

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

**ANÁLISE ESTRUTURAL DIMENSIONAMENTO E
DETALHAMENTO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL EM
ESTRUTURA METÁLICA**

NILTON RIBEIRO PEREIRA BOMFIM

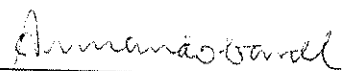
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

**ANÁLISE ESTRUTURAL DIMENSIONAMENTO E
DETALHAMENTO DE UM EDIFÍCIO COMERCIAL EM
ESTRUTURA METÁLICA**


NILTON RIBEIRO PEREIRA BOMFIM

Trabalho Final apresentado ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "Especialista em Estruturas".

Comissão Examinadora:



Prof. Dr. Armando Cesar Campos Lavall
DEES – UFMG



Prof. Dr. Ricardo Hallal Fakury
DEES – UFMG

Belo Horizonte, 20 de dezembro de 2011.

ÍNDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIÇÃO</u>	<u>FOLHA</u>
1	INTRODUÇÃO	3
2	OBJETIVO	4
3	PROGRAMAS UTILIZADOS	4
4	DESENVOLVIMENTO	5
5	CONCLUSÃO	5
6	NORMAS / BIBLIOGRAFIA ADOTADAS	6
7	ANEXO	7

1 INTRODUÇÃO

As estruturas metálicas podem ser usadas em quase todos os tipos de construções civis, industriais e viárias. Nas construções civis podemos destacar edifícios residenciais, comerciais, escritórios, escolas e shopping; na esfera industrial, galpões e hangares; e dentre obras viárias, viadutos, pontes e outros.

A utilização de edifícios de andares múltiplos em estrutura metálica tornou-se mais habitual no Brasil a partir da década de 70, até então a produção anual de 500 mil toneladas era totalmente voltada para o setor industrial, hoje, a produção anual ultrapassa 30 milhões de toneladas, divididos entre vários setores.

Como possíveis vantagens das estruturas de aço, podemos citar:

- 1 – Alta resistência do aço em comparação com outros materiais.
- 2 – O aço é um material homogêneo de produção controlada.
- 3 – As estruturas são produzidas em fábricas por processos industrializados seriados, cujo efeito de escala favorece a menores prazos e menores custos.
- 4 – Os elementos das estruturas metálicas podem ser desmontados e substituídos com facilidade e permitem, também, reforço quando necessário.
- 5 – A possibilidade de reaproveitamento do material que não seja mais necessário à construção.
- 6 – Menor prazo de execução se comparado com outros materiais.

Pelas vantagens expostas, o simples emprego de estruturas metálicas substituindo os elementos de concreto armado e mantendo todo o restante do acabamento da obra nos processos e padrões usuais, já altera radicalmente o planejamento da obra e traz consigo um novo processo construtivo, como demonstrado abaixo:

Menor custo de administração – Devido ao menor número de operários e ao menor prazo de obra.

Economia nas fundações – Devido ao menor peso do edifício em aço.

Menor consumo de revestimento – Devido à maior precisão de fabricação das estruturas metálicas.

Rapidez de execução – Devido à possibilidade de superposição de diversas atividades na obra, bem como, um número maior de frentes para a mesma atividade.

Como possíveis desvantagens das estruturas metálicas, podemos citar:

Exige conservação maior que as estruturas de concreto armado.

Exige grau maior de especialização da mão-de-obra de montagem no canteiro de obras e eleva o gasto com equipamentos.

Exige proteção contra incêndio que aumenta seu preço, essa proteção não é, normalmente, exigida em estruturas de concreto armado.

2 OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver a análise estrutural, o dimensionamento e o detalhamento de um edifício comercial em estrutura metálica, com dois pavimentos para escritório, com pilares e vigas em perfis de alma cheia e tesoura treliçada na cobertura, o trabalho foi dividido em três etapas, a saber:

1ª etapa – Análise estrutural do pórtico plano.

2ª etapa – Dimensionamento dos elementos do pórtico plano.

3ª etapa – Dimensionamento e detalhamento das ligações do pórtico plano e das ligações de V1 e V2.

A estrutura foi dividida de forma a ter 05 (cinco) pórticos internos e 02 (dois) pórticos externos, estes pórticos são contraventados pelas vigas (V1) ligada à alma do pilar, através de ligação flexível, e (V2) ligada à alma da viga principal do pórtico, também através de ligação flexível. A viga principal do pórtico recebe toda a carga da laje, estando ligada nas extremidades com pilares, através de ligação rígida. Os pilares apóiam sobre placa de base contendo ligação rígida na direção do pórtico e ligação flexível na direção do contraventamento. A treliça de cobertura possui todas as peças com ligação flexível, apoiando-se diretamente sobre os pilares.

3 PROGRAMAS UTILIZADOS

1ª etapa – *Software* FTOOL.

2ª etapa – Planilhas do Excel.

3ª etapa – Planilhas do Excel e *software* AutoCAD.

4 DESENVOLVIMENTO

A etapa de análise estrutural foi feita considerando pórticos planos com utilização do *software* FTOOL, e posteriormente, a etapa de dimensionamento foi desenvolvida de forma manual com utilização de planilhas do Excel. A etapa de detalhamento foi feita com utilização do *software* AutoCAD, conforme anexos.

5 CONCLUSÃO

A etapa de análise estrutural é um fator importante e deve considerar os efeitos de 2ª ordem, como prescreve a ABNT NBR 8800:08. Devido à grande sensibilidade das estruturas metálicas a deslocamentos horizontais e verticais, considerando ainda o reduzido peso próprio, em relação às estruturas de concreto, esta sensibilidade agrava-se bastante, devendo-se ser criteriosamente analisada pelo projetista.

Para atender ao ELS – Vibração do piso do 2º pavimento – a viga do 2º pavimento dos pórticos interno e externo aumentou consideravelmente em relação ao pré-dimensionamento (anexo 2ª etapa).

Devido à ligação rígida viga-pilar no 2º pavimento, os pilares necessitaram de reforço no trecho da ligação, com conseqüente aumento do flange (anexo 3ª etapa).

6 NORMAS / BIBLIOGRAFIA ADOTADAS

- NBR-6120 / 2000 – Cargas para Cálculo de Estruturas de Edificações.
- NBR-6123 / 1988 – Forças Devidas ao Vento em Edificações.
- NBR-8681 / 2003 – Ações e Segurança nas Estruturas.
- NBR-8800 / 2008 – Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios – Procedimento.
- Apostila do Curso de Especialização em Estruturas da UFMG – Dimensionamento Básico de Elementos de Estruturas de Aço, parte 1, versão 3 – Autor: Prof. Ricardo Hallal Fakury.
- Apostila do Curso de Especialização em Estruturas da UFMG – Dimensionamento Básico de Elementos de Estruturas de Aço, parte 2, versão 3 – Autores: Prof^a. Ana Lydia R. de Castro e Silva e Prof. Ricardo Hallal Fakury
- Edifícios de Múltiplos Andares em Aço, 2ª Edição – Autores: Ildony H. Bellei, Fernando O. Pinho e Mauro O. Pinho – Editora PINI.

7 ANEXO

ANEXO

1ª ETAPA - ANÁLISE ESTRUTURAL DO PÓRTICO PLANO.

O objetivo desta etapa é efetuar a análise estrutural do pórtico interno, para a 6ª hipótese de combinação última de ação, usando o Método da Amplificação dos Esforços Solicitantes (MAES), e obter, para a combinação, os máximos esforços solicitantes de cálculo nas barras.

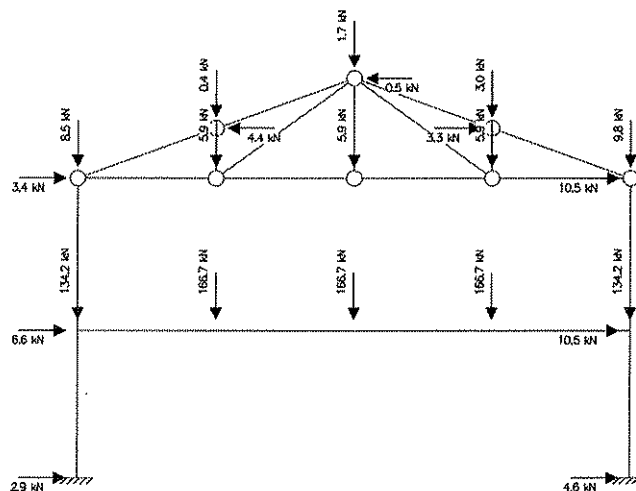


Figura 1 – Pórtico Original 6ª Combinação

O pórtico original foi dividido no pórtico NT e no pórtico LT. Em seguida foi realizada análise linear dos pórticos NT e LT, sendo apresentado, os diagramas de força normal, força cortante e momento fletor.

Para análise linear foi utilizado o programa computacional FTOOL, foi considerado no cálculo a liberação dos momentos nas barras da treliça, sendo desprezível sua atuação nos casos das diagonais e montantes com pequena excentricidade.

