

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

EDUARDO CUNHA GOMES

DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO INDUSTRIAL EM AÇO
CONFORME NBR8800

BELO HORIZONTE

2017

EDUARDO CUNHA GOMES

DIMENSIONAMENTO DE UM EDIFÍCIO INDUSTRIAL EM AÇO
CONFORME NBR8800

Trabalho de conclusão de curso
apresentada ao Curso de Especialização
em Estruturas da Escola de Engenharia da
Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof. Dr Hermes de Carvalho

BELO HORIZONTE

2017

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	5
2.	REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	6
2.1.	Aço	6
2.2.	Galpões Industriais em Aço.....	7
3.	CONCEPÇÃO ESTRUTURAL.....	8
3.1.	Informações Gerais.....	8
3.2.	Modelo Estrutural.....	9
3.3.	Perfis Utilizados	13
4.	CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO.....	14
4.1.	Modelo Computacional	14
4.2.	Carregamentos	16
4.2.1.	Peso Próprio	16
4.2.2.	Sobrecarga.....	17
4.2.3.	Vento.....	17
4.2.4.	Cargas devido a Ponte Rolante	23
4.3.	Combinações	29
5.	RESULTADOS	31
5.1.	Esforços solicitantes	31
5.1.1.	Pilar inferior A, B, C.....	31
5.1.2.	Pilar Superior A, B, C	33
5.1.3.	Tesouras	34
5.2.	Deslocamentos	36
6.	CALCULO DO COMPRIMENTO EFETIVO (K_x).....	37
7.	VERIFICAÇÃO DAS SEÇÕES UTILIZADAS	40
7.1.	Pilar Inferior da Fila B.....	40
7.1.1.	Força Axial	40
7.1.2.	Resistência ao Momento Fletor	41
7.1.3.	Verificação das Diagonais	42
7.2.	Pilar Inferior da Fila A.....	43
7.2.1.	Força Axial	43
7.2.2.	Resistência ao Momento Fletor	44

7.2.3.	Verificação das Diagonais	45
7.3.	Pilar Superior da Fila A.....	47
7.4.	Pilar Superior da Fila C.....	48
7.5.	Pilar Superior da Fila B.....	49
7.6.	Tesoura BC.....	50
7.7.	Tesoura AB	51
8.	CONCLUSÃO	52
9.	REFERÊNCIAS.....	52
10.	ANEXOS	53
10.1.	Quadro de Cargas	53

1. INTRODUÇÃO

Devido à globalização do mercado, torna-se cada dia mais perceptível a necessidade de ampliação sobre estudos e técnicas construtivas que viabilizem o aumento da produtividade e a redução de custos. Os sistemas estruturais em aço vêm acompanhando esses avanços tecnológicos para atender as diversas situações, a fim de alcançar eficiência através de métodos e processos construtivos eficazes que permitam atender as exigências de construções em prazos curtos, custos reduzidos e possibilitem garantir a qualidade do empreendimento atendendo a demanda de mercado. Com o surgimento de novas tecnologias o aço vem sendo cada vez mais utilizado para construção de edifícios industriais no Brasil, devido às vantagens econômicas e construtivas que pode oferecer. A utilização do sistema construtivo em aço possibilita em sua maioria a concepção de vão maiores, soluções econômicas e versáteis. Nesse importante seguimento, Bellei (2010) retrata que as construções de um único pavimento como os galpões industriais são as mais utilizadas e são constituídos por pórticos planos regularmente espaçados com cobertura na parte superior e fechamento lateral, com a finalidade de atender a diversos fins como depósitos, fábricas, oficinas, hangares, academias, ginásios poliesportivos etc.

Para se chegar ao modelo estrutural otimizado de um edifício industrial, é importante conhecer qual a finalidade da estrutura, especificações de projeto e até mesmo o local onde o mesmo será construído, logo, a análise puramente econômica não é a que vai nortear a concepção da estrutura.

O projeto de um edifício industrial em aço inicia-se projeto arquitetônico onde são delineados o estudo da obra, sua finalidade e sua composição. Na sequência, se faz a análise do projeto arquitetônico, concepção estrutural, análise dos carregamentos e combinações atuantes e finalmente cálculo da estrutura (Dimensionamento).

