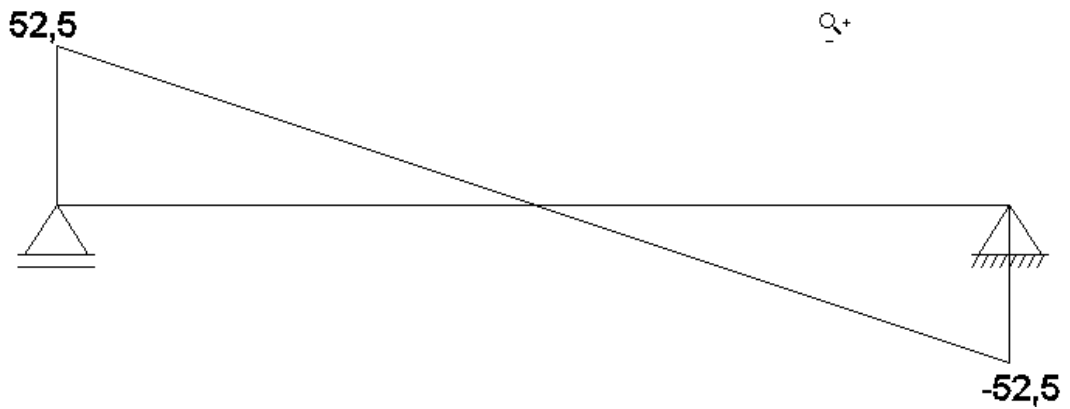


Figura 1.5 – Diagrama de Esforços Cortantes de Cálculo (kN)

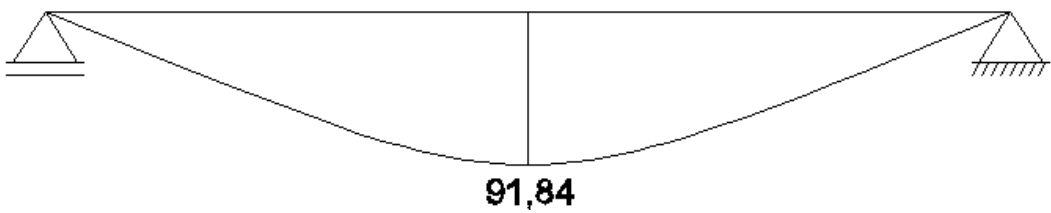


Figura 1.6 – Diagrama de Esforços de Momento de Cálculo (kN.m)