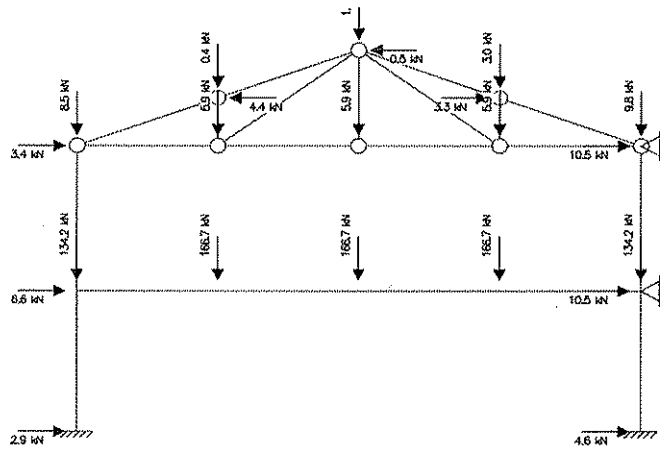


Figura 2 – Pórtico NT

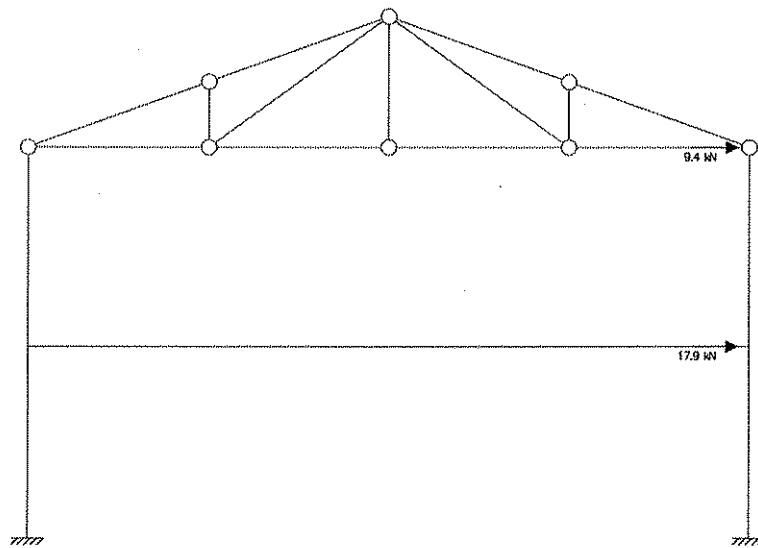


Figura 3 – Pórtico LT

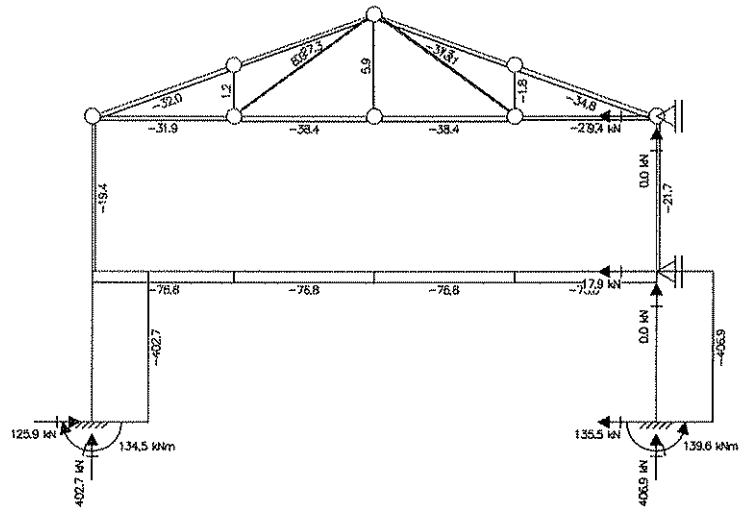


Figura 4 - DEN Pórtico NT

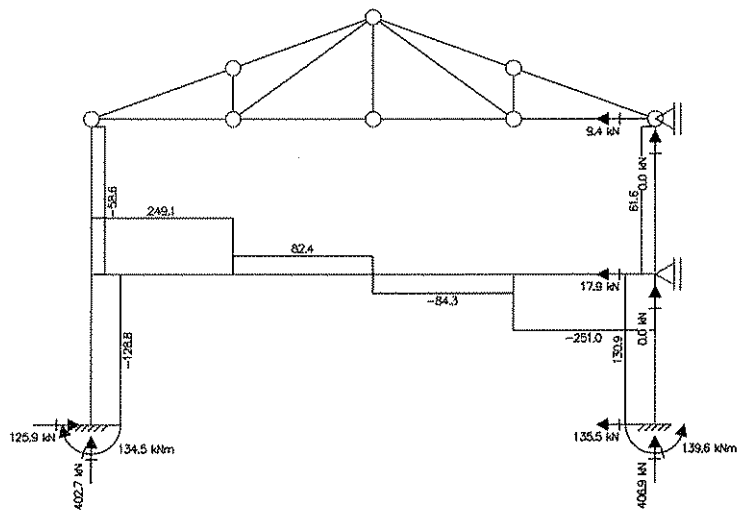


Figura 5 - DEC Pórtico NT

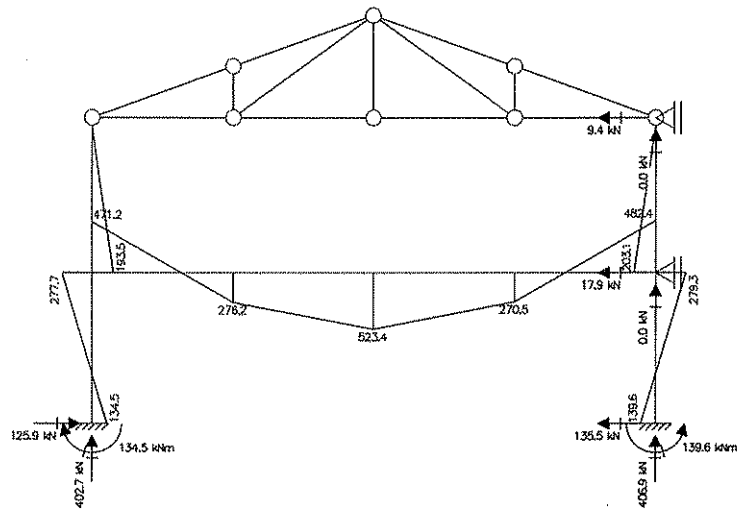


Figura 6 - DMF Pórtico NT

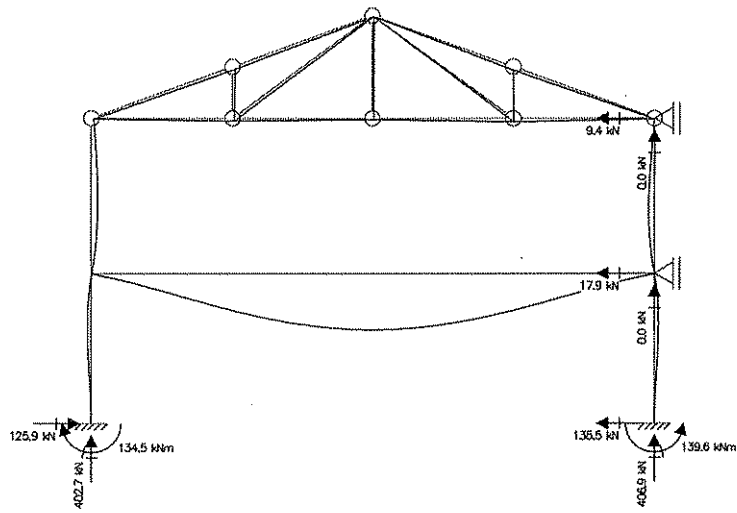


Figura 7 - Deformada Pórtico NT

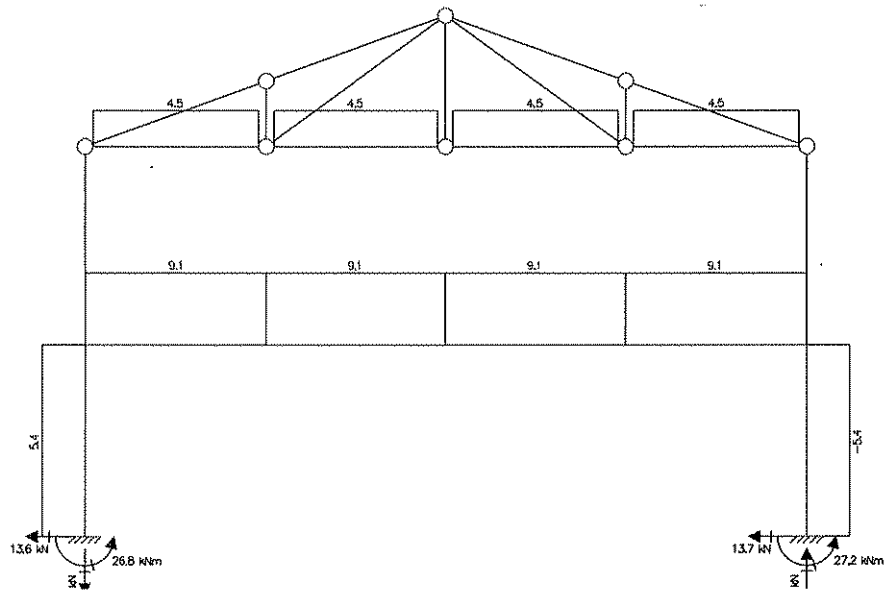


Figura 8 - DEN Pórtico LT

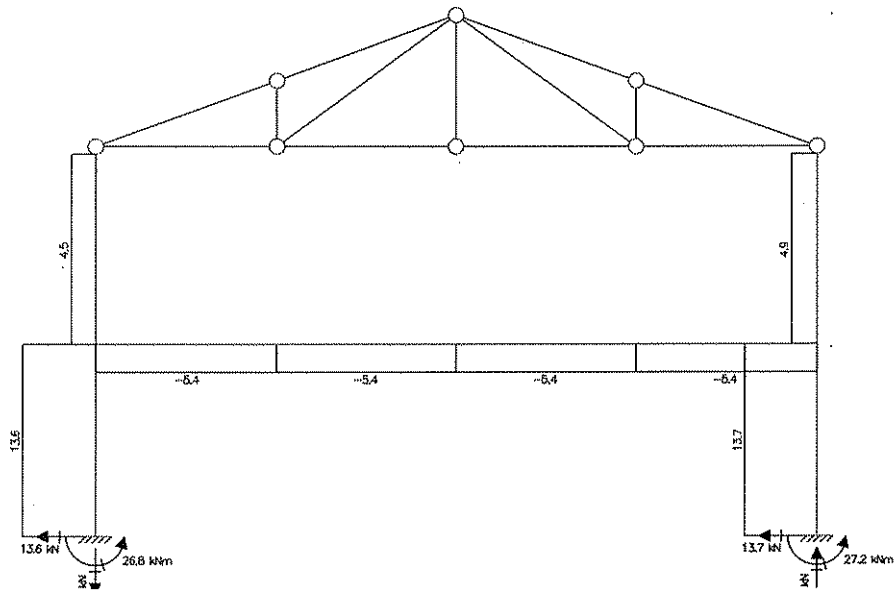


Figura 9 - DEC Pórtico LT

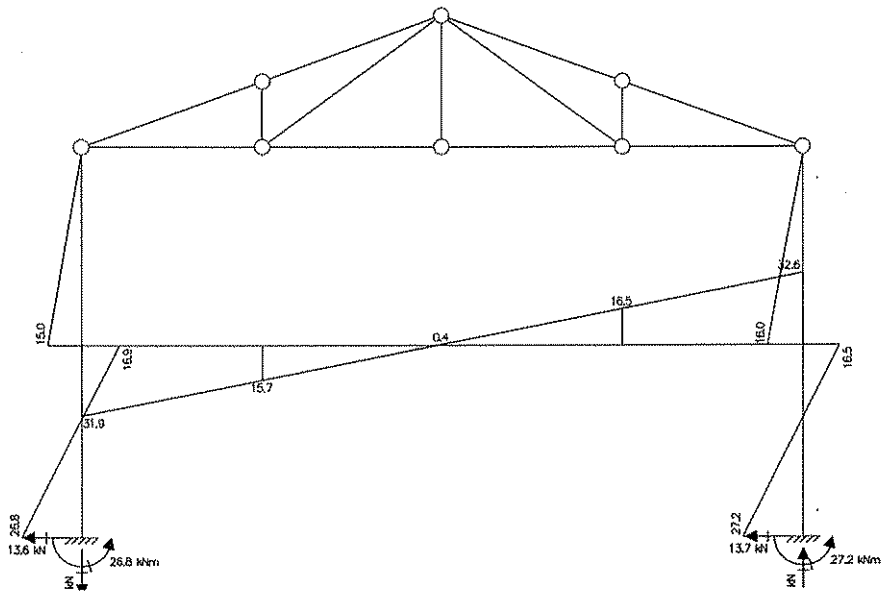


Figura 10 - DMF Pórtico LT

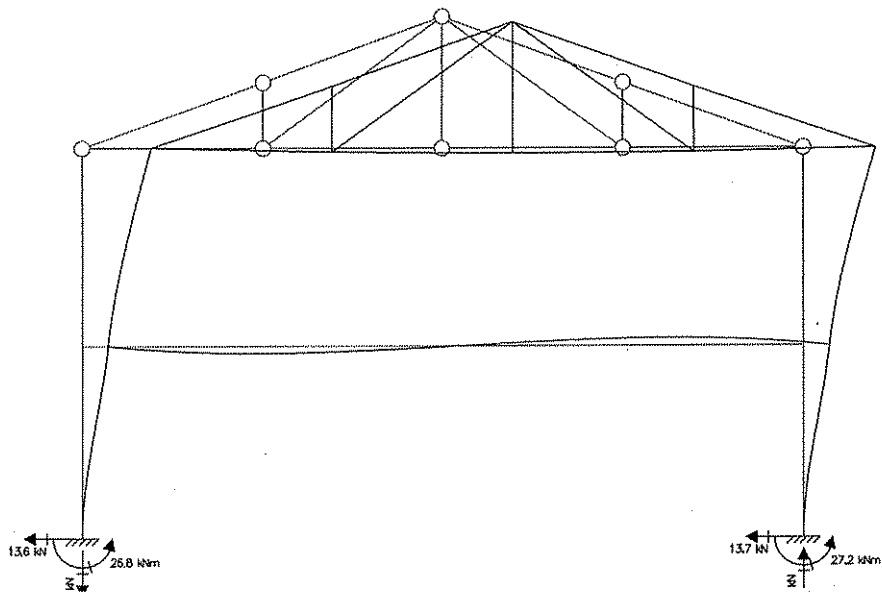


Figura 11 - Deformada Pórtico LT

Calculo dos Coeficientes B1, B2 e as Solicitações de Calculo

Cálculo do Coeficiente B1

Barra	Força Axial Solicitante Nsd (kN)		Esforço	Momento Solicitante Msd (kNm)			Coeficiente Equivalência Cm		Comprimento real (cm)	Momento Inércia (cm ⁴)	Força Axial Flambagem Elástica Ne (kN)	Coeficiente B1	
	Nsd,nt	Nsd,lt		Nsd	Msd,nt1	Msd,nt2	Msd,lt	Cm,cal				Cm,adotado	B1,cal
1	-402.70	5.40	-397.30	134.50	277.70	16.90	0.41	0.41	320	19682.00	30321.35	0.40	1.00
2	-406.90	-5.40	-412.30	139.60	279.30	16.50	0.40	0.40	320	19682.00	30321.35	0.39	1.00
3	-19.40	0.00	-19.40	0.00	193.50	0.00	0.60	0.60	330	19682.00	28511.54	0.60	1.00
4	-21.70	0.00	-21.70	0.00	203.10	0.00	0.60	0.60	330	19682.00	28511.54	0.60	1.00
5;6;7;8	-76.80	9.10	-67.70	0.00	523.40	0.00	0.60	0.60	1200	77400.52	8479.31	0.60	1.00
9	-31.90	4.50	-27.40	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	300	45.50	79.75	0.45	1.00
10	-38.40	4.50	-33.90	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	300	45.50	79.75	0.42	1.00
11	-38.40	4.50	-33.90	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	300	45.50	79.75	0.42	1.00
12	-27.80	4.50	-23.30	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	300	45.50	79.75	0.46	1.00
13	-32.00	0.00	-32.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	319	45.50	70.54	0.41	1.00
14	-27.30	0.00	-27.30	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	319	45.50	70.54	0.43	1.00
15	-31.30	0.00	-31.30	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	319	45.50	70.54	0.42	1.00
16	-34.80	0.00	-34.80	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	319	45.50	70.54	0.40	1.00
17	1.20	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.60	1.00	109	6.10	80.99	1.02	1.00
18	8.00	0.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.60	1.00	370	9.94	11.45	3.32	1.00
19	5.90	0.00	5.90	0.00	0.00	0.00	0.60	1.00	218	6.10	20.25	1.41	1.00
20	13.10	0.00	13.10	0.00	0.00	0.00	0.60	1.00	370	9.94	11.45	-6.96	1.00
21	-1.80	0.00	-1.80	0.00	0.00	0.00	0.60	0.60	109	9.94	131.98	0.59	1.00

$$C_m = 0,60 - 0,40 \frac{M_1}{M_2}$$

$$M_1 = M_{\text{ext1}}$$

$$M_2 = M_{\text{ext2}}$$

$$N_e = \frac{\pi^2 0,8EI}{l^2}$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{N_{\text{sd1}}}{N_e}} \geq 1,0$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1}{R_s} \frac{\sum N_{\text{sd1}}}{n \sum H_{\text{sd}}}}$$

N_e = Carga de Flambagem Elastica

C_m = Coeficiente de Equivalência dos Momentos

M_1 = Menor Momento na Extremidade de cada Barra

M_2 = Maior Momento na Extremidade de cada Barra

l = Comprimento da Barra

N_{sd1} = Força Axial Solicitante de Cálculo a Tração

B_1 = Coeficiente que Considera em todas as Barras o Efeito Local $P - \delta$

B_2 = Coeficiente que Considera em todos os Andares o Efeito Global $P - \Delta$

Cálculo do Coeficiente B2

Andar	Deslocamento Horizontal (cm)	Varição Deslocamento (cm)	Altura Interpavimento (cm)	Somatório Carga Vertical (kN)	Somatório Carga Horizontal (kN)	Coeficiente B2
1	0.204	0.204	320	809.6	27.30	1.02
2	0.567	0.363	330	41.1	9.40	1.00

B_2 = Coeficiente que Considera em todos os Andares o Efeito Global P – Δ

R_5 = Coeficiente de Ajuste

$R_5 = 0,85 \rightarrow$ Subestruturas de Contraventamento Com Pórticos Rígidos

$R_5 = 1,0 \rightarrow$ Demais Estruturas

Δ_h = Deslocamento Horizontal Interpavimento

h = Altura do Andar

$\sum N_{5d}$ = Carga Gravitacional Total no Andar

$\sum H_{5d}$ = Força Cortante no Andar da Estrutura It

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{1}{R_5} \frac{\sum \Delta_h \sum N_{5d}}{h \sum H_{5d}}}$$

Cálculo da Força Axial com efeito de 2ª Ordem

Barra	Força Axial Solicitante Nsd (KN)			Esforço
	Nsd;nt	Nsd;it	Nsd	
1	-402.70	5.50	-397.20	Compressão
2	-406.90	-5.50	-412.40	Compressão
3	-19.40	0.00	-19.40	Compressão
4	-21.70	0.00	-21.70	Compressão
5;6;7;8	-76.80	9.28	-67.52	Compressão
9	-31.90	4.59	-27.31	Compressão
10	-38.40	4.59	-33.81	Compressão
11	-38.40	4.59	-33.81	Compressão
12	-27.80	4.59	-23.21	Compressão
13	-32.00	0.00	-32.00	Compressão
14	-27.30	0.00	-27.30	Compressão
15	-31.30	0.00	-31.30	Compressão
16	-34.80	0.00	-34.80	Compressão
17	1.20	0.00	1.20	Tração
18	8.00	0.00	8.00	Tração
19	5.90	0.00	5.90	Tração
20	13.10	0.00	13.10	Tração
21	-1.80	0.00	-1.80	Compressão

$$N_{Sd} = N_{nt} + B_2 N_{it}$$

Cálculo do Momento Fletor com efeito de 2ª Ordem

Barra	Momento Fletor Solicitante Msd (KNm)			Msd
	Nó	Msd;nt	Msd;it	
1	3	-277.70	16.90	-260.47
2	7	279.30	16.50	296.12
3	8	0.00	0.00	0.00
4	12	0.00	0.00	0.00
5;6;7;8	0	523.40	0.00	523.40
9	0	0.00	0.00	0.00
10	0	0.00	0.00	0.00
11	0	0.00	0.00	0.00
12	0	0.00	0.00	0.00
13	0	0.00	0.00	0.00
14	0	0.00	0.00	0.00
15	0	0.00	0.00	0.00
16	0	0.00	0.00	0.00
17	0	0.00	0.00	0.00
18	0	0.00	0.00	0.00
19	0	0.00	0.00	0.00
20	0	0.00	0.00	0.00
21	0	0.00	0.00	0.00

$$M_{Sd} = B_1 M_{nt} + B_2 M_{it}$$

Cálculo da Força Cortante com efeito de 2ª Ordem

Barra	Força Cortante Solicitante Vsd (KN)			Vsd
	Vsd;nt	Vsd;it	Vsd	
1	-128.80	13.60	-115.20	
2	130.90	13.70	144.60	
3	-58.60	4.50	-54.10	
4	61.60	4.90	66.50	
5;6;7;8	-251.00	-5.40	-256.40	
9	0.00	0.00	0.00	
10	0.00	0.00	0.00	
11	0.00	0.00	0.00	
12	0.00	0.00	0.00	
13	0.00	0.00	0.00	
14	0.00	0.00	0.00	
15	0.00	0.00	0.00	
16	0.00	0.00	0.00	
17	0.00	0.00	0.00	
18	0.00	0.00	0.00	
19	0.00	0.00	0.00	
20	0.00	0.00	0.00	
21	0.00	0.00	0.00	

$$V_{Sd} = V_{nt} + V_{it}$$

2ª ETAPA - DIMENSIONAMENTO DOS ELEMENTOS DO PÓRTICO PLANO.

O objetivo desta etapa é efetuar a verificação das barras a tração, compressão, flexão e flexo-compressão e combinação de esforços considerando ELU e ELS.