O objetivo deste trabalho é expor de forma clara e concisa as análises e resultados do dimensionamento de um edifício industrial em aço conforme as prescrições estabelecidas na norma brasileira NBR 8800:2008. O conceito estrutural definido na disciplina projeto de edifícios industriais em aço do curso de Especialização em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço, será a base do presente trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1. Aço

Segundo Fonseca (2005), o Aço é uma liga metálica constituída basicamente por carbono e ferro, com percentagens de carbono variando entre 0,008 e 2,11%. Existe um outro tipo de ligação metálica entre ferro e carbono, que é o ferro fundido, além de apresentar uma diferença na constituição química, onde o teor de carbono entre 2,11% e 6,67%. Existe ainda uma diferença básica entre ambos: o aço, é facilmente deformável por forja, laminação, extrusão devido a sua ductibilidade, enquanto uma peça em ferro fundido é consideravelmente frágil. Com o avanço tecnológico e da indústria, o aço passou a apresentar uma grande vantagem em relação a outros materiais quando aplicados na construção civil.

Segundo Bellei (2006) pode ser citado as principais vantagens do aço como:

- Alta resistência do material nos diversos estados de tensão (tração, compressão, flexão, etc.), o que permite aos elementos estruturais suportarem grandes esforços apesar da área relativamente pequena de suas seções, por isso as estruturas de aço, apesar da sua grande densidade (7850 kg/m^3), são mais leves do que elementos produzidos de concreto armado;
- Os elementos de aço oferecem uma grande margem de segurança no trabalho, o que se deve ao fato de o material ser isotrópico e homogêneo, com limites de escoamento, ruptura e módulo de elasticidade bem definidos e confiáveis devido a seu processo de produção nas siderúrgicas;
- Os elementos de aço são fabricados em oficinas, de preferência seriados, e sua montagem é bem mecanizada, permitindo com isso diminuir o prazo final de construção;
- Possibilidade de reaproveitamento do material que não seja mais necessário à construção.

A classificação dos aços segundo suas propriedades mecânicas é apresentada na Tabela 1 de acordo com o disposto na NBR 7007 (ABNT, 2011).

Tabela 1 Propriedades mecânicas

Aço	Resistência a Tração (MPa)	Limite de Escoamento (MPa)
ASTM A36	400	250
ASTM A572 grau 50	450	345

Neste projeto é utilizado um aço de alta resistência mecânica ASTM A572 grau 50 para os elementos principais do edifício (Colunas e Tesouras), o que implica na redução do peso próprio da estrutura.

2.2. Galpões Industriais em Aço

Existem dois tipos básicos de galpões em pórticos, definidos em função do tipo de estrutura transversal portante: os pórticos de alma cheia, que utilizam os perfis maiores laminados ou soldados como elementos principais da estrutura: e os pórticos treliçados, que empregam perfis menores formando reticulados em treliça para compor os elementos principais da estrutura.

O tipo da estrutura transversal (alma cheia, treliçado, entre outras) associado à distância entre elas (espaçamento entre pórticos), define o conjunto portante do galpão, que deve ser ajustado para obter, não a estrutura de menor peso, mas a estrutura que melhor atende as condições específicas da obra em análise.

Espaçamentos menores favorecem os elementos secundários de cobertura e tapamento, reduzem as cargas em cada pórtico, mas aumentam o número de pórticos e, conseqüentemente, o número de bases e fundações. Espaçamentos maiores aumentam os elementos secundários da cobertura, como as terças, que em muitos casos podem utilizar perfis laminados tipo I com economia e ainda reduzem o número de pórticos e de fundações. As concepções de alma cheia são as mais limpas, com menor número de elementos, têm a fabricação facilitada, sua montagem é mais rápida, a manutenção é mais simples, mas consomem mais aço.

Como consomem muito menos serviços para a sua execução, os custos finais são competitivos e são indicadas para os galpões pequenos e médios. Os galpões de alma cheia formam pórticos rígidos, compostos das colunas e vigas inclinadas, ligados por conexões resistentes a momento. A estrutura em pórtico é estável no seu plano e libera um vão livre sem os obstáculos, como contraventamentos. A inclinação da cobertura influi significativamente no comportamento do pórtico.

As inclinações menores favorecem um telhado mais plano. Ideal para grandes áreas sem calhas, mas reduzem a eficiência do pórtico, exigindo seções maiores para as colunas e vigas. Já as inclinações maiores, favorecem o comportamento dos pórticos, mas podem exigir um maior número de calhas. Como as solicitações máximas ocorrem nas ligações entre as colunas e vigas, podem-se usar mísulas para aumentar as seções nestes pontos, facilitando também o lançamento das ligações. As mísulas são normalmente obtidas do corte em ângulo do próprio perfil usado para as vigas.