## 4. VERIFICAÇÃO DAS LIGAÇÕES

### 4.1. Treliça – Ligação Nó 11

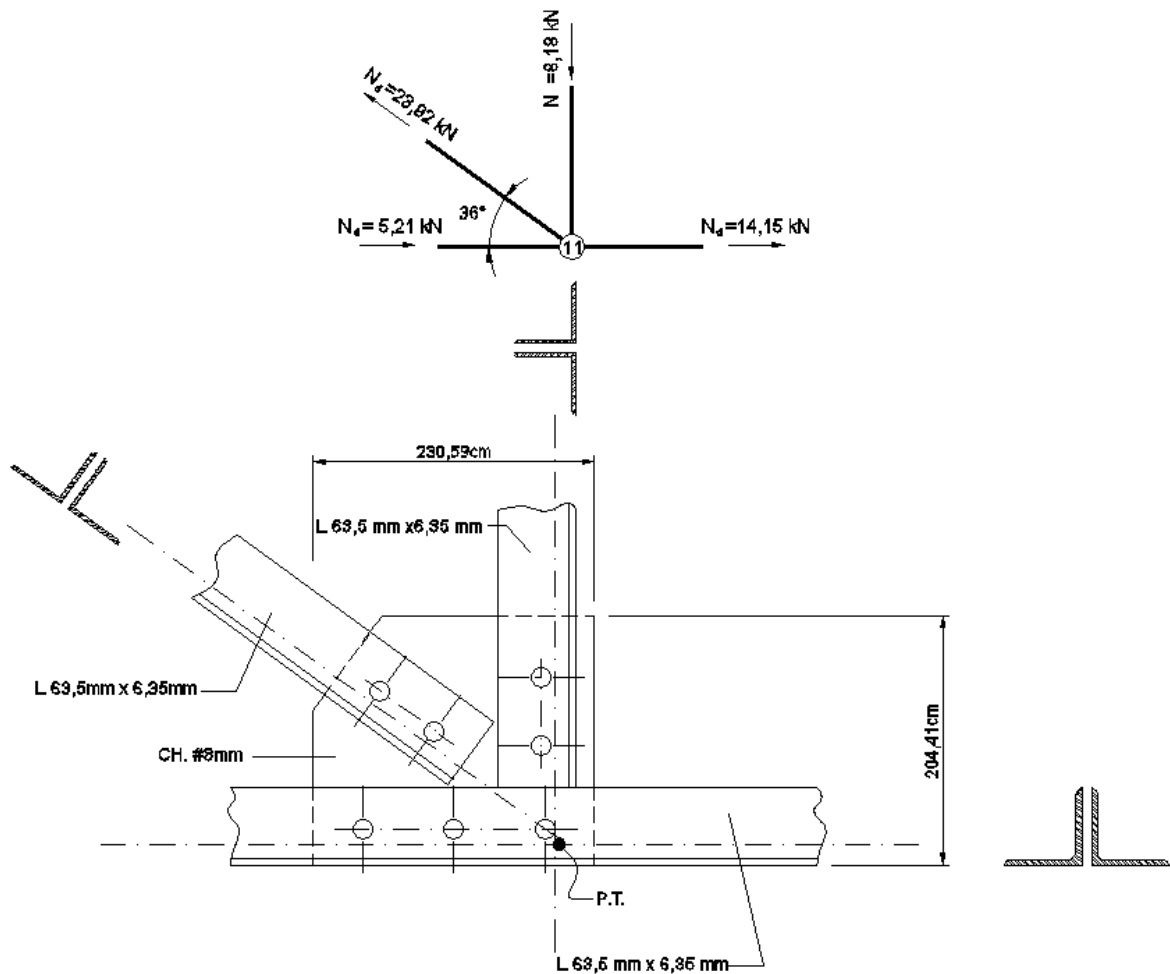


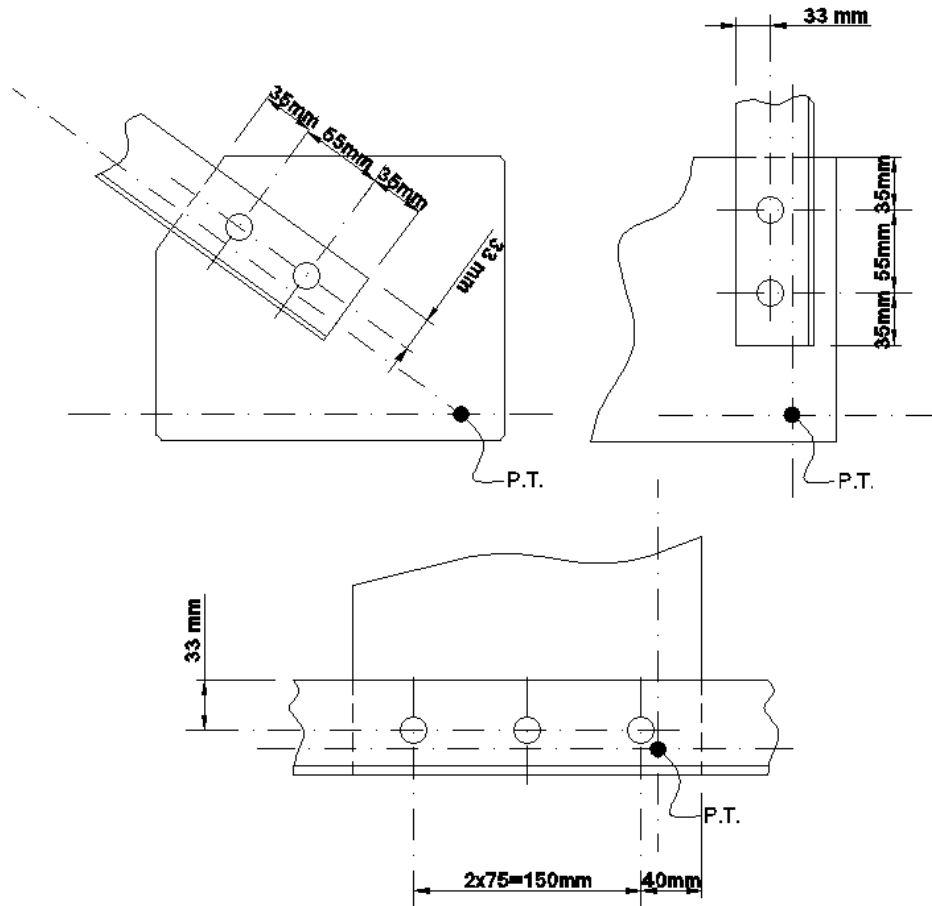
Figura 4.1 – Nó 11 - Ligações

#### ➤ Dados:

- **Barra 11, 12, 20 e 21** - 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;
  - $A_g = 7,67 \text{ cm}^2$  (1 Perfil);
  - $r_x = 1,96 \text{ cm}$ ;
  - $r_y = 1,24 \text{ cm}$ ;
  - $f_u = 400 \text{ MPa}$ .
  - $I_x = 29,00 \text{ cm}^4$  (1 Perfil);
  - $W_x = 6,40 \text{ cm}^3$  (1 Perfil);
  - $f_y = 250 \text{ MPa}$ ;
  - $f_u = 400 \text{ MPa}$ .

- **Parafusos –  $\varnothing$  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:**



**Figura 4.2 – Nó 11 – Disposição Construtivas**

- 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 ( $e_{fb}$ ):

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

- Distância entre furos e aba da Cantoneira:

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

➤ **Cisalhamento Parafuso – Barra 20**

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

$$F_{v, Sd} = F_{Sd} / n_v = 11,96 \text{ kN}$$

$$F_{Sd} = 23,92 \text{ kN}; n_v = 2$$

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

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

$$11,96 \text{ kN} \leq 982,96 \text{ kN (OK!)}$$

➤ **Pressão de Contato – Barra 20**

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

$$F_{c, Sd} = F_{Sd} / n_v = 5,98 \text{ kN}$$

$$F_{Sd} = 23,92 \text{ kN}; n_v = 4 \text{ (2 parafusos e duas cantoneiras)}$$

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

$$\leq (2,4 d_b t f_u) / \gamma_{a2} = 72,25 \text{ kN}$$

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

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

$$F_{c, Rd} = 59,27 \text{ kN} \Rightarrow 5,98 \text{ kN} \leq 59,27 \text{ kN (OK!)}$$

$$- \text{Chapa} \Rightarrow F_{c, Sd} \leq F_{c, Rd}$$

$$F_{v, Sd} = F_{Sd} / n_v = 11,96 \text{ kN}$$

$$F_{Sd} = 23,92 \text{ kN}; n_v = 2$$

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

$$\leq (2,4 d_b t f_u) / \gamma_{a2} = 91,02 \text{ kN}$$

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

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

$$F_{c, Rd} = 74,67 \text{ kN} \Rightarrow 11,96 \text{ kN} \leq 74,67 \text{ kN (OK!)}$$

➤ **Tração nas Cantoneiras – Barra 20**

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

$$N_{t, Sd} = 23,92 \text{ kN}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

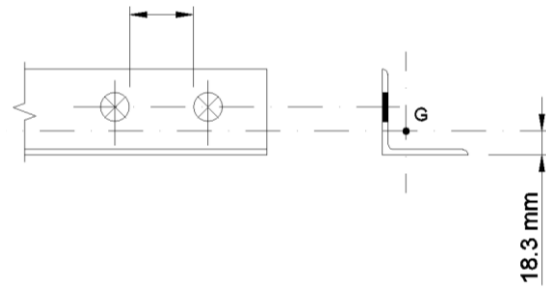
$$A_g = 15,34 \text{ cm}^2; f_y = 25 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10$$

$$< (A_e f_u) / \gamma_{a2} = 216,30 \text{ kN}$$

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

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

$$23,92 \text{ kN} \leq 216,30 \text{ kN} \text{ (OK!)}$$



➤ **Tração na Chapa de 8mm**

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

$$N_{t, Sd} = 23,92 \text{ kN (Tração devido a Barra 20 – Mais tracionada)}$$

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

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

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

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

$$A_g = 5,8 \text{ cm}^2; f_y = 25 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10$$

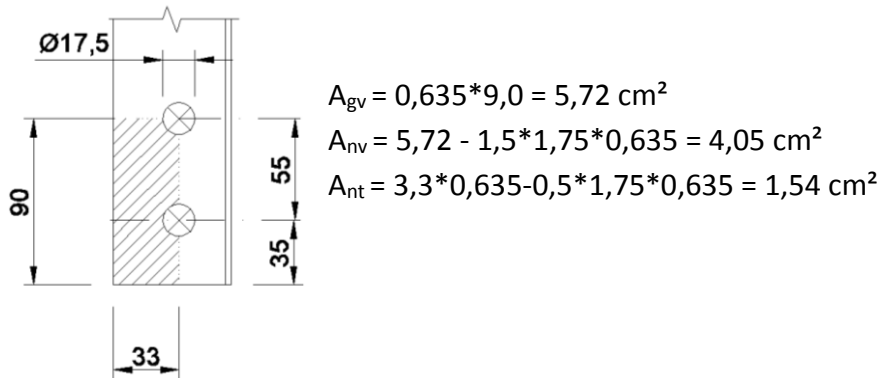
$$< (A_e f_u) / \gamma_{a2} = 88,89 \text{ kN}$$

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

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

$$23,92 \text{ kN} \leq 88,89 \text{ kN (OK!)}$$

➤ **Colapso por rasgamento da Cantoneira – Barra 20**



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

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

$$F_{r,Sd} = 23,92 / 2 \quad F_{r,Sd} = 11,96 \text{ kN}$$

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

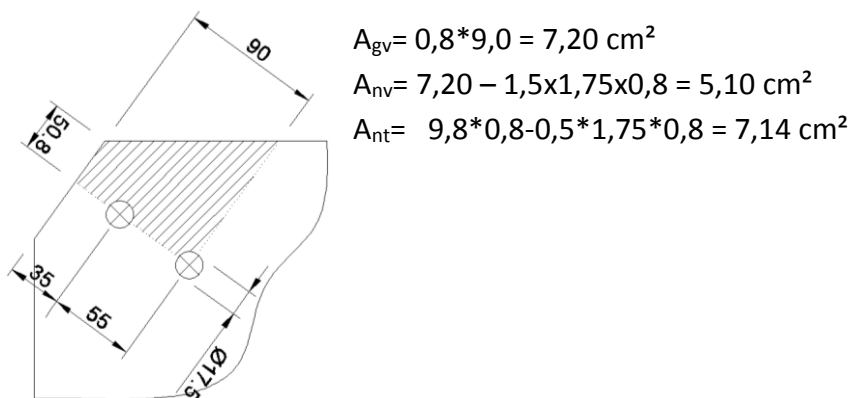
$$A_{nv} = 4,05 \text{ cm}^2; C_{ts} = 1; A_{nt} = 1,54 \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35$$

$$< (0,6 A_{gv} f_y + C_{ts} A_{nt} f_u) / \gamma_{a2} = 109,19 \text{ kN}$$

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

$$F_{r,Rd} = 109,19 \text{ kN} \Rightarrow 11,96 \text{ kN} \leq 44,70 \text{ kN (OK!)}$$

➤ **Colapso por rasgamento da Chapa – Barra 20**



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

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

$$F_{r,Sd} = 23,92$$

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

$$A_{nv} = 5,10 \text{ cm}^2; C_{ts} = 1; A_{nt} = 7,14 \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35$$

$$< (0,6 A_{gv} f_y + C_{ts} A_{nt} f_u) / \gamma_{a2} = 291,56 \text{ kN}$$

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

$$F_{r,Rd} = 291,56 \text{ kN} \Rightarrow 23,92 \text{ kN} \leq 290,96 \text{ kN (OK!)}$$

➤ **Barras 11, 12 e 21**

As barras 11, 12 e 21 têm esforços menores que a barra 20, 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 20 passou nas verificações, não é necessário verificar as barras 11, 12 e 21.