Nesta etapa foi realizado ainda a análise estrutural, o pré-dimensionamento e a verificação das vigas V1 e V2, que servem de contraventamento para os pórticos planos

1.0) Verificação da Força Axial de Tração

Barra	Força Axial Solicitante Nsd (KN)		Perfil Pré-Dimensionamento				AÇO: A36			
	Nsd	Estorço	Tipo de Barra	Tipo	b x t (mm)	Ag (cm²)	ec (cm)	Lc (cm)	fy (KN/cm²)	fu (KN/cm²)
17	1.20	Tração	Montante	2 L	38,1 x 3,17	2.32	1.07	10	25.00	40.00
18	8.00	Tração	Diagonal	2 L	44,45 x 3,17	3.71	1.22	10	25.00	40.00
19	5.90	Tração	Montante	2 L	38,1 x 3,17	2.32	1.07	10	25.00	40.00
20	13.10	Tração	Diagonal	2 L	44,45 x 3,17	3.71	1.22	10	25.00	40.00

$$A_e = C_t A_n$$

$$C_t = 1 - \frac{e_c}{l_c}$$

$$0,60 \leq C_t \leq 0,90$$

$$N_{Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}}$$

$$N_{Rd} = \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}}$$

$$N_{Sd} \leq N_{Rd}$$

A_e = Área Líquida Efetiva

A_n = Área Líquida

C_t = Coeficiente de Redução Aplicado a Área Líquida

e_c = Distância do CG ao Plano de Cisalhamento

l_c = Comprimento da Solda na Direção da Força Axial para Ligações Soldadas

A_g = Área Bruta

f_y = Tensão de Escoamento do Aço

f_u = Tensão de Ruptura do Aço

γ_{a1} = Coeficiente de Ponderação da Resistência 1.10

γ_{a2} = Coeficiente de Ponderação da Resistência 1.35

1.1) escoamento da Seção Bruta

Barra	Força Axial Resistente Nrd (KN)
17	105.45
18	168.64
19	105.45
20	168.64

1.2) Ruptura da Seção Líquida

Barra	Coefficiente de Redução de Area Ct	Área Líquida Efetiva Ae (cm ²)	Força Axial Resistente Nrd (KN)
17	0.893	4.14	122.77
18	0.878	6.51	193.03
19	0.893	4.14	122.77
20	0.878	6.51	193.03

1.3) Esbeltez

Barra	Comprimento L (cm)	Raio Mínimo Rx (cm)	Esbeltez	< 300
17	109	1.17	93	OK
18	371	1.40	265	OK
19	218	1.17	186	OK
20	371	1.40	265	OK

1.4) Chapas Espaçadoras

Barra	Comprimento L (cm)	Raio Mínimo Ry (cm)	Comprimento Lnec (cm)	L > Lnec
17	109	0.76	228	OK
18	371	0.89	267	Chapa
19	218	0.76	228	OK
20	371	0.89	267	Chapa

Utilizar chapa espaçadora de 6,3mm no meio do vão das barras 18 e 20.

1.5) Valor Adotado para Força Axial Resistente de Cálculo

Barra	Força Axial Resistente Nrd (KN)	Nrd > Nsd
17	105.45	OK
18	168.64	OK
19	105.45	OK
20	168.64	OK

1.0) Verificação da Força Axial de Compressão

Barra	Força Axial Solicitante Nsd (kN)		Perfil Pré-Dimensionamento										AÇO A36	
	Nsd	Esforço	Barra	Tipo	b (mm)	t (mm)	I (cm)	Ag (cm²)	xg-yg (cm)	ix1-iy1 (cm⁴)	rx1-ry1 (cm)	Iy (cm⁴)		ry (cm)
9	-27.31	Compressão	Banzo Inf.	2 L	50.8	4.76	300	4.58	1.45	11.70	1.58	56.29	2.48	25.00
10	-33.81	Compressão	Banzo Inf.	2 L	50.8	4.76	300	4.58	1.45	11.70	1.58	56.29	2.48	25.00
11	-33.81	Compressão	Banzo Inf.	2 L	50.8	4.76	300	4.58	1.45	11.70	1.58	56.29	2.48	25.00
12	-23.21	Compressão	Banzo Inf.	2 L	50.8	4.76	300	4.58	1.45	11.70	1.58	56.29	2.48	25.00
13	-32.00	Compressão	Banzo Sup.	2 L	63.5	4.76	319	5.80	1.75	23.00	1.98	107.10	3.04	25.00
14	-27.30	Compressão	Banzo Sup.	2 L	63.5	4.76	319	5.80	1.75	23.00	1.98	107.10	3.04	25.00
15	-31.30	Compressão	Banzo Sup.	2 L	63.5	4.76	319	5.80	1.75	23.00	1.98	107.10	3.04	25.00
16	-34.80	Compressão	Banzo Sup.	2 L	63.5	4.76	319	5.80	1.75	23.00	1.98	107.10	3.04	25.00
21	-1.80	Compressão	Montante	2 L	38.1	3.17	109	2.32	1.07	3.33	1.17	16.89	1.91	25.00

Chapa	6.3
E	20000
G	7700
Gama	1.10

$$\lambda_x = \pi \sqrt{\frac{EA_g}{N_{ex}}} \quad \lambda_{yz} = \pi \sqrt{\frac{EA_g}{N_{eyz}}}$$

Esbeltez

$$\lambda_o \leq 1,5 \rightarrow \chi = \frac{0,658}{\lambda_o^2}$$

$$\lambda_o > 1,5 \rightarrow \chi = \frac{0,877}{\lambda_o^2}$$

Fator Redução Resistência

$$N_{Rd} = \frac{\chi Q A_g f_y}{\gamma_{a1}} \quad N_{Sd} \leq N_{Rd}$$

ELU

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{lim} = 0,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad \left(\frac{b}{t}\right)_{sup} = 0,92 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\left(\frac{b}{t}\right) \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} \quad \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} < \left(\frac{b}{t}\right) \leq \left(\frac{b}{t}\right)_{sup} \quad \left(\frac{b}{t}\right) > \left(\frac{b}{t}\right)_{sup}$$

$$Q_s = 1,0 \quad Q_s = 1,34 - 0,76 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{f_y}{E}} \quad Q_s = \frac{0,52E}{f_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}$$

$$Q_s = 1,0 \rightarrow AL \quad Q = Q_s Q_e$$

Flambagem Local

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(K_x L_x)^2} \quad N_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(K_y L_y)^2} \quad N_{ez} = \frac{1}{r_o^2} \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L_z)^2} + GJ \right] \quad C_w = 0$$

$$N_{eyz} = \frac{N_{ey} + N_{ez}}{2 \left[1 - (y_o/r_o)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4N_{ey}N_{ez} \left[1 - (y_o/r_o)^2 \right]^2}{(N_{ey} + N_{ez})^2}} \right] \quad I = \frac{1}{3} \sum (bt^3)$$

$$N_{e,adotada} \leq N_{eyz} \quad r_o = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_o^2 + y_o^2} \quad y_o = x_g + t/2 \quad x_o = 0$$

Instabilidade Global

1.1) Flambagem Local

Barra	b / t	(b / t) lim	(b / t) sup	Qs	Qa	Q	Flamba Local
9	10.67	12.73	25.74	1.00	1.00	1.00	Não
10	10.67	12.73	25.74	1.00	1.00	1.00	Não
11	10.67	12.73	25.74	1.00	1.00	1.00	Não
12	10.67	12.73	25.74	1.00	1.00	1.00	Não
13	13.34	12.73	25.74	0.98	1.00	0.98	Sim
14	13.34	12.73	25.74	0.98	1.00	0.98	Sim
15	13.34	12.73	25.74	0.98	1.00	0.98	Sim
16	13.34	12.73	25.74	0.98	1.00	0.98	Sim
21	12.02	12.73	25.74	1.00	1.00	1.00	Não

1.2) Instabilidade Global

Barra	Nex (KN)	Ney (KN)	Cw	J	yo	ro	Nez (KN)	Neyz	Ne, adotado
9	51.27	123.34	0.00	0.70	1.21	3.18	530.25	118.40	51.27
10	51.27	123.34	0.00	0.70	1.21	3.18	530.25	118.40	51.27
11	51.27	123.34	0.00	0.70	1.21	3.18	530.25	118.40	51.27
12	51.27	123.34	0.00	0.70	1.21	3.18	530.25	118.40	51.27
13	89.14	207.53	0.00	0.88	1.51	3.93	438.34	186.95	89.14
14	89.14	207.53	0.00	0.88	1.51	3.93	438.34	186.95	89.14
15	89.14	207.53	0.00	0.88	1.51	3.93	438.34	186.95	89.14
16	89.14	207.53	0.00	0.88	1.51	3.93	438.34	186.95	89.14
21	110.54	280.36	0.00	0.16	0.91	2.42	204.48	168.43	110.54

1.3) Esbeltez

Barra	Comprimento L (cm)	Esbeltez 'x'	Esbeltez 'yz'	< 200	Esbeltez Reduzida	Fator Redução da Resistência
9	300	187.70	123.52	OK	2.11	0.196
10	300	187.70	123.52	OK	2.11	0.196
11	300	187.70	123.52	OK	2.11	0.196
12	300	187.70	123.52	OK	2.11	0.196
13	319	160.19	110.62	OK	1.79	0.275
14	319	160.19	110.62	OK	1.79	0.275
15	319	160.19	110.62	OK	1.79	0.275
16	319	160.19	110.62	OK	1.79	0.275
21	109	90.98	73.71	OK	1.02	0.645

1.4) Chapas Espaçadoras

Barra	Comprimento L (cm)	Raio Mínimo Ry (cm)	Comprimento Lnec (cm)	L > Lnec	Quantidade e Comprimento Chapa	
9	300	1.02	95.73	Chapa	4 u n	75 cm
10	300	1.02	95.73	Chapa	4 u n	75 cm
11	300	1.02	95.73	Chapa	4 u n	75 cm
12	300	1.02	95.73	Chapa	4 u n	75 cm
13	319	1.24	99.32	Chapa	4 u n	80 cm
14	319	1.24	99.32	Chapa	4 u n	80 cm
15	319	1.24	99.32	Chapa	4 u n	80 cm
16	319	1.24	99.32	Chapa	4 u n	80 cm
21	109	0.76	34.57	Chapa	4 u n	27,5 cm

$$\left(\frac{l}{r_{\min}}\right)_{\text{perfil}} \leq \frac{1}{2} \left(\frac{KL}{r}\right)_{\text{max.barra}}$$

1.5) Determinação da Força Axial Resistente de Cálculo

Barra	Força Axial Resistente Nrd (KN)	Nrd > Nsd
9	40.88	OK
10	40.88	OK
11	40.88	OK
12	40.88	OK
13	71.07	OK
14	71.07	OK
15	71.07	OK
16	71.07	OK
21	67.97	OK

1.0) Verificação à Flexão - Perfil do Pre-Dimensionamento

Perfil - VS 800x129														Aço A36		
Barra	Momento Msd (KNm)	Travamento Mesa Sup.	Comp. Destrav. Mesa (cm)	d (mm)	bf (mm)	h (mm)	tw (mm)	tf (mm)	AG (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Iy (cm ⁴)	Zx (cm ³)	Zy (cm ³)	J (cm ⁴)	Cw (cm ⁶)	fy (KN/cm ²)
5;6;7;8	523.40	Contínuo	1200.00	600	300	575	8.0	12.5	121.0	77401	2580	25.29	2864	49.1	4853760	25

Força Cortante Solicitante Vsd (KN)	
Barra	Travamento Mesa Sup.
5;6;7;8	-256.40
Comp. Destrav. Mesa (cm)	
5;6;7;8	1200.00

E	20000
G	7700
Gama	1.10

Momento M1	-471.2
Momento M0	-482.4
Momento M2	523.4

$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
 $\lambda_r = \frac{b_f/2}{t_f}$
 $\lambda < \lambda_p < \lambda_r$

$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$
 $M_{pl} = Z_{xf} f_y$

$M_{Rk} = M_{pl}$

FLM

$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
 $M_{Rk} = M_{pl}$

$\lambda_r = 5.70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
 $\lambda = \frac{h}{t_w}$
 $\lambda < \lambda_p < \lambda_r$

FLA

$M_{Rk, adotado} \leq M_{Rk} \rightarrow FLM$
 $M_{Rk, adotado} \leq M_{Rk} \rightarrow FLA$
 $1.5W_x f_y$

$M_{Rd} = \frac{M_{Rk}}{\gamma_{a1}}$
 $M_{sd} \leq M_{Rd}$

Flambagem Local

$\lambda_p = 1.76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
 $\lambda_r = \frac{1.38 \sqrt{I_y J}}{\gamma_y \beta_1} \sqrt{1 + \frac{27 C_w \beta_1^2}{I_y}}$
 $\lambda < \lambda_p < \lambda_r$

$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r) W_x}{EJ}$
 $C_b = 3.0 - \frac{2M_1}{3M_0} - \frac{8M_2}{3(M_0 + M_1)}$
 $M_{cr} = \frac{C_b \pi^2 EI_y}{L_b^2} \left(1 + 0.039 \frac{J_b}{C_w} \right)$

Cortante

$M_{Rk, adotado} \leq M_{cr}$
 $M_0 \leq M_{Rd}$

FLT

$\lambda_p = 1.10 \sqrt{\frac{K_y E}{f_y}}$
 $\lambda_r = 1.37 \sqrt{\frac{K_y E}{f_y}}$
 $K_y = 5.0$
 $\lambda_p < \lambda_r < \lambda$

$V_{pl} = 0.60 A_w f_y$
 $V_{Rk} = 1.24 \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 V_{pl}$

$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{\gamma_{a1}}$
 $V_{sd} \leq V_{Rd}$

2.0) Verificação do Momento Fletor

2.1) Flambagem Local

2.1.1) Flambagem Local da Mesa - FLM

Barra	Esbeltez na Plastificação	Kc	Esbeltez no Escoamento	Esbeltez	Mpl (KNcm)	Mr (KNcm)	Mrk (KNcm)
5;6;7;8	10.75	0.47	22.06	12.00	71600	45150	68673

2.1.2) Flambagem Local da Alma - FLA

Barra	Esbeltez na Plastificação	Esbeltez no Escoamento	Esbeltez	Mpl (KNcm)	Mr (KNcm)	Mrk (KNcm)
5;6;7;8	106.35	161.22	71.88	71600	-	71600

2.1.3) Momento Resistente de Calculo - Flambagem Local (FLM e FLA)

Barra	1,5 Wx fy	Mrk, adotado (KNcm)	Mrd (KNcm)	Mrd > Msd
5;6;7;8	96750	68673	62430	OK

2.2) Flambagem Lateral com Torção - FLT

Barra	Esbeltez na Plastificação	Parametro Beta (/cm)	Esbeltez no Escoamento	Esbeltez	Cb	Mpl (KNcm)	Mcr (KNcm)
5;6;7;8	49.78	0.046	133.98	175.95	3.78	71600	107232

2.2.1) Momento Resistente de Calculo - Flambagem Lateral com Torção (FLT)

Barra	Mrk, adotado (KNcm)	Mrd (KNcm)	Mrd > Mo
5;6;7;8	71600	65091	OK

3.0) Verificação da Força Cortante

Barra	Kv	Esbeltez na Plastificação	Esbeltez no Escoamento	Esbeltez	Vpl (KN)	Vrk (KN)
5;6;7;8	5.0	69.57	86.65	71.88	720	836

3.1) Força Cortante Resistente de Calculo

Barra	Vrk (KN)	Vrd (KN)	Vrd > Vsd
5;6;7;8	836	760	OK

4.0) Verificação da Flecha

Barra	Flecha CP (cm)	Flecha SC (cm)	Contra-Flecha (cm)	Flecha Total (cm)	Flecha Max (cm)	Flecha Total < Flecha Max
5;6;7;8	4.14	3.48	3.11	4.51	3.43	Não OK

5.0) Verificação de Vibração no Piso

Barra	Flecha CP (cm)	Flecha SC (cm)	Contra-Flecha (cm)	Flecha Total (cm)	Flecha Vibração (cm)	Flecha Total < Flecha Vibração
5;6;7;8	4.14	3.48	3.11	4.51	2.00	Não OK

ELS não atendido - Devera ser aumentada a inercia do perfil, aumentando suas dimensões, sobretudo altura.