As bases podem ser rotuladas, mais convenientes para as fundações, ou engastadas, favorecendo a rigidez e a estabilidade da estrutura. A opção deve ser feita de forma a obter a melhor solução para o conjunto estrutura/fundações

Os galpões com ponte rolante são mais complexos porque exigem apoio para o caminho de rolamento das pontes rolantes, normalmente empregados para instalações industriais pequenas ou grandes. Quase todas as tipologias empregadas nos galpões sem ponte rolante podem ser usadas também para os galpões com ponte rolante.

A carga predominante agora é a da ponte rolante, introduzindo esforços verticais, horizontais e impactos que devem ser resistidos pelos pórticos, mantendo sempre as deformações máximas dentro dos limites para a operação da ponte.

O galpão do presente trabalho utilizará uma segunda coluna, apenas para o apoio das vigas de rolamento tornando o conjunto bastante eficiente, desde que se trave uma coluna na outra formando um conjunto treliçado, dando a rigidez necessária para resistir às cargas horizontais da ponte rolante. A Figura 1 mostra o conceito básico utilizado para o galpão do presente trabalho, este é constituído de colunas inferiores treliçadas para apoio da ponte rolante, colunas superiores e tesouras em perfil de alma cheia.

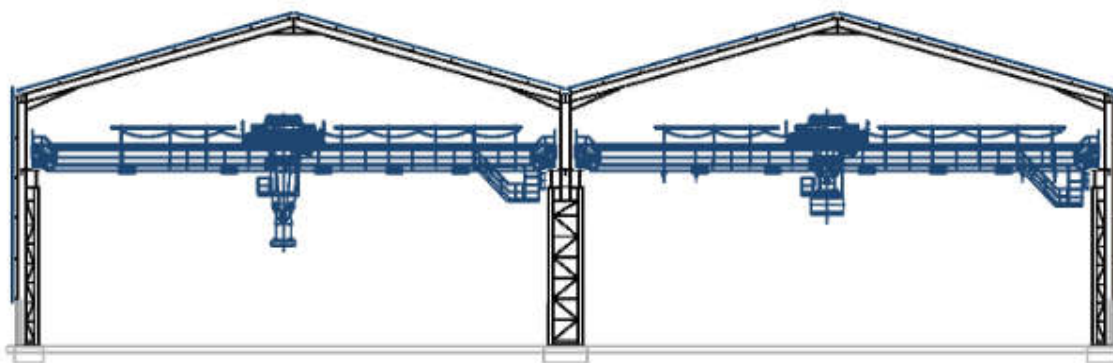


Figura 1 Representação conceitual do pórtico do edifício industrial

3. CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

3.1. Informações Gerais

O edifício será construído em Belo Horizonte sobre terreno plano com grau de rugosidade III. O edifício é composto por dois pórticos (Quatro meia águas) com 16 metros de largura cada, oito eixos espaçados igualmente em 6 metros, perfazendo comprimento total de 42 metros. O galpão é composto por três pilares, dois nas extremidades e um terceiro comum aos dois pórticos, os pilares são formados por colunas treliçadas na parte inferior (apoio da ponte rolante) e colunas em perfil de alma cheia na parte superior (Baioneta), as colunas são travadas longitudinalmente em dois níveis com a finalidade de transmitir as cargas longitudinais da ponte rolante para os pórticos. A cobertura é formada por tesouras inclinadas em perfis de alma cheia travadas lateralmente por meio

de escoras em todo comprimento do galpão, ainda existe contraventamento no início e final da cobertura com o propósito de absorver as cargas devido ao vento frontal. O galpão é contraventado longitudinalmente entre os eixos 4 e 5 em todas as três filas.

A cobertura e as quatro fachadas serão revestidas com telhas metálicas parafusadas nas terças e nas travessas, respectivamente. Existem duas aberturas em cada fachada frontal, com dimensões de 3,5 m (largura) x 5 m (Altura). É prevista a entrada de ar na parte inferior das fachadas laterais (0.5 m de abertura em toda a extensão da fachada) e um lanternim em cada cumeeira, com 0.5 m de altura, para a saída de ar. Existe ainda uma ponte rolante de 12 toneladas em cada ala, operando 20 vezes por dia. A vida útil do edifício é de 50 anos.

3.2. Modelo Estrutural

O sistema estrutural é definido na fase de projeto e deve estar de acordo com as exigências das normas de segurança, ações devidas ao vento e as específicas ações acidentais que atuarão ao longo da vida útil da edificação.