## 4.2. Ligação da Viga V1 com Pilar

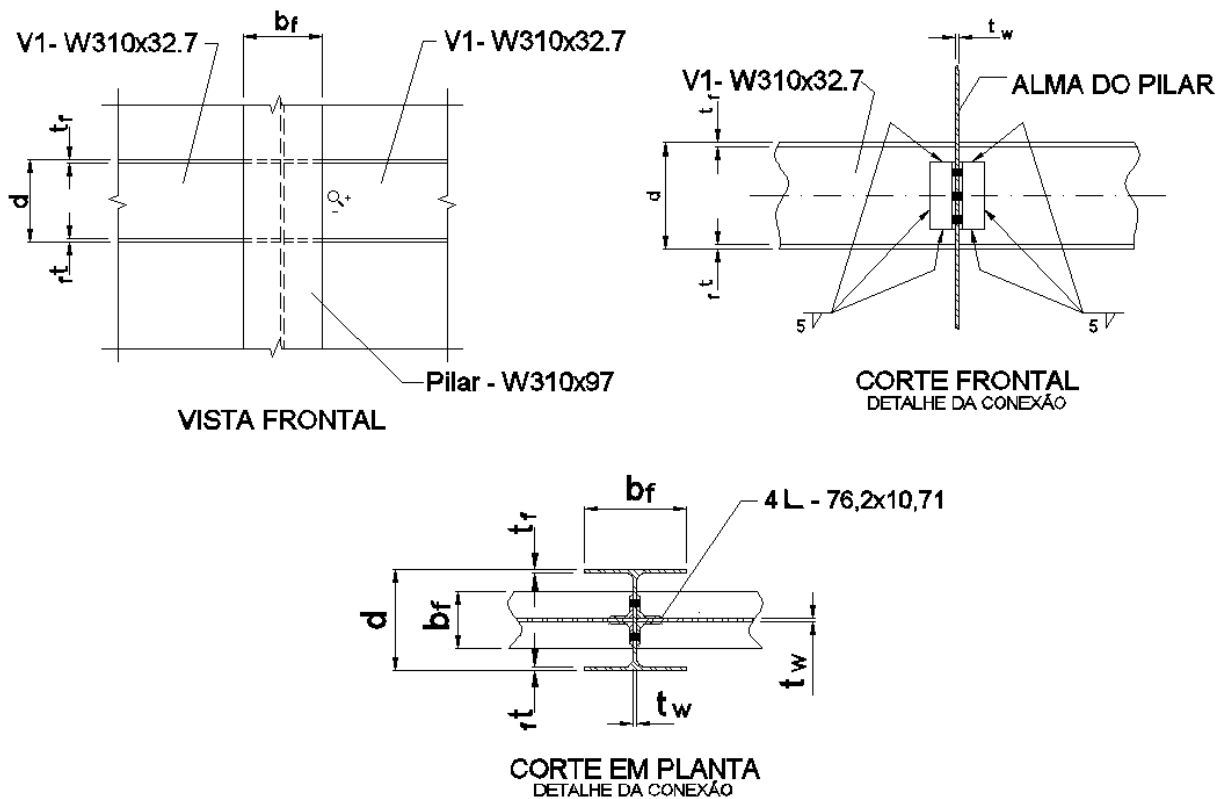


Figura 4.5 – Detalhes Construtivos

➤ **Dados:**

- **V1** - Perfil **W** 310 mm x 32.7 kgf/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;

- **Pilar** - Perfil **W** 310 mm x 97 kgf;

- $d = 308$  mm;
- $b_f = 305$  mm;
- $t_w = 9,9$  mm;
- $t_f = 15,4$  mm;

- $A_g = 123,6$  cm<sup>2</sup>;
- $I_x = 22.284$  cm<sup>4</sup>;
- $f_y = 345$  MPa;
- $f_u = 450$  MPa;

- **Perfil de Ligação** - Perfil L 76,2 mm x 10,71 kgf;

- $b = 76,2$  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** –  $\varnothing$  22 mm x 40 mm (ASTM A325);

- $\varnothing = 22$  mm;
- $A_g = 3,80$  cm<sup>2</sup>;
- $f_y = 635$  MPa;
- $f_u = 825$  MPa;

➤ **Disposições construtivas**

- Furo Padrão:

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

- Distância entre furos ( $e_{ff}$ ):

$$e_{ff} \geq 3,0 d_b \quad \therefore e_{ff} \geq 3,0 * 22 \text{ mm} \Rightarrow e_{ff} \geq 66 \text{ mm}$$

Adotado:  $e_{ff} = 70$  mm

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

$$e_{fb} \geq 1,25 d_b \quad \therefore e_{fb} \geq 1,25 * 22 \text{ mm} \Rightarrow e_{fb} \geq 27,5 \text{ mm}$$

Adotado:  $e_{fb} = 30$  mm

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

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

Adotado:  $l_f = 46,5$  mm

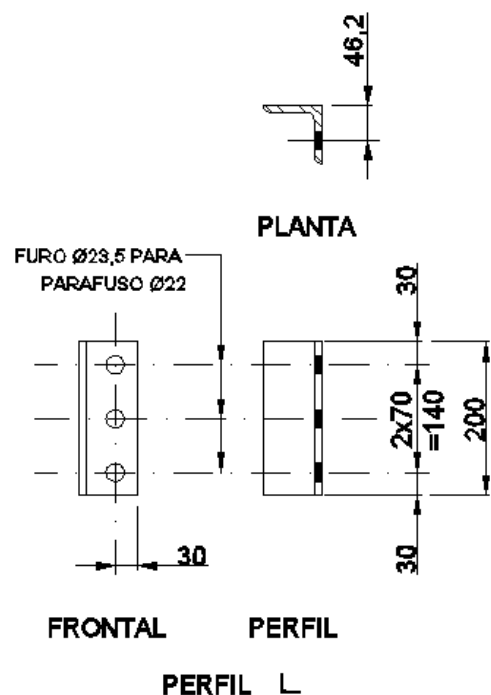
- Dimensões Mínimas das Soldas de Filete:

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

Adotado:  $d_w = 5$  mm

- Dimensão Máxima:

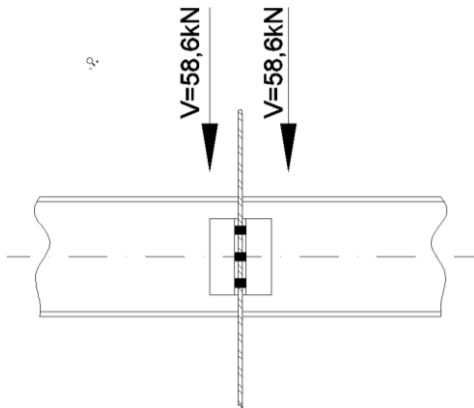
$$t_w (\text{Viga}) = 6,6 \text{ mm} \Leftrightarrow d_w = t_w - 1,5 \text{ mm} \Rightarrow d_w = 5 \text{ mm} \leq 5,1 \text{ mm}; (\text{OK!})$$