1.0) Verificação à Flexão - Perfil VS 800x129

Momento Fletor Solicitante Msd (KNm)		Perfil - VS 800x129											Aço A36					
Barra	Msd (KNm)	Travamento Mesa Sup.	Comp. Destrav. Mesa (cm)	d (mm)	bf (mm)	h (mm)	tw (mm)	tf (mm)	Ag (cm²)	Ix (cm⁴)	Wx (cm³)	Ix (cm⁴)	Zx (cm³)	Iy (cm⁴)	Iy (cm⁴)	J (cm⁴)	Cw (cm⁶)	fy (KN/cm²)
5;6;7;8	523.40	Contínuo	1200.00	800	320	768	8.0	16	163.8	187573	4689	33.84	5194	8741	7.31	100.8	13427365	25

Força Cortante Solicitante Vsd (KN)	
Barra	Vsd (KN)
5;6;7;8	-256.40
	Comp. Destrav. Mesa (cm)
	1200.00

E	20000
G	7700
Gamma	1.10

Momento M1	-471.2
Momento M0	-482.4
Momento M2	523.4

$\lambda_p = 0.38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
 $\lambda_r = 0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{(f_y - \sigma_r)}}$
 $\lambda < \lambda_p < \lambda_r$
 $\lambda = \frac{b_f/2}{t_f}$
 $k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$
 $M_{pl} = Z_x f_y$
 $M_{Rk} = M_{pl}$
 FLM

$\lambda_p = 3.76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
 $\lambda_r = 5.70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
 $\lambda < \lambda_p < \lambda_r$
 $M_{Rk} = M_{pl}$
 FLA

$M_{Rk} \rightarrow FLM$
 $M_{Rk} \rightarrow FLA$
 $M_{Rk} \leq M_{Rk} \rightarrow 1.5 W_x f_y$
 $M_{Rd} = \frac{M_{Rk}}{\gamma_{a1}}$
 $M_{Sd} \leq M_{Rd}$
 Flambagem Local

$\lambda_p = 1.76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$
 $\lambda_r = \frac{1.38 \sqrt{I_y J}}{\tau_y B_1} \sqrt{1 + \frac{27 C_w \beta_1^2}{I_y}}$
 $\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r) W_x}{EJ}$
 $C_b = 3.0 - \frac{2M_1}{3M_0} - \frac{8M_2}{3(M_0 + M_1)}$
 $M_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E I_y}{L_b^2} \sqrt{I_y} \left(1 + 0.039 \frac{J L_b^2}{C_w} \right)$
 $\lambda = \frac{L_b}{r_y}$
 $\lambda_p < \lambda_r < \lambda$

$M_{Rk} \leq M_{cr}$
 $M_0 \leq M_{Rd}$
 FLT

$\lambda_p = 1.10 \sqrt{\frac{K_y E}{f_y}}$
 $\lambda_r = 1.37 \sqrt{\frac{K_y E}{f_y}}$
 $K_y = 5.0$
 $V_{pl} = 0.60 A_w f_y$
 $V_{Rk} = 1.24 \left(\frac{\lambda_p}{\lambda} \right)^2 V_{pl}$
 $\lambda = \frac{h}{t_w}$
 Cortante

$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{\gamma_{a1}}$
 $V_{Sd} \leq V_{Rd}$

2.0) Verificação do Momento Fletor

2.1) Flambagem Local

2.1.1) Flambagem Local da Mesa - FLM

Barra	Esbeltez na Plastificação	Kc	Esbeltez no Escoamento	Esbeltez	Mpl (KNcm)	Mr (KNcm)	Mrk (KNcm)
5;6;7;8	10.75	0.41	20.52	10.00	129850	-	129850

2.1.2) Flambagem Local da Alma - FLA

Barra	Esbeltez na Plastificação	Esbeltez no Escoamento	Esbeltez	Mpl (KNcm)	Mr (KNcm)	Mrk (KNcm)
5;6;7;8	106.35	161.22	96.00	129850	-	129850

2.1.3) Momento Resistente de Calculo - Flambagem Local (FLM e FLA)

Barra	1,5 Wx fy	Mrk, adotado (KNcm)	Mrd (KNcm)	Mrd > Msd
5;6;7;8	175838	129850	118045	OK

2.2) Flambagem Lateral com Torção - FLT

Barra	Esbeltez na Plastificação	Parametro Beta (/cm)	Esbeltez no Escoamento	Esbeltez	Cb	Mpl (KNcm)	Mcr (KNcm)
5;6;7;8	49.78	0.041	132.06	164.16	3.81	129850	213470

2.2.1) Momento Resistente de Calculo - Flambagem Lateral com Torção (FLT)

Barra	Mrk, adotado (KNcm)	Mrd (KNcm)	Mrd > Mo
5;6;7;8	129850	118045	OK

3.0) Verificação da Força Cortante

Barra	Kv	Eslbeltez na Plastificação	Eslbeltez no Escoamento	Eslbeltez	Vpl (KN)	Vrk (KN)
5;6;7;8	5.0	69.57	86.65	96.00	960	625

3.1) Força Cortante Resistente de Calculo

Barra	Vrk (KN)	Vrd (KN)	Vrd > Vsd
5;6;7;8	625	568	OK

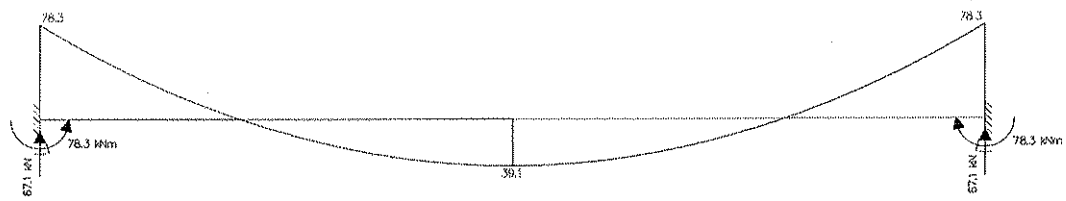
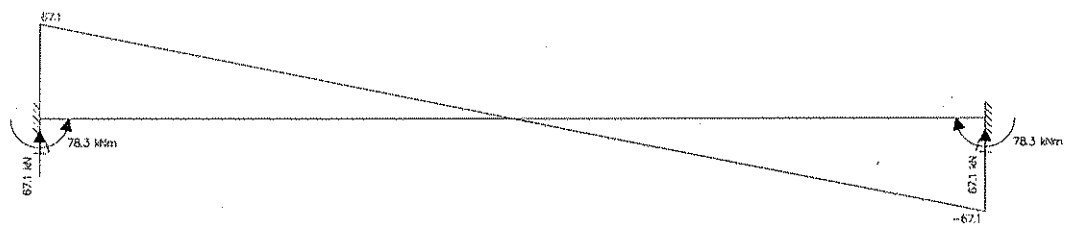
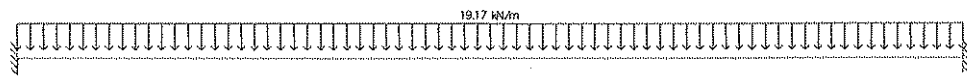
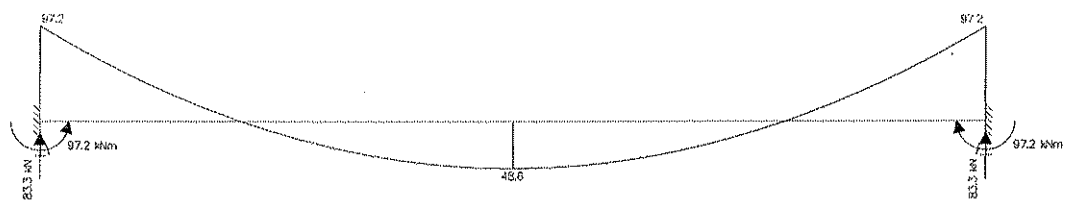
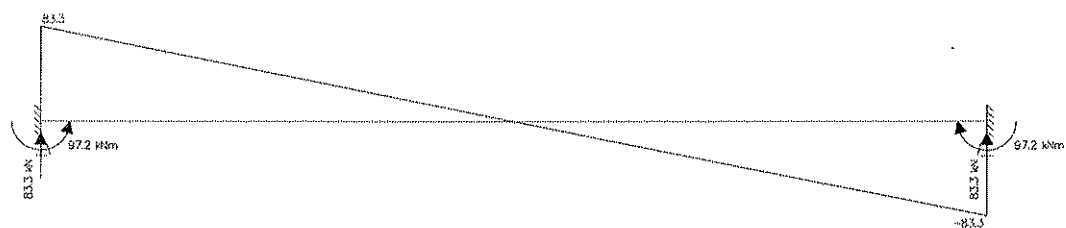
4.0) Verificação da Flecha

Barra	Flecha CP (cm)	Flecha SC (cm)	Contra-Flecha (cm)	Flecha Total (cm)	Flecha Max (cm)	Flecha Total < Flecha Max
5;6;7;8	1.71	1.44	1.28	1.86	3.43	OK

5.0) Verificação de Vibração no Piso

Barra	Flecha CP (cm)	Flecha SC (cm)	Contra-Flecha (cm)	Flecha Total (cm)	Flecha Vibração (cm)	Flecha Total < Flecha Vibração
5;6;7;8	1.71	1.44	1.28	1.86	2.00	OK

Análise Estrutural de V1 e V2



1.0) Dimensionamento à Flexão - 1ª Tentativa

Viga	Análise Estrutural				Perfil I Laminado Gerdau AçoMinas										Aço A572			
	Msd (KNm)	Vsd (KN)	Comp. Destrav. (cm)	Perfil	d (mm)	bf (mm)	h (mm)	tw (mm)	tf (mm)	Ag (cm²)	Ix (cm⁴)	Iy (cm⁴)	Iz (cm⁴)	J (cm⁴)	Cw (cm⁶)	Iy (KN/cm²)		
1	117.40	67.1	700.0	310 x 38.7	310	165	291	5.8	9.7	49.7	8581	553.6	13.14	727.0	3.82	13.20	163728	34.5
2	145.80	83.3	700.0	360 x 44.0	352	171	332	6.9	9.8	57.7	12258	696.5	14.58	818.0	3.77	16.70	239091	34.5

E = 20000

G = 7700
Gama = 1.10

Momento	V1	V2
Momento M1	-78.3	-97.20
Momento M0	-78.3	-97.2
Momento M2	39.1	48.60

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 0,95 \sqrt{\frac{k_c E}{(f_y - \sigma_r)}}$$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$$

$$\lambda < \lambda_p < \lambda_r \quad M_{pl} = Z_x f_y \quad M_{Rk} = M_{pl}$$

FLM

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda < \lambda_p < \lambda_r \quad M_{Rk} = M_{pl}$$

FLA

$$M_{Rk, adotado} \leq M_{Rk} \rightarrow FLM$$

$$M_{Rk} \rightarrow FLM$$

$$M_{Rk} \rightarrow FLA$$

$$1,5W_x f_y$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{Rk}}{\gamma_{a1}}$$

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

Flambagem Local

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = \frac{1,38 \sqrt{I_y}}{r_y \beta_1} \sqrt{1 + \frac{27 C_w \beta_1^2}{I_y}}$$

$$\beta_1 = \frac{(f_y - \sigma_r) W_x}{EJ}$$

$$C_b = 3,0 - \frac{2M_1}{3M_0} - \frac{8M_2}{3(M_0 + M_1)}$$

$$\lambda = \frac{L_b}{r_y} \quad \lambda_p < \lambda_r < \lambda \quad M_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E I_y}{L_b^2} \sqrt{\frac{C_w}{I_y} \left(1 + 0,039 \frac{I_b^2}{C_w} \right)}$$

FLT

$$M_{Rk, adotado} \leq M_{cr}$$

$$M_0 \leq M_{Rd}$$

FLT

$$\lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{K_y E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{K_y E}{f_y}}$$

$$K_y = 5,0 \quad \lambda < \lambda_p < \lambda_r$$

$$V_{pl} = 0,60 A_w f_y \quad V_{Rk} = V_{pl}$$

Cortante

$$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{\gamma_{a1}} \quad V_{Sd} \leq V_{Rd}$$

Cortante

2.0) Verificação do Momento Fletor

2.1) Flambagem Local

2.1.1) Flambagem Local da Mesa - FLM

Viga	Esbeltez na Plastificação	Kc	Esbeltez no Escoamento	Esbeltez	Mpl (KNcm)	Mr (KNcm)	Mrk (KNcm)
1	9.15	0.56	20.54	8.51	21231	-	21231
2	9.15	0.58	20.76	8.72	27058	-	27058

2.1.2) Flambagem Local da Alma - FLA

Viga	Esbeltez na Plastificação	Esbeltez no Escoamento	Esbeltez	Mpl (KNcm)	Mr (KNcm)	Mrk (KNcm)
1	90.53	137.24	50.17	21231	-	21231
2	90.53	137.24	48.12	27058	-	27058

2.1.3) Momento Resistente de Calculo - Flambagem Local (FLM e FLA)

Viga	1,5 Wx fy	Mrk, adotado (KNcm)	Mrd (KNcm)	Mrd > Msd
1	28649	21231	19301	OK
2	36044	27058	24599	OK

2.2) Flambagem Lateral com Torção - FLT

Viga	Esbeltez na Plastificação	Parametro Beta (/cm)	Esbeltez no Escoamento	Esbeltez	Cb	Mpl (KNcm)	Mcr (KNcm)
1	42.38	0.051	119.25	183.25	3.00	21231	21010
2	42.38	0.050	120.21	185.68	3.00	27058	25817

2.2.1) Momento Resistente de Calculo - Flambagem Lateral com Torção (FLT)

Viga	Mrk, adotado (KNcm)	Mrd (KNcm)	Mrd > Mo
1	21010	19100	OK
2	25817	23470	OK

3.0) Verificação da Força Cortante

Viga	Kv	Esbeltez na Plastificação	Esbeltez no escoamento	Esbeltez	Vpl (KN)	Vrk (KN)
1	5.0	59.22	73.76	50.17	372	372
2	5.0	59.22	73.76	48.12	503	503

3.1) Força Cortante Resistente de Calculo

Viga	Vrk (KN)	Vrd (KN)	Vrd > Vsd
1	372	338	OK
2	503	457	OK

4.0) Verificação da Flecha

Viga	Flecha CP (cm)	Flecha SC (cm)	Contra-Flecha (cm)	Flecha Total (cm)	Flecha Max (cm)	Flecha Total < Flecha Max
1	1.95	0.13	1.46	0.62	1.07	OK
2	1.36	0.22	1.02	0.56	1.07	OK

5.0) Verificação de Vibração no Piso

Viga	Flecha CP (cm)	Flecha SC (cm)	Contra-Flecha (cm)	Flecha Total (cm)	Flecha Vibração (cm)	Flecha Total < Flecha Vibração
1	1.95	0.13	1.46	0.62	2.00	OK
2	1.36	0.22	1.02	0.56	2.00	OK

Verificação à Flexo-Compressão

Pilar	Flexo-Compressão		Comp. Destrav. (cm)	Perfil	Perfil I Laminado Gerdau AçoMinas										Aço A572				
	Nsd (KN)	Msd (KNm)			Vsd (KN)	d (mm)	bf (mm)	h (mm)	tw (mm)	tf (mm)	Ag (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Wx (cm ³)	rx (cm)	Zx (cm ³)	Iy (cm ⁴)	ry (cm)	J (cm ⁴)	Cw (cm ⁶)
1,2	-406.9	279.3	130.9	310 x 93	303	308	277	13.1	13.1	119.2	19682	1299.1	12.85	1450.3	6387.0	7.32	77.33	1340320	34.5

Chapa	6.3
E	20000
G	7700
Gama	1.10

P1	
Momento Mmax	279.30
Momento MA	34.6
Momento MB	70.20
Momento MC	175.10

1.0) Verificação da Compressão Axial

1.1) Flambagem Local

Pilar	(b / t) mesa	(b / t) lim	(b / t) sup	Qs	Flamba Local
1;2	11.76	13.48	24.80	1.00	Não

Pilar	(b / t) alma	(b / t) lim	Qa	Q	Flamba Local
1;2	21.15	35.87	1.00	1.00	Não

1.2) Instabilidade Global

Pilar	Nex (KN)	Ney (KN)	Ne adotado
1;2	37901.69	12299.47	12299.47

1.3) Esbeltez

Pilar	Comprimento L (cm)	Esbeltez 'x'	Esbeltez 'yz'	< 200	Esbeltez Reduzida	Fator Redução da Resistência
1;2	320	24.90	43.72	OK	0.58	0.869

1.4) Determinação da Força Axial Resistente de Cálculo

Pilar	Força Axial Resistente Nrd	Nrd > Nsd
1;2	3250.31	OK

2.0) Verificação do Momento Fletor

2.1) Flambagem Local

2.1.1) Flambagem Local da Mesa - FLM

Pilar	Esbeltez na Plastificação	Kc	Esbeltez no Escoamento	Esbeltez	Mpl (KNcm)	Mr (KNcm)	Mrk (KNcm)
1,2	9.15	0.87	25.50	11.76	50035	31373	47060

2.1.2) Flambagem Local da Alma - FLA

Pilar	Esbeltez na Plastificação	Esbeltez no Escoamento	Esbeltez	Mpl (KNcm)	Mr (KNcm)	Mrk (KNcm)
1,2	90.53	137.24	21.15	50035	-	50035

2.1.3) Momento Resistente de Calculo - Flambagem Local (FLM e FLA)

Pilar	1,5 Wx fy	Mrk, adotado (KNcm)	Mrd (KNcm)	Mrd > Msd
1,2	67228	47060	42782	OK

2.2) Flambagem Lateral com Torção - FLT

Pilar	Esbeltez na Plastificação	Parametro Beta (/cm)	Esbeltez no Escoamento	Esbeltez	Cb	Mpl (KNcm)	Mr (KNcm)	Mcr (KNcm)
1,2	42.38	0.020	141.97	43.72	2.17	50035	31373	108080

2.2.1) Momento Resistente de Calculo - Flambagem Lateral com Torção (FLT)

Pilar	Mrk, adotado (KNcm)	Mrd (KNcm)	Mrd > Mo
1,2	50035	45487	OK

3.0) Verificação da Força Cortante

Pilar	Kv	Esbeltez na Plastificação	Esbeltez no escoamento	Esbeltez	Vpl (KN)	Vrk (KN)
1;2	5.0	59.22	73.76	21.15	822	822

3.1) Força Cortante Resistente de Calculo

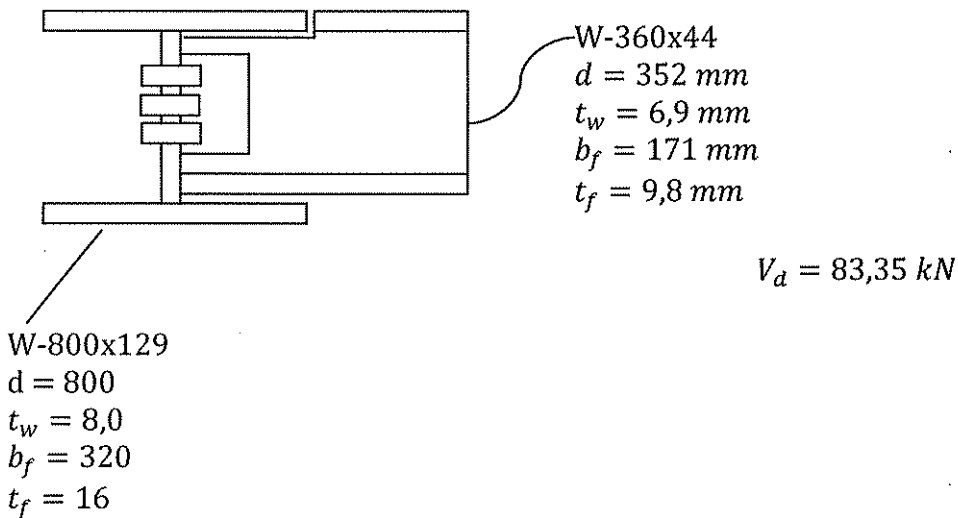
Pilar	Vrk (KN)	Vrd (KN)	Vrd > Vsd
1;2	822	747	OK

4.0) Verificação da Flexo-Compressão

Pilar	Nsd / Nrd	Equação Interação	< 1,0
1;2	0.13	0.67	OK

3ª ETAPA – DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DAS LIGAÇÕES DO PÓRTICO PLANO E DAS LIGAÇÕES DE V1 E V2.

1.0 - LIGAÇÃO FLEXÍVEL: VIGA-VIGA



1.1 - COMPRIMENTO DA CANTONEIRA

$$L \geq \frac{352}{2} \geq 176 \rightarrow \text{Adotar } L = 210$$

1.2 - PARAFUSO AO CISLHAMENTO

$$n_s = 1$$

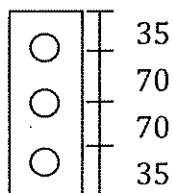
$$f_{ub} = 80 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{v,Sd} = \frac{83,35}{n_v} \leq F_{v,Rd} = \frac{0,50 n_s A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}} = \frac{0,50 \times 1 \times \frac{\pi \times d_b^2}{4} \times 8}{1,35}$$

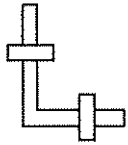
$$\frac{83,35}{n_v} < 23,3 \times d_b^2 \rightarrow n_v > \frac{3,57}{d_b^2}$$

$$\text{Adotar } \left. \begin{array}{l} d_b = 16 \text{ mm} \\ n_v = 6 \text{ paraf.} \end{array} \right\} \text{ Furo padrão } 16 + 1,5 = 17,5$$

1.3 - DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS



1.4 - DIMENSIONAMENTO DAS CANTONEIRAS



$$1,5 \times 16 + 35 = 24 + 35 = 59 \rightarrow \text{Adotar } 76,2 \text{ mm}$$

1.5 - ESPESSURA DA ABA

1.5.1 - PRESSÃO DE CONTATO

$$F_{c, Sd} = \frac{83,35}{6} = 13,9 \text{ kN}$$

$$d_b = 1,6 \text{ cm}$$

$$f_v = 40 \text{ kN/cm}^2$$

$$l_f < \begin{cases} 70 - 17,5 = 52,5 \\ 35 - 17,5/2 = 26,25 \end{cases}$$

$$\text{Adotar } l_f = 26,25 = 2,6 \text{ cm}$$

$$F_{c, Rd} < \begin{cases} \frac{1,2 l_f t f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{1,2 \times 2,6 \times t \times 40}{1,35} = 92,4t \\ \frac{2,4 d_b t f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{2,4 \times 1,6 \times t \times 40}{1,35} = 113,7t \end{cases}$$

$$\text{Adotar } F_{c, Rd} = 92,4t$$

$$13,9 < 92,4t \rightarrow t > 0,15 = 1,5 \text{ mm}$$

1.5.2 - COLAPSO POR RASGAMENTO

$$F_{r, Sd} = 41,7 \text{ kN}$$

$$A_{gv} = 21t$$

$$A_{nv} = (21 - 3 \times 1,75)t = 15,75t$$

$$A_{nv} = 0$$

$$f_y = 25 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{r, Rd} < \begin{cases} \frac{0,6 A_{nv} f_u + C_{ts} A_{nt} f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{0,6 \times 15,75 \times t \times 40 + 0}{1,35} = 280t \\ \frac{0,6 A_{gv} f_y + C_{ts} A_{nt} f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{0,6 \times 21 \times t \times 25 + 0}{1,35} = 233t \end{cases}$$

$$\text{Adotar } F_{r,Rd} = 233t$$

$$41,7 < 233t \rightarrow t > 0,17 = 1,7 \text{ mm}$$

$$\text{Adotar } t = 4,76 \text{ mm}$$

1.6 - VERIFICAÇÃO ALMA DA VIGA

1.6.1 - PRESSÃO DE CONTATO

$$F_{c,Sd} = 13,9 \text{ kN}$$

$$t = 0,8 \text{ cm}$$

$$d_b = 1,6 \text{ cm}$$

$$f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$$

$$l_f < \begin{cases} 70 - 17,5 = 52,5 \\ 0 - 8,75 = 8,75 \end{cases}$$

$$\text{Adotar } l_f = 52,5 = 5,25 \text{ cm}$$

$$F_{c,Rd} < \begin{cases} \frac{1,2 l_f t f_u}{\gamma_{az}} = \frac{1,2 \times 5,25 \times 0,8 \times 40}{1,35} = 149 \\ \frac{2,4 d_b t f_u}{\gamma_{az}} = \frac{2,4 \times 1,6 \times 0,8 \times 40}{1,35} = 91 \end{cases}$$

$$\text{Adotar } F_{c,Rd} = 91$$

$$F_{c,Sd} = 13,9 < F_{c,Rd} = 91 \quad \text{OK}$$

1.7 - SOLDA

$$a_w = 0,707 d_w$$

$$A_w = (l_{w1} + 2 l_{w2}) a_w$$

$$l_{w1} = 21 \text{ cm}$$

$$l_{w2} = 6,62 \text{ cm}$$

$$A_w = (21 + 2 \times 6,62) \times 0,707 \times d_w = 24,2 d_w$$

$$a = 1,28 \text{ cm}$$

$$a' = 6,62 - 1,28 = 5,34 \text{ cm}$$

$$\tau_1 = \frac{41,7}{24,2 d_w} = \frac{1,72}{d_w}$$

$$M_t = P_d e = 41,7(5,34 + 1) = 264,4 \text{ kNcm}$$

$$r = \frac{\sqrt{4lw_2^4 + 8lw_1lw_2^3 + 8lw_1^2lw_2^2 + 4lw_1^3lw_2 + lw_1^4}}{2(2lw_2 + lw_1)}$$

$$r = \frac{\sqrt{4 \times 6,62^4 + 8 \times 21 \times 6,62^3 + 8 \times 21^2 \times 6,62^2 + 4 \times 21^3 \times 6,62 + 21^4}}{2(2 \times 6,62 + 21)} = 11,8 \text{ cm}$$

$$I_p = a_w \left[\frac{lw_1^2 \times lw_2}{2} + \frac{lw_1^3}{12} + \frac{2lw_2^3}{3} - \frac{2lw_2^4}{2lw_2 + lw_1} + \frac{2lw_2^5 + lw_1lw_2^4}{(2lw_2 + lw_1)^2} \right]$$

$$I_p = 0,707 d_w \left[\frac{21^2 \times 6,62}{2} + \frac{21^3}{12} + \frac{2 \times 6,62^3}{3} - \frac{2 \times 6,62^4}{2 \times 6,62 + 21} + \frac{2 \times 6,62^5 + 21 \times 6,62^4}{(2 \times 6,62 + 21)^2} \right]$$

$$I_p = 1674,7 d_w$$

$$\tau_2 = \frac{264,4 \times 11,8}{1674,7 d_w} = \frac{1,86}{d_w}$$

$$\tau_{2H} = \frac{\frac{1,86}{d_w} \times 10,5}{11,8} = \frac{1,65}{d_w}$$

$$\tau_{2V} = \frac{\frac{1,86}{d_w} \times 5,34}{11,8} = \frac{0,84}{d_w}$$

$$\tau_{w, Sd} = \sqrt{\left(\frac{1,86}{d_w} + \frac{0,84}{d_w}\right)^2 + \left(\frac{1,65}{d_w}\right)^2} = \frac{12,4}{d_w}$$

$$\tau_{w, Rd} = \frac{0,6 \times 48,5}{1,35} = 21,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{w, Sd} = \frac{12,4}{d_w} \leq \tau_{w, Rd} = 21,6 \rightarrow d_w \geq 0,57 \text{ cm} = 5,7 \text{ mm}$$

1.7.1 - ESCOAMENTO METAL BASE

$$\tau_{MB, Sd} = 0,707 \times \tau_{w, Sd} = 0,707 \times \frac{12,4}{d_w} = \frac{8,77}{d_w}$$

$$\tau_{MB, Rd} = \frac{0,6 \times 25}{1,1} = 13,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{w, Sd} = \frac{8,77}{d_w} \leq \tau_{w, Rd} = 13,6 \rightarrow d_w \geq 0,64 \text{ cm} = 6,4 \text{ mm}$$

1.7.2 - LIMITAÇÕES CONSTRUTIVAS DA SOLDA FILETE

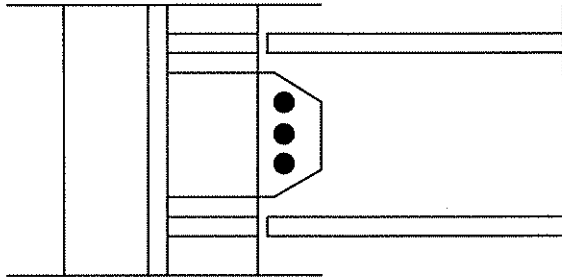
Dimensão mínima

$$\left. \begin{array}{l} t_w = 6,9 \\ t_{cant.} = 4,76 \end{array} \right\} d_{w, min} = 5,0 \text{ mm}$$

Dimensão máxima

$$d_{w,max} = 6,9 - 1,5 = 5,4 \quad \text{Adotar } 7,0 \text{ mm}$$

2.0 - LIGAÇÃO FLEXÍVEL VIGA-PILAR



$$\begin{aligned} &W-360x44 \\ &d = 352 \text{ mm} \\ &t_w = 6,9 \text{ mm} \\ &b_f = 171 \text{ mm} \\ &t_f = 9,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$V_d = 83,35 \text{ kN}$$

HP-310x93

$$d = 303 \text{ mm} \quad b_f = 308 \text{ mm}$$

$$t_w = 13,1 \text{ mm} \quad t_f = 13,1 \text{ mm}$$

2.1 - PARAFUSOS AO CISALHAMENTO

$$F_{v,Sd} = \frac{83,35}{n_v} \quad F_{v,Rd} = \frac{0,5 n_s A_b f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{0,5 \times 1,0 \times \pi d_b^2 \times 80}{1,35}$$

$$\frac{83,35}{n_v} < 23,3 d_b^2 \quad \rightarrow \quad n_v > \frac{3,57}{d_b^2} = \frac{3,57}{1,25^2} = 2,28 \text{ paraf.}$$

$$\text{Adotar } d_b = 1,25 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad n_v = 3 \text{ paraf.}$$

$$\text{Furo Padrão } 12,5 + 1,5 = 14$$

2.2 - VERIFICAÇÃO DA CHAPA

2.2.1 - PRESSÃO DE CONTATO

$$F_{c,Sd} = \frac{83,35}{3} = 27,8 \text{ kN}$$

$$d_b = 1,4 \text{ cm}$$

$$f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$$

$$l_f < \begin{cases} 120 - 14 = 106 \\ 46 - 7 = 39 \end{cases}$$

$$\text{Adotar } l_f = 39 \text{ mm} = 3,9 \text{ cm}$$

$$F_{c,Rd} \leq \begin{cases} \frac{1,2 l_f t f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{1,2 \times 3,9 \times t \times 40}{1,35} = 138,7t \\ \frac{2,4 d_b t f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{2,4 \times 1,25 \times t \times 40}{1,35} = 88,9t \end{cases}$$

Adotar $F_{c,Rd} = 88,9t$

$$27,8 < 88,9t \rightarrow t > 0,31 = 3,1 \text{ mm}$$

2.2.2 - COLAPSO POR RASGAMENTO

$$F_{r,Sd} = \frac{83,35}{1} = 83,35 \text{ kN}$$

$$A_{gv} = 33,2t$$

$$A_{nv} = (33,2 - 3 \times 1,4)t = 29t$$

$$A_{nv} = 0$$

$$f_y = 25 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{r,Rd} \leq \begin{cases} \frac{0,6 A_{nv} f_u + C_{ts} A_{nt} f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{0,6 \times 29t \times 40 + 0}{1,35} = 515t \\ \frac{0,6 A_{gv} f_y + C_{ts} A_{nt} f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{0,6 \times 33,2t \times 25 + 0}{1,35} = 369t \end{cases}$$