**Figura 4.6 – L76,2x10,71  
Dimensões em Milímetro**



➤ **Cisalhamento Parafuso**



$$F_{V, Sd} = 185,78 \text{ kN}$$

$$19,53 \text{ kN} \leq 185,78 \text{ kN (OK!)}$$

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

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

$$F_{Sd} = 117,2 \text{ kN (Esforço de duas vigas V1);}$$

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

$$F_{V, Sd} = 19,53 \text{ kN}$$

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

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

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

➤ **Pressão de Contato**

$$- \text{Cantoneira} \Rightarrow F_{C, Sd} \leq F_{C, Rd}$$

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

$$F_{Sd} = 117,6 \text{ kN};$$

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

$$F_{C, Sd} = 19,53 \text{ kN}$$

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

$$l_s = 18,25 \text{ mm}; t = 9,5 \text{ mm}; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35$$

$$< (2,4 d_b t f_u) / \gamma_{a2} = 148,60 \text{ kN}$$

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

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

$$19,53 \text{ kN} \leq 61,60 \text{ kN (OK!)}$$

$$- \text{Alma do Pilar} \Rightarrow F_{C, Sd} \leq F_{C, Rd}$$

$$F_{C, Sd} = F_{Sd} / n_v = 19,53 \text{ kN}$$

$$F_{Sd} = 117,2 \text{ kN}; n_v = 6 \text{ (Número de parafusos)}$$

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

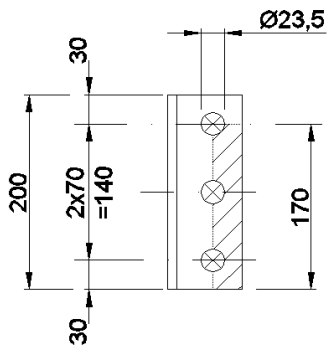
$$l_s = 18,25 \text{ mm}; t = 11 \text{ mm}; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35$$

$$< (2,4 d_b t f_u) / \gamma_{a2} = 172,09 \text{ kN}$$

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

$$\rightarrow F_{c, Rd} = 71,38 \text{ kN} \quad \Leftrightarrow \quad 19,53 \text{ kN} \leq 71,38 \text{ kN (OK!)}$$

➤ **Colapso por rasgamento da Cantoneira**



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

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

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

Figura 4.7 – L76,2x10,71- Área de Rasgamento

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

$$F_{Sd} = 58,6 / 2 = 29,3 \text{ kN}$$

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

$$A_{nv} = 10,57 \text{ cm}^2; C_{ts} = 1; A_{nt} = 1,734 \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35$$

$$< (0,6 A_{gv} f_y + C_{ts} A_{nt} f_u) / \gamma_{a2} = 211,56 \text{ kN}$$

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

$$< 211,56 \text{ kN}$$

$$\rightarrow F_{Rd} = 211,56 \text{ kN} \quad \Leftrightarrow \quad 29,3 \text{ kN} \leq 239,29 \text{ kN (OK!)}$$

➤ **Cisalhamento da Cantoneira**

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

$$F_{Sd} = 58,6 / 2 \quad F_{Sd} = 29,3 \text{ kN}$$

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

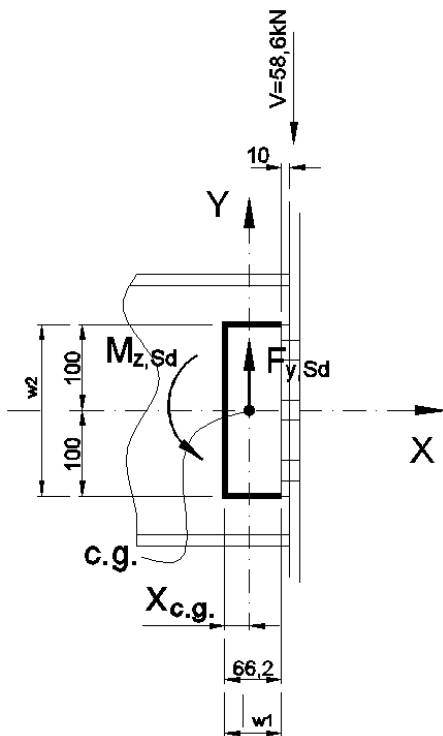
$$A_{gv} = 16,15 \text{ cm}^2; f_y = 25 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10$$

$$< (0,6 A_{nv} f_u) / \gamma_{a2} = 218,67 \text{ kN}$$

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

$$\rightarrow F_{Rd} = 218,67 \text{ kN} \quad \Leftrightarrow \quad 29,3 \text{ kN} \leq 218,67 \text{ kN (OK!)}$$

➤ Verificação da Solda



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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$F_{y,Sd} = 58,6 / 2 = 29,3 \text{ kN}$$

$$M_{z,Sd} = 29,3 \text{ kN} * (7,62 \text{ cm} - 2,88 \text{ cm}) \Rightarrow M_{z,Sd} = 138,88 \text{ kN.cm}$$

- Esforços solicitantes na solda:

$$\tau_{w,x,Sd} = (F_{x,Sd} / A_w) + (M_{z,Sd} / I_z) y = 1,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{x,Sd} = 0; A_w = 11,77 \text{ cm}^2; M_{z,Sd} = 138,88 \text{ kN.cm}; I_z = I_x + I_y = 781,53 \text{ cm}^4; y = 10 \text{ cm}$$

$$\tau_{w,y,Sd} = (F_{y,Sd} / A_w) + (M_{z,Sd} / I_z) x = 3,15 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{y,Sd} = 29,3 \text{ kN}; A_w = 11,77 \text{ cm}^2; M_{z,Sd} = 138,88 \text{ kN.cm}; I_z = I_x + I_y = 781,53 \text{ cm}^4; x = 3,74 \text{ cm}$$

$$\tau_{w,Sd} = (\tau_{w,x,Sd}^2 + \tau_{w,y,Sd}^2)^{1/2} = 3,62 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{w,x,Sd} = 1,78 \text{ kN/cm}^2; \tau_{w,y,Sd} = 3,15 \text{ kN/cm}^2$$

- Tensões Metal da Base

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

$$\tau_{MB,Sd} = 0,707 \tau_{w,Sd} = 2,56 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{w,Sd} = 3,62 \text{ kN/cm}^2$$

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

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

$$2,56 \text{ kN} \leq 13,64 \text{ kN (OK!)}$$

- Tensões Metal da Base

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

$$\tau_{w,Sd} = 3,62 \text{ kN/cm}^2$$

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

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

$$3,62 \text{ kN} \leq 21,55 \text{ kN (OK!)}$$

- Ruptura na região da Solda

$$f_{w,res.,Sd} = (\sigma_{w,Sd}^2 + \tau_{w,Sd}^2)^{1/2} = 3,62 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Sd} = 0; \tau_{w,Sd} = 3,62 \text{ kN/cm}^2$$