Adotar $F_{r,Rd} = 269t$

$$83,35 < 369t \rightarrow t > 0,22 = 2,2 \text{ mm}$$

Adotar $t = 9,8 \text{ mm}$

2.3 - VERIFICAÇÃO DA ALMA DO PILAR

2.3.1 - SOLDA

$$a_w = 0,707 d_w$$

$$A_w = l_w a_w = 33,2 \times 0,707 d_w = 23,5 d_w$$

$$\tau_{w,Sd} = \frac{41,7}{23,5 d_w} = \frac{1,77}{d_w}$$

$$\tau_{w,Rd} = \frac{0,6 \times 48,5}{1,35} = 21,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\frac{1,77}{d_w} \leq 21,6 \rightarrow d_w \geq 0,8 \text{ mm}$$

2.3.2 - ESCOAMENTO DO METAL BASE

$$\tau_{MB,Sd} = 0,707 \times \tau_{w,Sd} = 0,707 \times \frac{1,77}{d_w} = \frac{1,25}{d_w}$$

$$\tau_{MB,Rd} = \frac{0,6 \times 25}{1,1} = 13,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{MB,Sd} = \frac{1,25}{d_w} \leq \tau_{MB,Rd} = 13,6 \quad \rightarrow \quad d_w \geq 0,1 \text{ cm} = 1,0 \text{ mm}$$

2.3.3 - LIMITAÇÕES CONSTRUTIVAS

$$t_f = 9,8 \text{ mm}$$

$$t_{ch} = 9,8 \text{ mm}$$

$$t_{w,pilar} = 13,1 \text{ mm}$$

$$d_{w,min} = 5 \text{ mm}$$

$$d_{w,max} = 9,8 - 1,5 = 8,3 \text{ mm}$$

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

3.0 - LIGAÇÃO RIGIDA VIGA-PILAR

$$M_d = 482 \text{ kNm}$$

$$V_d = 251 \text{ kN}$$

$$N_d = 77 \text{ kN}$$

$$\text{W-800x129}$$

$$d = 800 \text{ mm}$$

$$b_f = 320 \text{ mm}$$

$$h = 768 \text{ mm}$$

$$t_w = 8,0 \text{ mm}$$

$$t_f = 16 \text{ mm}$$

$$f_y = 25 \text{ kNm}$$

CS (região da ligação)

$$d = 312 \text{ mm}$$

$$b_f = 312 \text{ mm}$$

$$h = 277 \text{ mm}$$

$$t_w = 17,4 \text{ mm}$$

$$t_f = 36 \text{ mm}$$

$$f_y = 34,5 \text{ kNm}$$

(recorte. 20x20)

HP-319x125 (demais regiões)

$$d = 312 \text{ mm}$$

$$b_f = 312 \text{ mm}$$

$$h = 277 \text{ mm}$$

$$t_w = 17,4 \text{ mm}$$

$$t_f = 17,4 \text{ mm}$$

$$f_y = 34,5 \text{ kNm}$$

(recorte. 20x20)

3.1 - ESFORÇOS NA REGIÃO DA LIGAÇÃO

3.1.1 - ESFORÇOS NAS MESAS

$$P_{dt} = \frac{Md}{z} + \frac{Nd}{2} = \frac{48200}{78,4} + \frac{77}{2} = 653 \text{ kN (mesa superior tracionada)}$$

$$F_{Rd} = \frac{A_{ms}f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{32 \times 1,6 \times 25}{1,1} = 1163 \text{ kN}$$

$$P_{dt} = 653 \text{ kN} \leq F_{Rd} = 1163 \text{ kN} \quad OK$$

$$P_{dc} = \frac{Md}{z} - \frac{Nd}{2} = \frac{48200}{78,4} - \frac{77}{2} = 576 \text{ kN (mesa inferior comprimida)}$$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} = \frac{4}{\sqrt{768/8}} = 0,41$$

$$Q_s = \frac{b_f/2}{t_f} = \frac{320/2}{16} = 10 < 0,64 \sqrt{\frac{E k_c}{f_y}} = 0,64 \sqrt{\frac{2000 \times 0,4}{25}} = 11,4 \rightarrow Q_s = 1,0$$

$$P_{dc} = 576 \leq F_{Rd} = \frac{Q A_{ms} f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{1,0 \times 32 \times 1,6 \times 25}{1,1}$$

$$P_{dc} = 576 \text{ kN} \leq F_{Rd} = 1163 \text{ kN} \quad OK$$

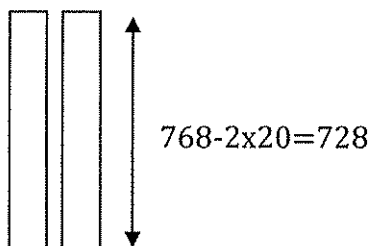
3.1.2 - ESFORÇOS NA ALMA

$$V_{Rd} = \frac{0,6 A_w f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,6 [(76,8 - 2 \times 2) \times 0,8] \times 25}{1,1} = 794 \text{ kN} \quad OK$$

$$V_{sd} = 251 \text{ kN} \leq V_{Rd} = 794 \text{ kN} \quad OK$$

3.2 - VERIFICAÇÃO DA SOLDA

3.2.1 - SOLDA DE FILETE (chapa de extremidade CH 36 x alma da viga CH 8)



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

$$a_w = 0,707 \times 6 = 4,2 \text{ mm}$$

$$A_w = 2a_w l_w = 2 \times 0,42 \times 72,8 = 61,2 \text{ mm}$$

$$A_{mb} = 2d_w l_w = 2 \times 0,6 \times 72,8 = 87,3 \text{ mm}$$

3.2.1.1 - Tensão vertical na solda

$$\tau_{wv,Sd} = \frac{V_{dc}}{A_w} = \frac{251}{61,1} = 4,1 \text{ kN/cm}^2$$

3.2.1.2 - Tensão horizontal na solda

$$\frac{P_{dt}/A_{ms}}{h_t} = \frac{P_{dc}/A_{mi}}{h_c} \rightarrow \frac{653/32 \times 1,6}{h_t} = \frac{576/32 \times 1,6}{h_c} \rightarrow h_c = 0,88 h_t$$

$$h_c + h_t = 78,4 \rightarrow h_t = 41,7 \text{ cm}$$

$$h_w = h_t - \frac{t_f}{2} - \text{recorte} = 41,7 - \frac{1,6}{2} - 2 = 38,9 \text{ cm}$$

Na alma do perfil:

$$\sigma_{wh,Sd} = \frac{P_{dt}}{A_{ms}} \frac{h_w}{h_t} = \frac{653}{32 \times 1,6} \times \frac{38,9}{41,7} = 11,9 \text{ kN/cm}^2$$

Na solda:

$$\sigma_{wh,Sd} = \frac{11,9 t_w}{2 a_w} = \frac{11,9 \times 0,8}{2 \times 0,42} = 11,3 \text{ kN/cm}^2$$

3.2.1.3 - Tensão resultante de cisalhamento na solda

$$\tau_{w,Sd} = \sqrt{\tau_{wv,Sd}^2 + \sigma_{wh,Sd}^2} = \sqrt{4,1^2 + 11,3^2} = 12 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{MB,Sd} = 0,707 \tau_{w,Sd} = 0,707 \times 12 = 8,5 \text{ kN/cm}^2$$

3.2.1.4 - Ruptura do metal da solda

$$\tau_{w,Sd} = 12 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{w,Rd} = \frac{0,6 f_w}{\gamma_{a2}} = \frac{0,6 \times 48,5}{1,35} = 21,6 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{OK}$$

3.2.1.5 - Escoamento do metal base

$$\tau_{MB,Sd} = 8,5 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{MB,Rd} = \frac{0,6 f_w}{\gamma_{a1}} = \frac{0,6 \times 25}{1,1} = 13,6 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{OK}$$

3.2.2 - SOLDA DE ENTALHE (mesa da viga x chapa de extremidade)
Área efetiva de solda igual à área do metal base - não precisa verificar.

3.3 - VERIFICAÇÃO DOS PARAFUSOS E CHAPAS DE LIGAÇÃO

3.3.1 - CISALHAMENTO

$$F_{v,Sd} = \frac{251}{8} = 31,4 \text{ kN}$$

$$\text{Furo-Padrão } d_f = 30 + 1,5 = 31,5 \text{ mm} \quad d_b = 30 \text{ mm}$$

$$n_s = 1,0$$

$$f_{ub} = 82,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_b = \frac{\pi \cdot 3,0^2}{4} = 7,07 \text{ cm}^2$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,4 n_s A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}} = \frac{0,4 \times 1 \times 7,07 \times 82,5}{1,35} = 172,8 \text{ kN}$$

$$F_{v,Sd} = 31,4 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 172,7 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

3.3.2 - PRESSÃO DE CONTATO NA CHAPA DE EXTREMIDADE

$$F_{c,Sd} = 31,4 \text{ kN}$$

$$t = 3,6 \text{ cm}$$

$$f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$$

$$d_b = 30 \text{ mm}$$

$$l_f < \begin{cases} 76 - 31,5 = 44,5 \\ 40 - 15,75 = 24,75 \end{cases}$$

$$\text{Adotar } l_f = 24,75 \text{ mm} = 2,5 \text{ cm}$$

$$F_{c,Rd} \leq \begin{cases} \frac{1,2 l_f t f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{1,2 \times 2,5 \times 3,6 \times 40}{1,35} = 320 \text{ kN} \\ \frac{2,4 d_b t f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{2,4 \times 3,0 \times 3,6 \times 40}{1,35} = 768 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\text{Adotar } F_{c,Rd} = 320 \text{ kN}$$

$$F_{c,Sd} = 31,4 \text{ kN} \leq F_{c,Rd} = 320 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

3.3.3 - TRAÇÃO NOS PARAFUSOS E FLEXÃO NA CHAPA

Efeito alavanca

$$a = 4,0 \text{ cm} > b = 3,0 \text{ cm}$$

$$F_{t,Sd} = \frac{N_{Sd}}{n_t} = \frac{653}{4} = 163,3 \text{ kN}$$

$$M_{Sd} = F_{t,Sd}b = 163,3 \times 3 = 489,9 \text{ kNcm}$$

$$P < \begin{cases} 4,0 \\ 3,0 + 0,5 \times 3,0 = 4,5 \end{cases} + < \begin{cases} 30/2 = 15 \\ 4,0 \end{cases}$$

$$P = 4,0 + 4,0 = 8,0 \text{ cm}$$

$$M_{Rd} = \frac{M_{pl}}{\gamma_{a1}} = \frac{P t^2 f_y}{4 \gamma_{a1}} = \frac{8,0 \times 3,6^2 \times 25}{4 \times 1,1} = 589,1 \text{ kNcm}$$

$$M_{Sd} = 489,9 \text{ kNcm} \leq M_{Rd} = 589,1 \text{ kNcm} \quad OK$$

$$A_{be} = 0,75 \times A_b = 0,75 \times 7,07 = 5,3 \text{ cm}^2$$

$$F_{t,Rd} = \frac{A_{be} \times f_{ub}}{\gamma_{a2}} = \frac{5,3 \times 82,5}{1,35} = 323,9 \text{ kN}$$

$$F_{t,Sd} = 163,3 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 0,67 \times 323,9 = 217 \text{ kN} \quad OK$$

3.3.4 - TRACÃO E CISALHAMENTO

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

$$\left(\frac{54,4}{96,2} \right)^2 + \left(\frac{10,3}{76,7} \right)^2 \leq 1 \quad \rightarrow \quad 0,338 \leq 1 \quad OK$$

3.3.5 - VERIFICAÇÃO DA ALMA DO PILAR (CISALHAMENTO)

$$V_{Sd} = 653 \text{ kN}$$

$$k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = \frac{5}{\left(\frac{784}{277}\right)^2} = 5 + \frac{5}{8} = 5,62$$

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{277}{16} = 17,3$$

$$\lambda_p = 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{5,62 \times 20000}{25}} = 73,7$$

$$P / \lambda = 17,3 < \lambda_p = 73,7$$

$$V_{Rk} = V_{pl} = 0,6 A_w f_y = 0,6 \times (1,6 \times 27,7) \times 25 = 664,8 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{\gamma_{a1}} = \frac{664,8}{1,1} = 604 \text{ kN}$$

$$V_{sd} = 653 \text{ kN} > V_{Rd} = 604 \text{ kN} \quad \text{Não OK}$$

SERÁ NECESSÁRIO COLOCAR ENRIJECEDOR NA ALMA DO PILAR, COM A MESMA ESPESSURA DAS MESAS DA VIGA

4.0 - CHAPA DE BASE

$$N_{sd} = -412,4 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = 167,3 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = 149,2 \text{ kN}$$

HP-310x125

$$d = 312 \text{ mm}$$

$$b_f = 312 \text{ mm}$$

$$h = 277 \text{ mm}$$

$$t_w = 17,4 \text{ mm}$$

$$t_f = 17,4 \text{ mm}$$

$$f_y = 34,5 \text{ kNm}$$

4.1 - CONSIDERAÇÕES CONSTRUTIVAS - BASE ENGASTADA

$$t = 50 \text{ mm} > 19 \text{ mm}$$

$$d_{ch} = 19 \text{ mm} \geq 19 \text{ mm}$$

$$d_f = d_{ch} + 8 = 19 + 8 = 27 \text{ mm}$$

4.1.1 - DISTÂNCIA DOS FUIROS

$$1,5d_{ch} = 1,5 \times 19 = 28,5 \text{ mm} \leq \begin{cases} 80 \text{ mm} \\ 50 - 8 = 42 \text{ mm} \end{cases}$$

4.1.2 - DISTÂNCIA DAS BORDAS

Furo alongado $\beta = 0,12$

$$\text{Dist. Max. } 82 \text{ mm} < \begin{cases} 12t = 12 \times 19 = 228 \text{ mm} \\ 150 \text{ mm} \end{cases}$$

$$\text{Dist. Min. } 80 \text{ mm} > \{1,25d_{ch} + \beta d_{ch} = 1,25 \times 19 + 0,12 \times 19 = 26 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

4.2 - SOLICITAÇÕES NOS COMPONENTES DA BASE

4.2.1 - Força Axial de Compressão

$$\frac{H}{6} = \frac{64}{6} = 10,6 \text{ cm} < e = \frac{M_{sd}}{N_{c,sd}} = \frac{167,3}{412,4} = 0,40 = 40 \text{ cm} > \frac{H}{2} = \frac{64}{2} = 32 \text{ cm}$$

$$e > \frac{H}{2} \rightarrow \text{Solução aproximada}$$

$$\frac{H}{4} = \frac{64}{4} = 16 \text{ cm}$$

$$h_c = \frac{H}{2} - \frac{H}{8} = \frac{64}{2} - \frac{64}{8} = 32 - 8 = 24 \text{ cm}$$

$$h_t = \frac{H}{2} - 8,2 = \frac{64}{2} - 8,2 = 32 - 8,2 = 23,8 \text{ cm}$$

$$P_{t,Sd} = \frac{N_{c,Sd}(e-h_c)}{h_t+h_c} = \frac{412,4(40-24)}{23,8+24} = 138,1 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,Sd} = \frac{P_{t,Sd}+N_{c,Sd}}{\frac{BH}{4}} = \frac{138,1+412,4}{\frac{64 \times 46}{4}} = 0,75 \text{ kN/cm}^2$$

4.3 - VERIFICAÇÃO DOS CHUBADORES

4.3.1 - Resistência

$$F_{t,Sd} = \frac{P_{t,Sd}}{n_t} = \frac{138,1}{4} = 34,5 \text{ kN}$$

$$A_g = \frac{\pi d_{ch}^2}{4} = \frac{\pi \times 1,9^2}{4} = 2,8 \text{ cm}^2$$

$$A_e = 0,75A_g = 0,75 \times 2,8 = 2,1 \text{ cm}^2$$

$$F_{t,Rd} \leq \begin{cases} \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{2,8 \times 25}{1,1} = 63,6 \text{ kN} \\ \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{2,1 \times 40}{1,35} = 62,2 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\text{Adotar } F_{t,Rd} = 62,2 \text{ kN}$$

$$F_{t,Sd} = 34,5 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 62,2 \text{ kN} \quad OK$$