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

$$n = 2; a_w = 3,54 \text{ mm}; f_{w,res.,Sd} = 3,62 \text{ kN/cm}^2; m = 1; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$$

$$0,66 \geq 0,14 \text{ (OK!)}$$

### 4.3. Ligação da Viga V2 com VPI

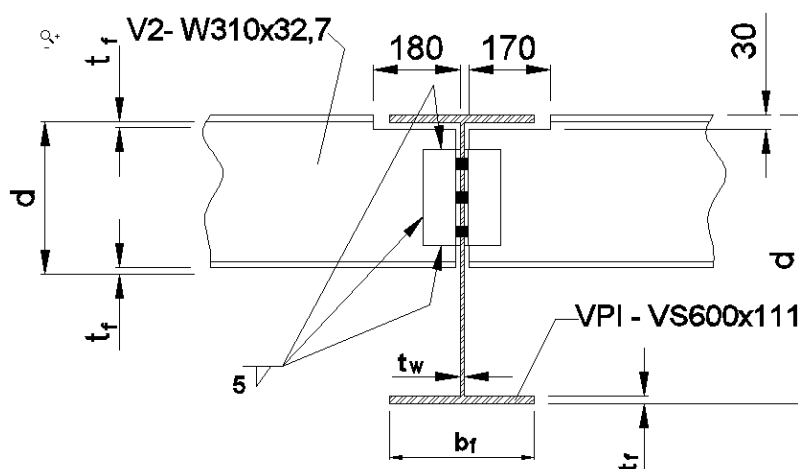


Figura 4.9 – Detalhes Construtivos

➤ **Dados:**

- **V2** - Perfil **W** 310 mm x 32,7 kgf/m;

- d = 313 mm;	- $A_g = 42,1 \text{ cm}^2$ ;
- $b_f = 102 \text{ mm}$ ;	- $I_x = 6.570 \text{ cm}^4$ ;
- $t_w = 6,6 \text{ mm}$ ;	- $f_y = 345 \text{ MPa}$ ;
- $t_f = 10,8 \text{ mm}$ ;	- $f_u = 450 \text{ MPa}$ ;

- **VPI** - Perfil **VS** 600 mm x 111 kgf;

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

- **Perfil de Ligação** - Perfil **L** 76,2 mm x 10,71 kgf;

- $b = 76,2 \text{ mm}$ ;	- $I_x = 7 \text{ cm}^4$ ;
- $t = 9,52 \text{ mm}$ ;	- $f_y = 250 \text{ MPa}$ ;
- $A_g = 13,61 \text{ cm}^2$ ;	- $f_u = 400 \text{ MPa}$ ;

- **Parafusos** –  $\varnothing 22 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$  (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:

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

- Distância entre furos ( $e_{ff}$ ):

$$e_{ff} \geq 3,0 d_b \quad \therefore \quad e_{ff} \geq 3,0 * 22 \text{ mm} \Rightarrow e_{ff} \geq 66 \text{ mm}$$

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

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

$$e_{fb} \geq 1,25 d_b \quad \therefore \quad e_{fb} \geq 1,25 * 22 \text{ mm} \Rightarrow e_{fb} \geq 27,5 \text{ mm}$$

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

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

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

Adotado:  $l_{fb} = 46,5 \text{ mm}$

- Comprimento do Recorte da Viga V2:

$$180 \text{ mm} \leq 2d_{v2} \quad \therefore \quad 180 \text{ mm} \leq 2 * 310 \text{ mm} \Rightarrow 180 \text{ mm} \leq 620 \text{ mm} \text{ (OK!)}$$

- Altura do Recorte da Viga V2:

$$30 \text{ mm} \leq 0,2d_{v2} \quad \therefore \quad 30 \text{ mm} \leq 0,2 * 310 \text{ mm} \Rightarrow 30 \text{ mm} \leq 62 \text{ mm} \text{ (OK!)}$$

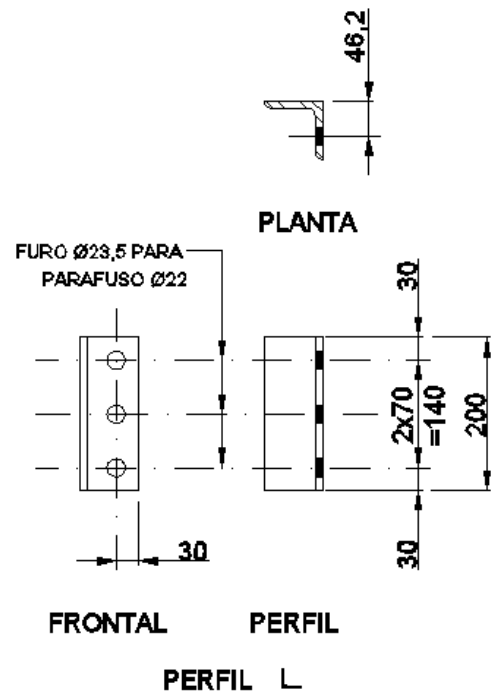
- Dimensões Mínimas das Soldas de Filete:

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

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

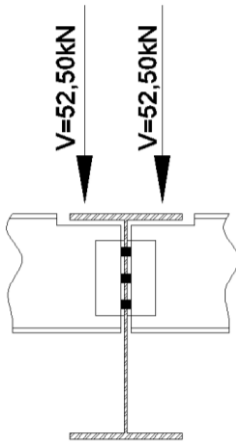
- Dimensão Máxima:

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



**Figura 4.10 – L76,2x10,71  
Dimensões em Milímetro**

➤ **Cisalhamento Parafuso**



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

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

$$F_{Sd} = 105,0 \text{ kN (Esforço de duas vigas V1);}$$

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

$$F_{v, Sd} = 17,50 \text{ kN}$$

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

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

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

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

$$17,50 \leq 185,78 \text{ kN (OK!)}$$

➤ **Pressão de Contato**

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

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

$$F_{Sd} = 105,0 \text{ kN};$$

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

$$F_{c, Sd} = 17,50 \text{ kN}$$

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

$$l_s = 18,25 \text{ mm}; t = 9,5 \text{ mm}; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35$$

$$< (2,4 d_b t f_u) / \gamma_{a2} = 148,60 \text{ kN}$$

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

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

$$17,50 \text{ kN} \leq 61,60 \text{ kN (OK!)}$$

$$- \text{Alma da Viga V2} \Rightarrow F_{c, Sd} \leq F_{c, Rd}$$

$$F_{c, Sd} = F_{Sd} / n_v = 17,50 \text{ kN}$$

$$F_{Sd} = 105 \text{ kN}; n_v = 6 \text{ (Número de parafusos)}$$

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

$$l_s = 18,25 \text{ mm}; t = 8 \text{ mm}; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35$$

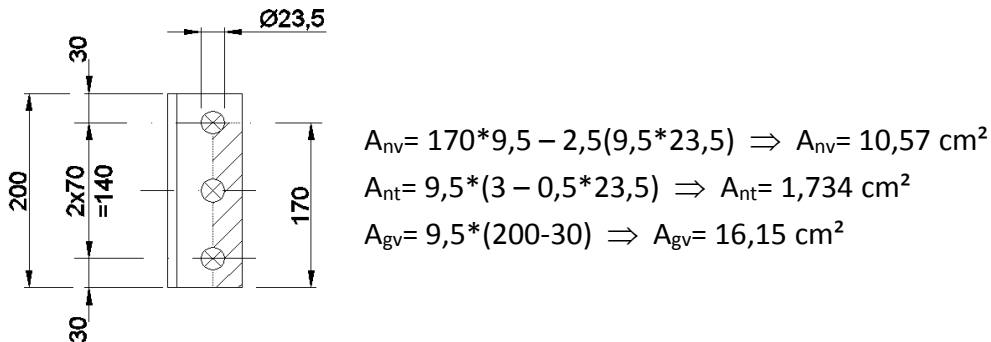
$$< (2,4 d_b t f_u) / \gamma_{a2} = 125,16 \text{ kN}$$

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

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

$$17,50 \text{ kN} \leq 51,91 \text{ kN (OK!)}$$

➤ **Colapso por rasgamento da Cantoneira**



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

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

$$F_{Sd} = 52,5 / 2 \quad F_{Sd} = 26,25 \text{ kN}$$

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

$$A_{nv} = 10,57 \text{ cm}^2; C_{ts} = 1; A_{nt} = 1,734 \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35$$

$$< (0,6 A_{gv} f_y + C_{ts} A_{nt} f_u) / \gamma_{a2} = 211,56 \text{ kN}$$

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

$$\rightarrow F_{Rd} = 211,56 \text{ kN} \quad \Leftrightarrow \quad 58,25 \text{ kN} \leq 211,56 \text{ kN (OK!)}$$

➤ **Cisalhamento da Cantoneira**

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

$$F_{Sd} = 105,0 / 2 = 52,5 \text{ kN}$$

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

$$A_{gv} = 16,15 \text{ cm}^2; f_y = 25 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a1} = 1,10$$

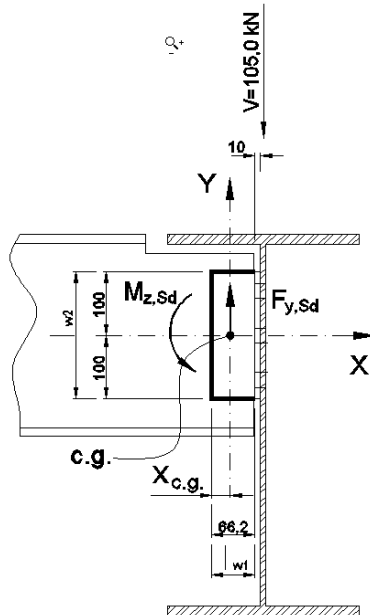


$$< (0,6 A_{nv} f_u) / \gamma_{a2} = 218,67 \text{ kN}$$

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

$$F_{Rd} = 218,67 \text{ kN} \quad \Leftrightarrow \quad 105,0 \text{ kN} \leq 218,67 \text{ kN} \text{ (OK!)}$$

➤ **Verificação da Solda**



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

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

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

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

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

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

**Figura 4.12 – Solda**

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

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

$$F_{y,Sd} = 52,5 / 2 = 26,25 \text{ kN}$$

$$M_{z,Sd} = 26,25 \text{ kN} * (7,62 \text{ cm} - 2,88 \text{ cm}) = 124,43 \text{ kN.cm}$$

- Tensões de Cisalhamento

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

$$F_{x,Sd} = 0; A_w = 11,77 \text{ cm}^2; M_{z,Sd} = 124,43 \text{ kN.cm}; I_z = I_x + I_y = 781,53 \text{ cm}^4; y = 10 \text{ cm}$$

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

$$F_{y,Sd} = 26,25 \text{ kN}; A_w = 11,77 \text{ cm}^2; M_{z,Sd} = 124,43 \text{ kN.cm}; I_z = I_x + I_y = 781,53 \text{ cm}^4; x = 3,74 \text{ cm}$$

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

- 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

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

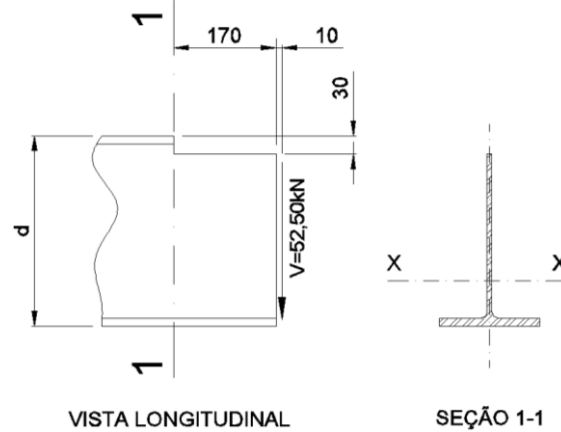
$$\sigma_{w,Sd} = 0; \tau_{w,Sd} = 3,24 \text{ kN/cm}^2$$

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

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

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

➤ **Verificação da Viga Suportada**



**Figura 4.13 – Recorte**

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

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

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

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

- Flexão:

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

$$M_{Sd} = 18 \text{ cm} * 52,5 \text{ kN} = 945 \text{ kN.cm}$$

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

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

$$\lambda_p = 1,76 * (E / f_y)^{1/2} = 42,38$$

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

$\lambda_b \leq \lambda_p \Rightarrow$  Não ocorre Flambagem local.

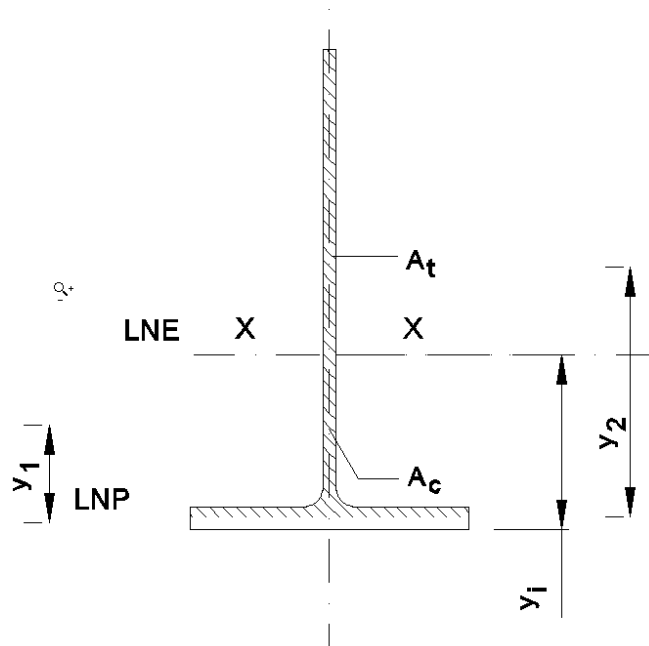


Figura 4.14 – Perfil 1-1 – Secção Típica

$$A_c = A_t$$

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

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

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

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

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

$$945 \text{ kN.cm} \leq 8.466 \text{ kN.cm} \text{ (OK!)}$$

- Flexão e Cisalhamento Combinados:

$$\sigma_x = M_{Sd} / Z_x = 3,85 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{Sd} = 945 \text{ kN.cm} ; Z_x = 245,38 \text{ cm}^3$$

$$\tau = F_{Sd} / (A_c + A_t) = 1,24 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{Sd} = 52,5 \text{ kN} ; A_c = 21,19 \text{ cm}^2 ; A_t = 21,19 \text{ cm}^2$$

$$(\sigma_x^2 + 3\tau^2)^{1/2} \leq f_y / \gamma_{a1} = 4,41 \text{ kN/cm}^2 \leq 31,36 \text{ kN/cm}^2 \text{ (OK!)}$$

$$\sigma_x = 3,85 \text{ kN/cm}^2 ; \tau = 1,24 \text{ kN/cm}^2 ; f_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2 ; \gamma_{a1} = 1,10$$