4.3.2 - Arrancamento

$$F_{t,Sd} = 34,5 \text{ kN}$$

$$f_{ck} = 22 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{ar} = 1,35$$

$$l_a = 640 > 12d_{ch} = 12 \times 19 = 228 \text{ mm}$$

$$d_1 = 80 - \frac{27}{2} + 580 = 646,5 > l_a = 640 \text{ mm}$$

Como $\rightarrow l_a = 640 > \frac{S}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ mm} \rightarrow$ Superposição das áreas

$$A_{psf} = \pi l_a^2 - n \left[\frac{2 \arccos\left(\frac{S}{2l_a}\right) \pi l_a^2}{360} - \frac{S}{2} \sqrt{l_a^2 - \frac{S^2}{4}} \right]$$

$$A_{psf} = \pi \times 640^2 - 2 \left[\frac{2 \arccos\left(\frac{100}{2 \times 640}\right) \pi \times 640^2}{360} - \frac{100}{2} \sqrt{640^2 - \frac{100^2}{4}} \right] = 127869 \text{ mm}^2$$

$$F_{ar,Rd} = \frac{0,335 A_{psf} \sqrt{f_{ck}}}{\gamma_{ar}} = \frac{0,335 \times 127869}{1,35} \sqrt{22} = 148829 \text{ N} = 148,8 \text{ kN}$$

$$F_{t,Sd} = 34,5 \text{ kN} \leq F_{ar,Rd} = 148,8 \text{ kN} \quad OK$$

4.4 - VERIFICAÇÃO DO BLOCO DE CONCRETO

$$\sigma_{c,Sd} = 0,75 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_1 = 16 \times 46 = 736 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = (16 + 2 \times 28)(46 + 2 \times 28) = 7344 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{7344}{736} = 10 > 4 \rightarrow \text{Adotar } \frac{A_2}{A_1} = 4$$

$$\sigma_{c,Rd} \leq \begin{cases} \frac{0,7 f_{ck} \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}}{\gamma_c} = \frac{0,7 \times 22 \sqrt{4}}{1,4} = 2,2 \text{ kN/cm}^2 \\ 1,4 f_{ck} = 1,4 \times 22 = 3,1 \text{ kN/cm}^2 \end{cases}$$

$$\text{Adotar } \sigma_{c,Rd} = 2,2 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,Sd} = 0,75 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{c,Rd} = 2,2 \text{ kN/cm}^2 \quad OK$$

se considerar $A_1 = A_2$

$$\sigma_{c,Rd} \leq \begin{cases} \frac{0,7 f_{ck} \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}}{\gamma_c} = \frac{0,7 \times 22 \sqrt{1}}{1,4} = 1,1 \text{ kN/cm}^2 \\ 1,4 f_{ck} = 1,4 \times 22 = 3,1 \text{ kN/cm}^2 \end{cases}$$

$$\text{Adotar } \sigma_{c,Rd} = 1,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,Sd} = 0,75 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{c,Rd} = 1,1 \text{ kN/cm}^2 \quad OK$$

4.5 - VERIFICAÇÃO DA PLACA DE BASE

4.5.1 - Esforços aplicados pela compressão do concreto

$$b_1 = 82 \times 2 = 164 \text{ cm}$$

$$b_2 = 80 + 50 = 130 \text{ cm}$$

$$\frac{b_2}{b_1} = \frac{130}{164} = 0,792$$

$$\beta_1 = 1,246$$

$$M_{c,Sd} = \frac{\sigma_{c,Sd} \beta_1 b_1^2}{6} = \frac{0,75 \times 1,246 \times 16,4^2}{6} = 41,9 \text{ kNcm/cm}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{1,25 \frac{t^2}{6} f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{1,25 \times \frac{5^2}{6} \times 25}{1,1} = 118 \text{ kNcm/cm}$$

$$M_{c,Sd} = 41,9 \text{ kNcm/cm} \leq M_{c,Rd} = 118 \text{ kNcm/cm} \quad OK$$

4.5.2 - Esforços aplicados pelos chumbadores

$$b_1 = 82 \times 2 = 164 \text{ cm}$$

$$b_2 = 80 + 50 = 130 \text{ cm}$$

$$l_1 = 82 \text{ cm}$$

$$l_2 = 50 \text{ cm}$$

$$M_{ar,Sd} \geq \begin{cases} \frac{F_{t,Sd} l_1}{b_2 \left[1 + \frac{b_1 (l_1)}{b_2 (l_2)} \right]^3} = \frac{34,5 \times 8,2}{13 \left[1 + \frac{16,4 (8,2)}{13 (5)} \right]^3} = 3,3 \text{ kNcm/cm} \\ \frac{F_{t,Sd} l_2}{b_1 \left[1 + \frac{b_2 (l_2)}{b_1 (l_1)} \right]^3} = \frac{34,5 \times 5}{16,4 \left[1 + \frac{13 (5)}{16,4 (8,2)} \right]^3} = 8,9 \text{ kNcm/cm} \end{cases}$$

$$M_{ar,Sd} = 8,9 \text{ kNcm/cm} \leq M_{ar,Rd} = 118 \text{ kNcm/cm} \quad OK$$

4.6 - VERIFICAÇÃO DA BARRA DE CISALHAMENTO

$$e > \frac{H}{3} = \frac{64}{3} = 21,3 \quad \rightarrow \quad V_{at} = 0 \quad \rightarrow \quad Usar \text{ barra de cisalhamento}$$

$$\bar{b} = 400 \text{ mm}$$

$$\bar{t} = 37,5 \text{ mm}$$

$$c = 40 \text{ mm}$$

$$\bar{h} = 80 \text{ mm}$$

$$\bar{c} = 40 + \frac{\bar{h}}{2} = 40 + \frac{80}{2} = 80 \text{ mm}$$

$$V_{Sd} = 149,2 \text{ kN}$$

$$M_{Sd} = (V_{Sd} - V_{at}) \bar{c}$$

$$M_{Sd} = (149,2 - 0) \times 8 = 1194 \text{ kNcm}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,25 \frac{\bar{b} \bar{t}^2}{6} f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{1,25 \times \frac{40 \times 3,75^2}{6} \times 25}{1,1} = 2663 \text{ kNcm}$$

$$M_{Sd} = 1194 \text{ kNcm} \leq M_{Rd} = 2663 \text{ kNcm} \quad OK$$

$$\tau_{Sd} = \frac{(V_{Sd} - V_{at})}{\bar{b} \bar{t}} = \frac{(149,2 - 0)}{50 \times 3,75} = 0,79 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{Rd} = \frac{0,6 f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,6 \times 25}{1,1} = 13,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{Sd} = 0,79 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{Rd} = 13,6 \text{ kN/cm}^2 \quad OK$$

$$\sigma_{c,Sd} = \frac{(V_{Sd} - V_{at})}{\bar{b} \bar{h}} = \frac{(149,2 - 0)}{50 \times 8} = 0,37 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Supondo } A_1 = A_2 \quad \sigma_{c,Rd} = 1,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,Sd} = 0,37 \text{ kN/cm}^2 \leq \sigma_{c,Rd} = 1,1 \text{ kN/cm}^2 \quad OK$$

4.7 - VERIFICAÇÃO DAS SOLDAS

4.7.1 - Barra de cisalhamento com placa de base

$$a_w = \bar{t} \rightarrow OK$$

4.7.2 - Placa de base com pilar

4.7.2.1 - Mesas

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{312}{2 \times 17,4} = 8,96 < 0,55 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,55 \sqrt{\frac{20000}{25}} = 15,6 \quad \rightarrow \quad Q_s = 1$$

$$h' = 312 - 17,4 = 294,6 \text{ mm}$$

$$A_m = 31,2 \times 1,74 = 54,3 \text{ cm}^2$$

$$F_{c,Sd} = \frac{N_{c,Sd}}{2} + \frac{M_{Sd}}{h'} = \frac{412,4}{2} + \frac{167,3}{29,46} = 211,9 \text{ kN}$$

$$F_{c,Rd} = \frac{A_m f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{54,3 \times 25}{1,1} = 1234 \text{ kN}$$

$$F_{c,Sd} = 211,9 \text{ kN} \leq F_{c,Rd} = 1234 \text{ kN} \quad OK$$

4.7.2.2 - Alma

$$V_{Sd} = 149,2 \text{ kN}$$

$$A_{alma} = (312 - 2 \times 17,4 - 2 \times 20) \times 17,4 = 237,2 \times 17,4 = 41,3 \text{ cm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{0,6f_y A_{alma}}{\gamma_{a1}} = \frac{0,6 \times 25 \times 41,3}{1,1} = 563,2 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 149,2 \text{ kN} \leq V_{Rd} = 563,2 \text{ kN} \quad OK$$

4.7.2.3 - Solda de filete (Placa de base 63,5 mm c/ alma perfil 17,4 mm)

$$d_w = 8 \text{ mm}$$

$$a_w = 5,7 \text{ mm}$$

4.7.2.3.1 - Tensão horizontal na solda

$$\tau_{Sd} = \frac{V_{Sd}}{A_w} = \frac{149,2}{2 \times 0,57 \times 23,72} = 5,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{c,Sd} = 211,9 \text{ kN}$$

$$h' = 312 - 17,4 = 234,6 \text{ mm}$$

$$A_m = 31,2 \times 1,74 = 54,3 \text{ cm}^2$$

$$F_{t,Sd} = \frac{N_{c,Sd}}{2} - \frac{M_{Sd}}{h'} = \frac{412,4}{2} - \frac{167,3}{23,46} = 199 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{t,Sd}}{A_m} = \frac{F_{c,Sd}}{A_{alma}} = \frac{199}{54,3} = \frac{211,9}{41,3} \rightarrow \frac{3,66}{h_t} = \frac{5,13}{h_c} \rightarrow h_t = 0,71 h_c$$

$$h_c + h_t = 47,8 \rightarrow h_c = 27,9 \text{ cm}$$

4.7.2.3.2 - Tensão vertical na solda

$$h_w = h_c - \frac{t_f}{2} - \text{recorte} = 27,9 - \frac{1,74}{2} - 2 = 25,05 \text{ cm}$$

$$\sigma_{Sd} = \frac{F_{c,Sd} h_w t_w}{A_m h_c 2 a_w} = \frac{211,9 \times 25,05 \times 1,74}{54,3 \times 27,9 \times 2 \times 0,57} = 5,35 \text{ kN/cm}^2$$

4.7.2.3.3 - Tensão resultante máxima de cisalhamento na solda

$$\tau_{w,Sd} = \sqrt{\sigma_{Sd}^2 + \tau_{Sd}^2} = \sqrt{5,35^2 + 5,5^2} = 7,6 \text{ kN/cm}^2$$

4.7.2.3.4 - Tensão resultante máxima de cisalhamento no metal base

$$\tau_{MB,Sd} = 0,707 \tau_{w,Sd} = 0,707 \times 7,6 = 5,4 \text{ kN/cm}^2$$

4.7.2.3.5 - Ruptura do metal base

$$\tau_{w,Sd} = 7,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{w,Rd} = \frac{0,6f_w}{\gamma_{w2}} = \frac{0,6 \times 48,5}{1,35} = 21,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{w,Sd} = 7,6 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{w,Rd} = 21,5 \text{ kN/cm}^2 \quad OK$$

4.7.2.3.6 - Escoamento do metal base

$$\tau_{MB,Sd} = 5,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{MB,Rd} = \frac{0,6f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,6 \times 25}{1,1} = 13,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{MB,Sd} = 5,4 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{MB,Rd} = 13,6 \text{ kN/cm}^2 \quad OK$$

4.7.2.3.7 - Solda de entalhe (placa de base com mesas do pilar)

$$a_w = t_f \rightarrow OK \text{ (verificação das mesas)}$$

4.7.3 - Placa de base com nervuras (solda de entalhe com penetração total)

4.7.3.1 - Compressão

$$F_{c,Sd} = \sigma_{c,Sd} Bc = 0,75 \times 46 \times 16,4 = 565,8 \text{ kN}$$

$$\text{Por nervura} \rightarrow F_{c,Sd} = \frac{565,8}{3} = 188,6 \text{ kN}$$

$$M_{Sd} = F_{c,Sd} e = 188,6 \times 8,2 = 1546,5 \text{ kNcm}$$

4.7.3.2 - Tração

$$\text{Por nervura} \rightarrow F_{t,Sd} = \frac{138,1}{3} = 46 \text{ kN}$$

$$M_{Sd} = F_{t,Sd} e = 46 \times 8,2 = 377,2 \text{ kNcm}$$

4.7.3.3 - Tensão normal à solda

$$a_w = t_{\text{chapa chanfrada}} = 16 \text{ mm}$$

$$l_w = \text{altura da nervura}$$

$$A_w = A_{MB} = 1,6l_w$$

$$W_w = W_{MB} = \frac{1,6l_w^2}{6}$$

$$f_w = 48,5 \text{ kN/cm}^2 > f_y = 25 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Sd} = \frac{M_{Sd}}{W_w} = \frac{1546,5}{\frac{1,6l_w^2}{6}} = \frac{5799,4}{l_w^2} \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Rd} = \frac{f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{25}{1,1} = 22,7 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Sd} = \frac{5799,4}{l_w^2} < \sigma_{w,Rd} = 22,7 \quad \rightarrow \quad l_w \geq 16 \text{ cm} = 160 \text{ mm}$$

4.7.3.4 - Tensão cisalhante na solda

$$\sigma_{w,Sd} = \frac{F_{Sd}}{A_w} = \frac{188,6}{1,6l_w} = \frac{117,9}{l_w} \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Rd} = \frac{0,6f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,6 \times 25}{1,1} = 13,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{w,Sd} = \frac{117,9}{l_w} < \sigma_{w,Rd} = 13,6 \quad \rightarrow \quad l_w \geq 8,7 \text{ cm} = 87 \text{ mm}$$

Adotar nervura de 160 mm de altura

5.0 - LIGAÇÃO DA TRELIÇA - NÓS 9 E 13

5.1 - LIGAÇÃO PARAFUSADA

Chapa ASTM A36 - CH 8 - $f_y = 25 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$

Parafuso aço 4016 classe 8.8 - $d_f = 12,5 + 1,5 = 14 \text{ mm}$ $f_{yb} = 64 \text{ kN/cm}^2$

$$f_{ub} = 80 \text{ kN/cm}^2$$

5.1.1 - VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO

$$F_{t,Sd} = 45 \text{ kN}$$

$$F_{v,Sd} = \frac{F_{t,Sd}}{n_v} = \frac{45}{n_v} \text{ kN}$$

$$n_s = 2$$

$$A_b = \frac{\pi d_b^2}{4} = \frac{\pi \times 1,25^2}{4} = 1,22 \text{ cm}^2$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,4n_s A_b f_{ub}}{\gamma_{a2}} = \frac{0,4 \times 2 \times 1,22 \times 80}{1,35} = 57,8 \text{ kN}$$

$$F_{v,Sd} = \frac{45}{n_v} < F_{v,Rd} = 57,8 \quad \rightarrow \quad n_v > 0,78 \text{ paraf.}$$

Adotar $\rightarrow n_v = 2 \text{ paraf.}$

5.1.2 - LIMITAÇÕES CONSTRUTIVAS

5.1.2.1 - Espaçamento mínimo entre furos

$$e_1 > \begin{cases} 3d_b = 3 \times 12,5 = 37,5 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{cases}$$

5.1.2.2 - Espaçamento máximo entre furos

$$e_3 \leq \begin{cases} 14t = 14 \times 6,35 = 89 \text{ mm} \\ 180 \text{ mm} \end{cases}$$

5.1.2.3 - Distancia máxima do furo à borda

$$e_4 \leq \begin{cases} 12t > \begin{cases} 12 \times 6,35 = 76,2 \text{ mm} \\ 12 \times 8 = 96 \text{ mm} \end{cases} \\ 150 \text{ mm} \end{cases}$$

5.1.2.4 - Distancia mínima do furo às bordas

$$e_4 \geq \begin{cases} 35 \text{ mm} & (\text{borda cortada}) \\ 27 \text{ mm} & (\text{borda laminada}) \end{cases}$$