#### 4.4. Ligação da Viga VPI com Pilar

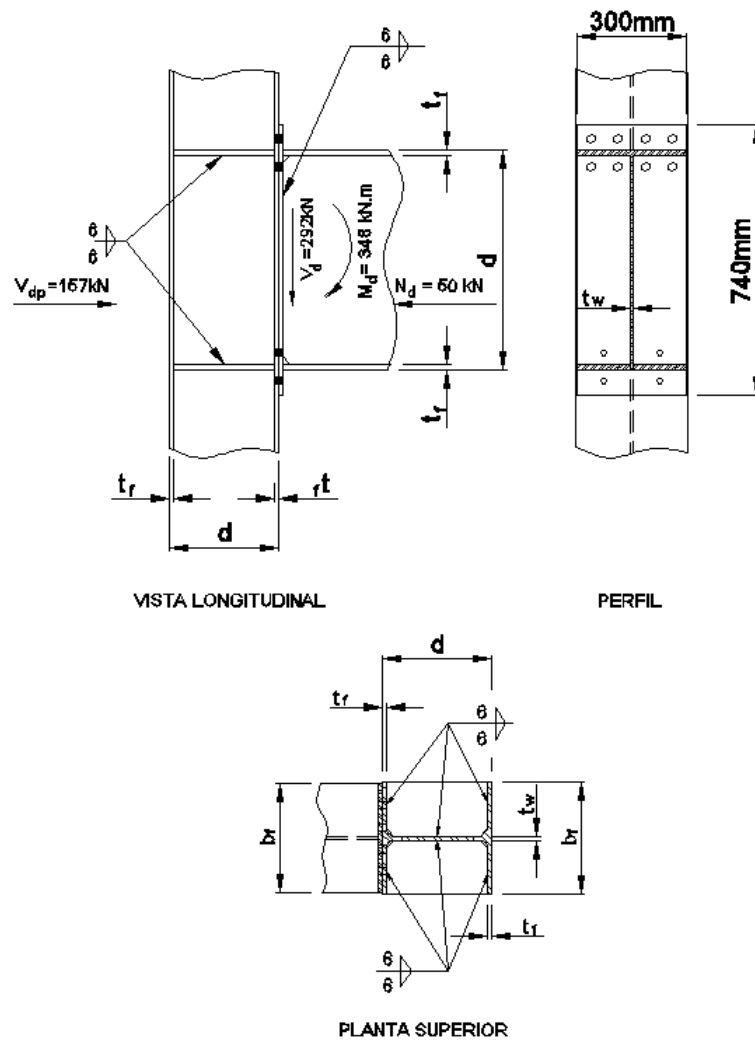


Figura 4.15 – Pilar e VPI

➤ **Dados:**

- **VPI** - Perfil **VS** 600 mm x 111 kgf;

- $d = 600$  mm;
- $b_f = 300$  mm;
- $t_w = 8$  mm;
- $t_r = 16$  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;

- **Pilar** - Perfil **W** 310 mm x 97 kgf;

- $d = 308$  mm;
- $b_f = 305$  mm;
- $t_w = 9,9$  mm;
- $t_r = 15,4$  mm;

- $A_g = 123,6$  cm<sup>2</sup>;
- $I_x = 22.284$  cm<sup>4</sup>;
- $f_y = 345$  MPa;
- $f_u = 450$  MPa;

- **Chapa de Extremidade** - CH 11 mm x 300 mm x 740 mm;
  - t = 11 mm; -  $f_y = 250$  MPa;
  - A = 2.220 cm<sup>2</sup>; -  $f_u = 400$  MPa;
- **Chapas Enrijecedoras** - CH 16 mm x 147,5 mm x 277 mm;
  - t = 16 mm; -  $f_y = 250$  MPa;
  - A = 404,57 cm<sup>2</sup>; -  $f_u = 400$  MPa;
- **Parafusos** – Ø 22 mm x 30 mm (ASTM A325);
  - Ø = 22 mm; -  $f_y = 635$  MPa;
  - A<sub>g</sub> = 3,80 cm<sup>2</sup>; -  $f_u = 825$  MPa;

➤ **Disposições construtivas**

- Furo Padrão:

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

- Distância entre furos ( $e_{ff}$ ):

$$e_{ff} \geq 3,0 d_b \quad \therefore e_{ff} \geq 3,0 * 22 \text{ mm} \Rightarrow e_{ff} \geq 66 \text{ mm}$$

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

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

$$e_{fb} \geq 1,25 d_b \quad \therefore e_{fb} \geq 1,25 * 22 \text{ mm} \Rightarrow e_{fb} \geq 27,5 \text{ mm}$$

$$e_{fb} \leq 12 t_{w(\text{Pilar})} \quad \therefore e_{fb} \leq 12 * 11 \text{ mm} \Rightarrow e_{fb} \leq 132 \text{ mm}$$

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

- Distância entre furos e Alma do Pilar:

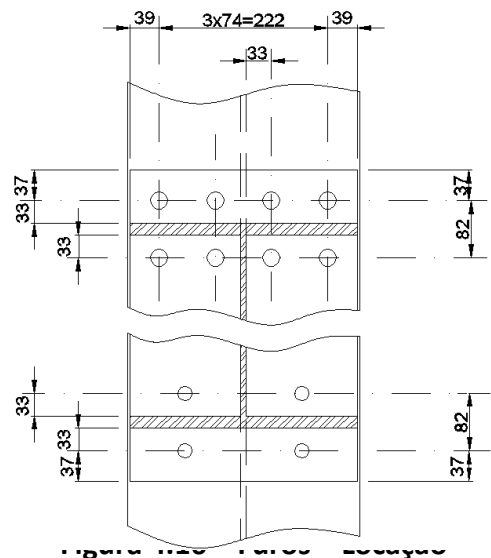
$$d_{fa} \geq 1,5 d_b \quad \therefore d_{fa} \geq 1,5 * 22 \text{ mm} \Rightarrow d_{fa} \geq 33 \text{ mm}$$

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

- Distância entre furos e Mesa da Viga:

$$d_{fa} \geq 1,5 d_b \quad \therefore d_{fa} \geq 1,5 * 22 \text{ mm} \Rightarrow d_{fa} \geq 33 \text{ mm}$$

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



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

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

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

$$d_w \geq 5 t_{w(\text{Viga})}/8 \therefore d_w \leq 5 * 8 \text{ mm} / 8 \Rightarrow d_w \leq 5 \text{ mm}$$

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**

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

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

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

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

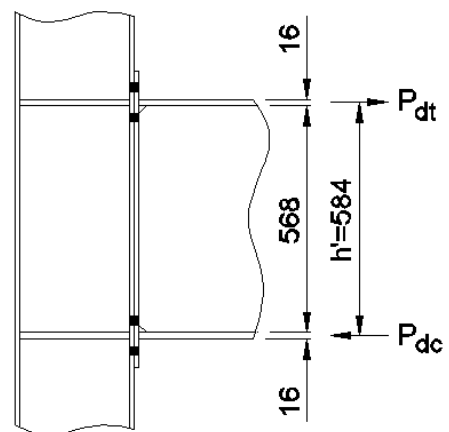
$$f_y = 30 \text{ kN/cm}^2$$

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

Mesas:

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

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



VISTA LONGITUDINAL

Figura 4.17 – Esforços Axiais

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\text{Alma: } V_{sd} \leq V_{Rd}$$

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

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

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

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

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

##### ➤ Cisalhamento Parafuso

- Considerando apenas os parafusos comprimidos

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

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

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

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

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

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

##### ➤ Pressão de Contato

- Chapa de Extremidade  $\Rightarrow F_{c, Sd} \leq F_{c, Rd}$

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

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

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

$$l_f = 25,25 \text{ mm}; t = 11 \text{ mm}; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_{a2} = 1,35$$

$$< (2,4 d_b t f_u) / \gamma_{a2} = 172,09 \text{ kN}$$

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

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

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



➤ **Tração nos Parafusos**

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

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

$$F_{Sd} = 570,90 \text{ kN}; n_v = 8 \text{ (Número de parafusos Tracionados)}$$

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

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

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

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

➤ **Efeito Alavanca**

A verificação da chapa de 11 mm é a pior condição 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:

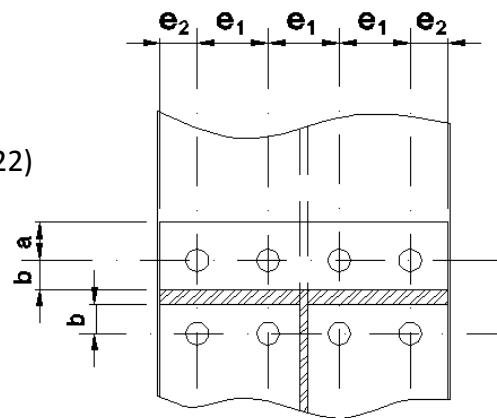
$$P = < (39) e (33 + 0,5 * 22) + < (74/2) e (33 + 0,5 * 22)$$

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

- Parafuso Interno:

$$P = < (74/2) e (33 + 0,5 * 22) \times 2$$

$$P = 2 * 37 = 74 \text{ mm}$$



**Figura 4.18 – Efeito Alavanca -**

-  $M_{Sd} < M_{Rd}$

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

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

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

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

$$214,10 \text{ kN.cm} > 50,88 \text{ kN.cm (não OK!)}$$

Para que o efeito alavanca passasse na verificação, poderiam ser feitas as seguintes sugestões:

- aumentar a espessura da chapa (chapa de 25 mm passaria à verificação);
- aumentar a espessura da chapa combinada com aumento da qualidade do aço (chapa de 19 mm com aço com  $f_y = 34,5 \text{ kN/cm}^2$  passaria à verificação);

- aumentar o número de parafusos na ligação

No presente trabalho, não serão refeitos os cálculos, ficando a indicação das possíveis soluções.

#### ➤ Tração e Cisalhamento

Para o Cisalhamento dos parafusos, utilizou-se apenas dos parafusos comprimidos, que era suficiente para suportar o esforço de cortante.

Para o efeito combinado, será necessário contar com os parafusos tracionados, portanto:

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

$$V_d = 292 \text{ kN}; n_v = 12 \text{ (Número total de parafusos)}$$

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

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

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

$$0,44 \leq 1,0 \text{ (OK!)}$$

#### 4.4.2. Verificação Pilar

##### ➤ Cisalhamento na Alma do Pilar

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

$$\lambda = h/t_w \Rightarrow \lambda = 277 / 9,9 \quad \therefore \lambda = 28$$

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

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

$$\lambda < \lambda_p \Rightarrow V_{Rd} = 0,6 A_w f_y / \gamma_{a1}$$

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

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

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

Para que o cisalhamento na alma do pilar passasse na verificação, deverão ser utilizados enrijecedores na alma do pilar, aumentando, desta maneira, a resistência da peça ao cisalhamento.

#### 4.4.3. Verificação da Solda

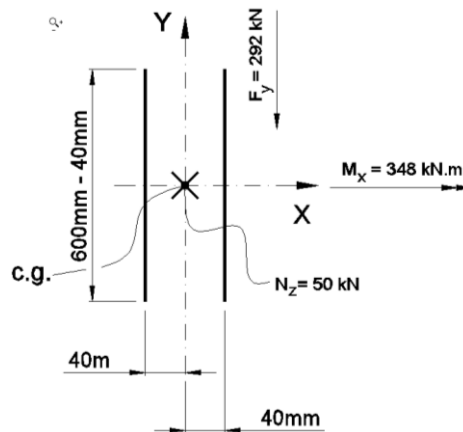


Figura 4.19 – Solda de Filete entre Chapa e Alma da Viga – Esforços e localização

#### ➤ 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

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

$$\tau_{w,y,Sd} = (F_{y,Sd} / A_w) + (M_{z,Sd} / I_z) x = 6,15 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{y,Sd} = 292 \text{ kN}; A_w = 47,52 \text{ cm}^2; M_{z,Sd} = 0$$

$$\tau_{w,Sd} = \tau_{w,y,Sd} = 6,15 \text{ kN/cm}^2$$

- Tensões de 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

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

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

$$\tau_{w,Sd} = 6,15 \text{ kN/cm}^2$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Tensões do Metal da Solda

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

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

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

$$6,15 \leq 21,55 \text{ kN/cm}^2 \text{ (OK!)}$$

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

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

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

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

- 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

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

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

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

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

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

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

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

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

➤ **Solda**

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

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

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

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

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

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

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

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

- Tensões Metal da Base

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

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

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

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

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

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

- 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

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

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

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

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

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

- No Enrijecedor

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

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

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

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

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

#### 4.5. Base Do Pilar

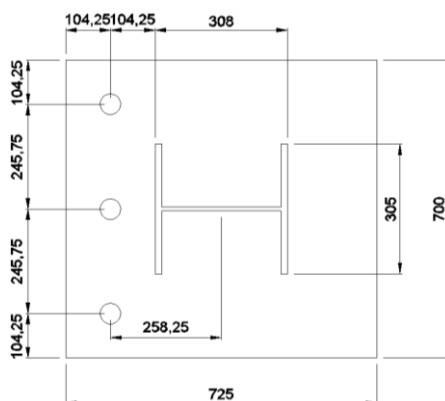


Figura 4.20 – Chapa de Base

#### ➤ 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:

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

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

- Dimensões da Placa:

$$d \leq H \leq d + 4a_1 \Rightarrow 308 \text{ mm} \leq 725 \text{ mm} \leq 308 \text{ mm} + 4 * 104,25 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow 308 \text{ mm} \leq 725 \text{ mm} \leq 725 \text{ mm} \text{ (OK!)}$$

$$b_f \leq B \leq b_f + 4a_1 \Rightarrow 305 \text{ mm} \leq 700 \text{ mm} \leq 305 \text{ mm} + 4 * 104,25 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow 305 \text{ mm} \leq 700 \text{ mm} \leq 722 \text{ mm} \text{ (OK!)}$$

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

- Distância entre centro de furo e borda:

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



- Distância entre centros do furo:

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

➤ **Esforços Solicitantes na Base**

**Força de Compressão Máxima**

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

$$M_{Sd} = 218,38 \text{ kN.m}; N_{c,Sd} = 478,34 \text{ kN}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- 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:

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

$$\mu = 0,55; N_{c,Sd} = 478,34 \text{ kN}$$

$$\leq 0,2 f_{ck} Y B = 231,28 \text{ kN}$$

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

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

$$V_{bc,Sd} = V_{Sd} - V_{at} = -76,77 \text{ kN (Não há necessidade de Placa de Cisalhamento)}$$

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

- Verificação do Concreto:

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

#### 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

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

$$n_t = 3; A_e = 0,75 * 19,625 \text{ cm}^2; f_u = 40 \text{ kN/cm}^2; \gamma_2 = 1,35$$

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

##### ➤ Arrancamento do Concreto

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

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

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

➤ **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 ( $A_{rc}$ ):

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

$$H_b = 150 \text{ cm}; h_t = 25,825 \text{ cm}$$

$$\leq 1,5h_a = 90,0 \text{ cm}$$

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

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

$$B_b = 150 \text{ cm}; B = 70 \text{ cm}; a_1 = 104,25 \text{ mm}$$

$$\leq 1,5h_a = 90,0 \text{ cm}$$

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

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

$$H_b = 150 \text{ cm}; h_t = 25,825 \text{ cm}$$

$$\leq 1,5h_a = 90,0 \text{ cm}$$

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

$$c_4 \leq a_2 = 24,58 \text{ cm}$$

$$\leq 3,0h_a = 180 \text{ cm}$$

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

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

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

$$P_{t,rc,Rd} = 0,08 A_{rc} f_{ck}^{3/2} / (\gamma_c h_a^{1/3}) = 311,20 \text{ kN}$$

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

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

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

#### 4.5.2. Verificação da Placa de Base

$$M_{pb,Sd} \leq M_{pb,Rd}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Apostila de “Dimensionamento Básico de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto” dos Professores: Ricardo Hallal Fakury, Ana Lydia R. de Castro e Silva e Rodrigo Barreto Caldas.
- ABNT NBR 8800/2008 – Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e de Concreto de Edifícios.

## **6. CONCLUSÃO**

No presente, 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: soldada e parafusada.

Em estruturas de aço, o projeto e 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.

Assim, os cálculos apresentados representam as verificações necessárias e como as mesmas devem ser feitas para as estruturas usuais, presentes no dia-a-dia do calculista de estrutura metálica.