5.1.2.5 - Limitações adotadas

Limitações entre furos:

$$37,5 \leq e \leq 89 \quad \rightarrow \quad \text{Adotar } e = 70 \text{ mm}$$

Limitações entre furo e borda:

$$\text{Borda laminada} \quad \rightarrow \quad 27 \leq e \leq 76,2 \quad \rightarrow \quad \text{Adotar } e = 30 \text{ mm}$$

$$\text{Borda cortada} \quad \rightarrow \quad 35 \leq e \leq 76,2 \quad \rightarrow \quad \text{Adotar } e = 35 \text{ mm}$$

$$\text{Borda cortada da chapa} \quad \rightarrow \quad 35 \leq e \leq 96 \quad \rightarrow \quad \text{Adotar } e = 40 \text{ mm}$$

5.1.3 - PRESSÃO DE CONTATO

5.1.3.1 - Chapa

$$F_{c,sd} = 22,5 \text{ kN}$$

$$l_f \leq \begin{cases} 70 - 14 = 56 \text{ mm} \\ 40 - 7 = 33 \text{ mm} \end{cases}$$

$$\text{Adotar } l_f = 33 = 3,3 \text{ cm}$$

$$t = 0,8 \text{ cm}$$

$$d_b = 12,5 = 1,25 \text{ cm}$$

$$f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{c,Rd} < \begin{cases} \frac{1,2l_f t f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{1,2 \times 3,3 \times 0,8 \times 40}{1,35} = 93,8 \text{ kN} \\ \frac{2,4d_b t f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{2,4 \times 1,25 \times 0,8 \times 40}{1,35} = 71,1 \text{ kN} \end{cases}$$

Adotar $F_{c,Rd} = 71,1 \text{ kN}$

$$F_{c,Sd} = 22,5 \text{ kN} \leq F_{c,Rd} = 71,1 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

5.1.3.2 - Cantoneira

$$F_{c,Sd} = 11,25 \text{ kN}$$

$$l_f \leq \begin{cases} 70 - 14 = 56 \text{ mm} \\ 35 - 7 = 28 \text{ mm} \end{cases}$$

Adotar $l_f = 28 = 2,8 \text{ cm}$

$$t = 0,635 \text{ cm}$$

$$d_b = 12,5 = 1,25 \text{ cm}$$

$$f_u = 40 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{c,Rd} < \begin{cases} \frac{1,2l_f t f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{1,2 \times 2,8 \times 0,635 \times 40}{1,35} = 63,2 \text{ kN} \\ \frac{2,4d_b t f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{2,4 \times 1,25 \times 0,635 \times 40}{1,35} = 76,2 \text{ kN} \end{cases}$$

Adotar $F_{c,Rd} = 63,2 \text{ kN}$

$$F_{c,Sd} = 11,25 \text{ kN} \leq F_{c,Rd} = 63,2 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

5.1.4 - TRAÇÃO NAS CANTONEIRAS

$$N_{t,Sd} = 45 \text{ kN}$$

$$A_g = 2 \times 9,29 = 18,58 \text{ cm}^2$$

$$A_n = A_g - d_f t = 18,58 - 2 \times 1,4 \times 0,635 = 16,8 \text{ cm}^2$$

$$C_t = 1 - \frac{e}{l} = 1 - \frac{2,13}{7} = 0,7$$

$$A_e = C_t A_n = 0,7 \times 16,8 = 11,76 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} < \begin{cases} \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{18,58 \times 25}{1,1} = 422,3 \text{ kN} \\ \frac{A_e f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{11,76 \times 40}{1,35} = 348,4 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\text{Adotar } N_{t,Rd} = 348,4 \text{ kN}$$

$$N_{t,Sd} = 45 \text{ kN} \leq N_{t,Rd} = 348,4 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

5.1.5 - TRAÇÃO NA CHAPA

$$N_{t,Sd} = 45 \text{ kN}$$

$$A_g = (7,3 + 8,9) \times 0,8 = 12,96 \text{ cm}^2$$

$$A_n = A_g - d_f t = 12,96 - 2 \times 1,4 \times 0,8 = 11,84 \text{ cm}^2$$

$$N_{t,Rd} < \begin{cases} \frac{A_g f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{12,96 \times 25}{1,1} = 294 \text{ kN} \\ \frac{A_n f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{11,84 \times 40}{1,35} = 350,8 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\text{Adotar } N_{t,Rd} = 294 \text{ kN}$$

$$N_{t,Sd} = 45 \text{ kN} \leq N_{t,Rd} = 294 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

5.1.6 - COLAPSO POR RASGAMENTO

$$F_{r,Sd} = 22,5 \text{ kN}$$

$$A_{gv} = (7 + 3,5) \times 0,635 = 6,7 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = A_{gv} - 1,5 d_f t = 6,7 - 1,5 \times 1,4 \times 0,635 = 5,3 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = 3t - 0,5 d_f t = 3 \times 0,635 - 0,5 \times 1,4 \times 0,635 = 1,4 \text{ cm}^2$$

$$C_{ts} = 1,0$$

$$F_{r,Rd} \leq \begin{cases} \frac{0,6 A_{nv} f_u + C_{ts} A_{nt} f_u}{\gamma_{a2}} = \frac{0,6 \times 5,3 \times 40 + 1,0 \times 1,4 \times 40}{1,35} = 183,2 \text{ kN} \\ \frac{0,6 A_{gv} f_y + C_{ts} A_{nt} f_y}{\gamma_{a2}} = \frac{0,6 \times 6,7 \times 25 + 1,0 \times 1,4 \times 25}{1,35} = 100,4 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\text{Adotar } F_{r,Rd} = 100,4 \text{ kN}$$

$$F_{r,Sd} = 22,5 \text{ kN} \leq F_{r,Rd} = 100,4 \text{ kN} \quad \text{OK}$$

5.2 - LIGAÇÃO SOLDADA

5.2.1 - SOLDA DE FILETE

$$d_w = 5 \text{ mm} = 0,5 \text{ cm}$$

$$a_w = 0,707 d_w = 0,707 \times 5 = 3,535 \text{ mm} = 0,35 \text{ cm}$$

$$l_w = 2l_{w1} + l_{w2} = 2 \times 150 + 76,2 = 376,2 \text{ mm} = 37,62 \text{ cm}$$

$$A_{MB} = 37,62 \times 0,5 = 18,81 \text{ cm}^2$$

$$A_w = 37,62 \times 0,35 = 13,16 \text{ cm}^2$$

$$f_w = 41,5 \text{ kN/cm}^2 > f_y = 25 \text{ kN/cm}^2$$

5.2.2 - ELEMENTO MENOS ESPESSO

$$t = 8 \text{ mm}$$

$$d_w \geq 5 \text{ mm} = 0,5 \text{ cm}$$

$$d_w \leq t - 1,5 = 8 - 1,5 = 6,5 \text{ mm}$$

$$b = l_{w1} = 150 > \begin{cases} 5t = 5 \times 8 = 40 \text{ mm} \\ 25 \text{ mm} \end{cases}$$

5.2.3 - ESCOAMENTO DO METAL BASE

$$\tau_{MB,Sd} = \frac{\sqrt{P_{d1}^2}}{A_{MB}} = \frac{\sqrt{45^2}}{18,81} = 2,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{MB,Rd} = \frac{0,6f_y}{\gamma_{a1}} = \frac{0,6 \times 25}{1,1} = 13,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{MB,Sd} = 2,4 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{MB,Rd} = 13,6 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{OK}$$

5.2.4 - RUPTURA DO METAL BASE

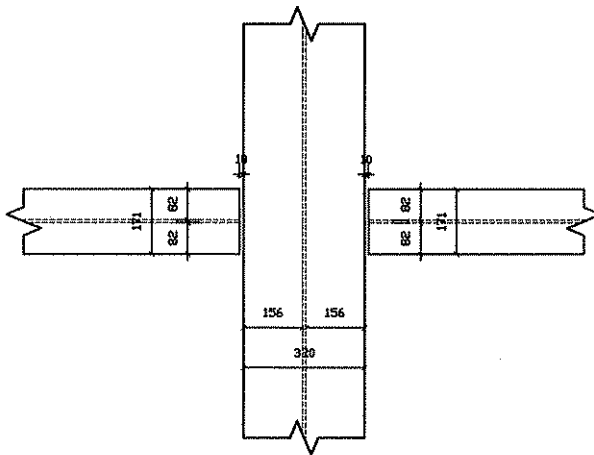
$$\tau_{w,Sd} = \frac{\sqrt{P_{d1}^2}}{A_w} = \frac{\sqrt{45^2}}{13,16} = 3,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{w,Rd} = \frac{0,6f_w}{\gamma_{w2}} = \frac{0,6 \times 41,5}{1,35} = 18,4 \text{ kN/cm}^2$$

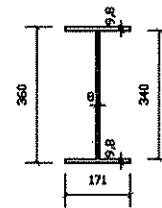
$$\tau_{w,Sd} = 3,4 \text{ kN/cm}^2 \leq \tau_{w,Rd} = 18,4 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{OK}$$

NOTAS:

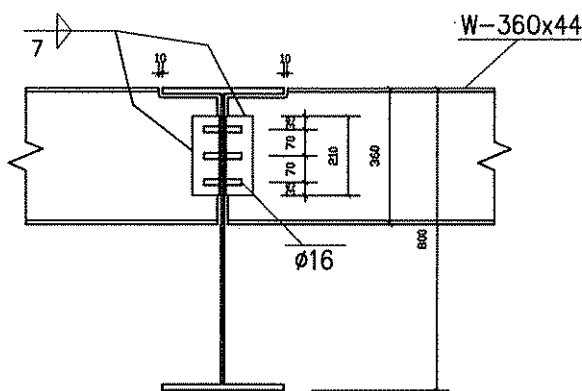
1. MEDIDAS EM MILIMETROS.



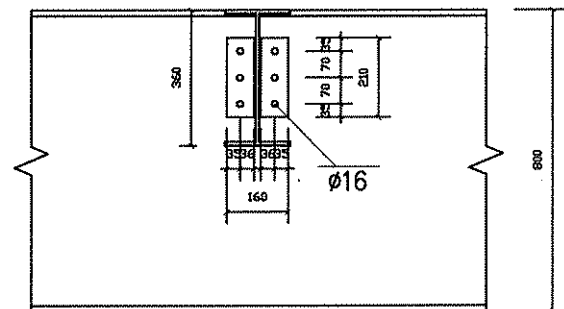
Vista Topo



W



Vista Longitudinal



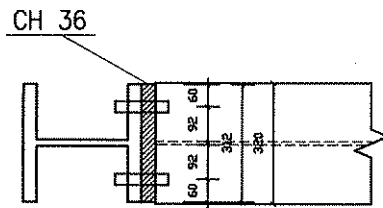
Vista Transversal

Ligação Flexível Viga-Viga

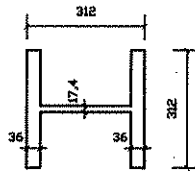
Disciplina: Trabalho Pratico Aço II			
Docente: Armando Lavall			Prancha: ANEXO A
Discente: Nilton Ribeiro			
Escala: 1/20	Data: Dez/11	Área Projeto: —	Revisão: 00

NOTAS:

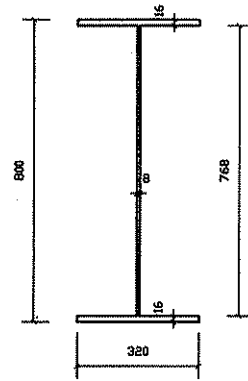
1. MEDIDAS EM MILIMETROS.



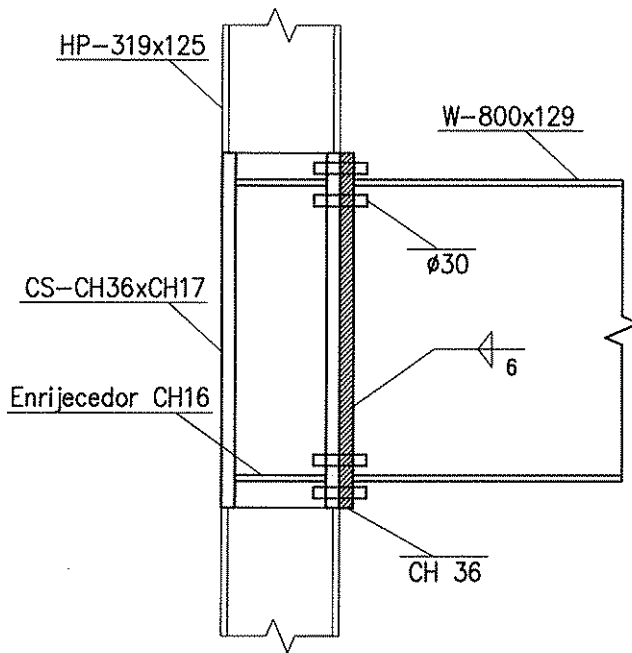
Vista Topo



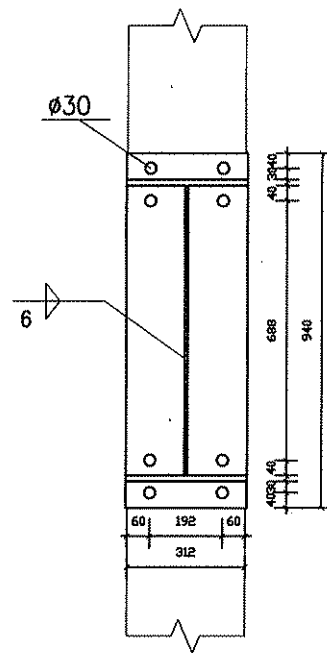
CS



W



Vista Longitudinal



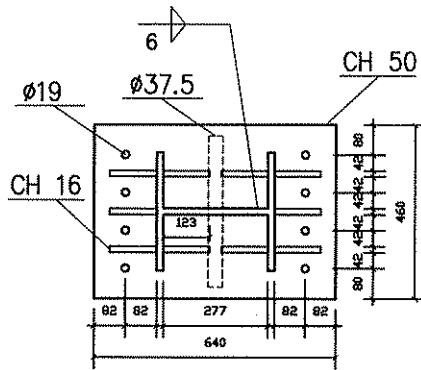
Vista Transversal

Ligação Rígida Viga-Pilar

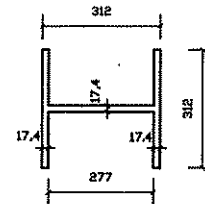
Disciplina: Trabalho Pratico Aço II				ANEXO C
Docente: Armando Lavall			Prancha:	
Discente: Nilton Ribeiro				
Escala: 1/20	Data: Dez/11	Área Projeto: -	Revisão: 00	

NOTAS:

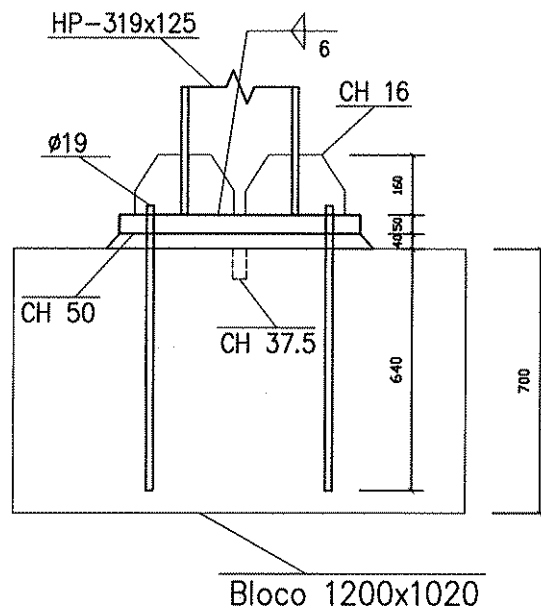
1. MEDIDAS EM MILIMETROS.



Vista Topo



HP



Placa de Base

Disciplina: Trabalho Pratico Aço II				ANEXO D
Docente: Armando Lavall			Prancha:	
Discente: Nilton Ribeiro				
Escala: 1/20	Data: Dez/11	Área Projeto: —	Revisão: 00	