Nas figuras a seguir definem-se o sistema estrutural principal, exceto os lanternins, terças, travessas e seus contraventamentos. As terças ficam na metade da distância entre as escoras e também travam a mesa superior da viga de cobertura (Presas nos cruzamentos das diagonais, que existem entre 1 e 2 e entre 7 e 8). Existem mãos francesas travando a mesa inferior da viga de cobertura nas posições das terças e das escoras.

As figuras abaixo representam o modelo estrutural do galpão, com suas dimensões e principais perfis utilizados:

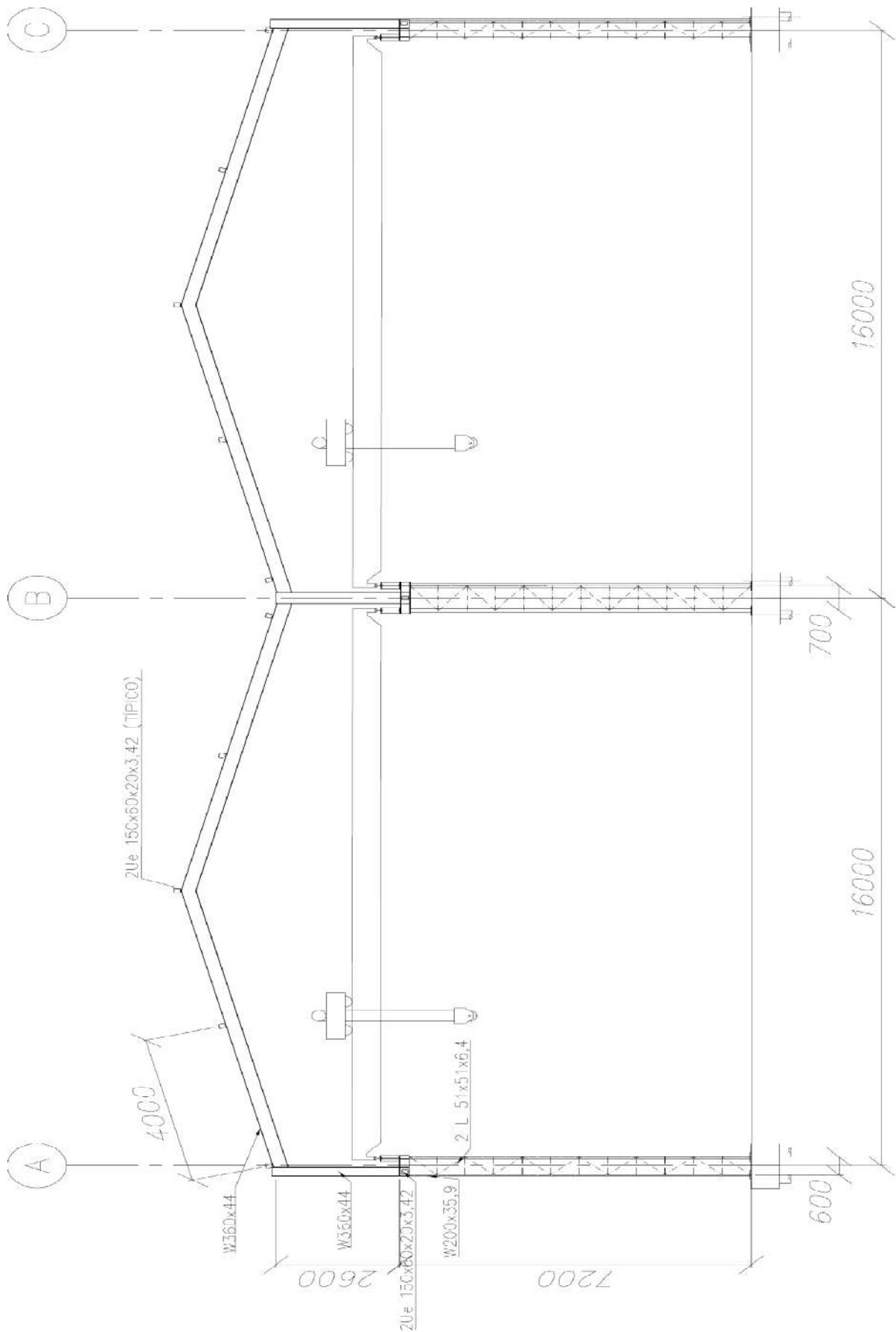


Figura 2 Seção Transversal

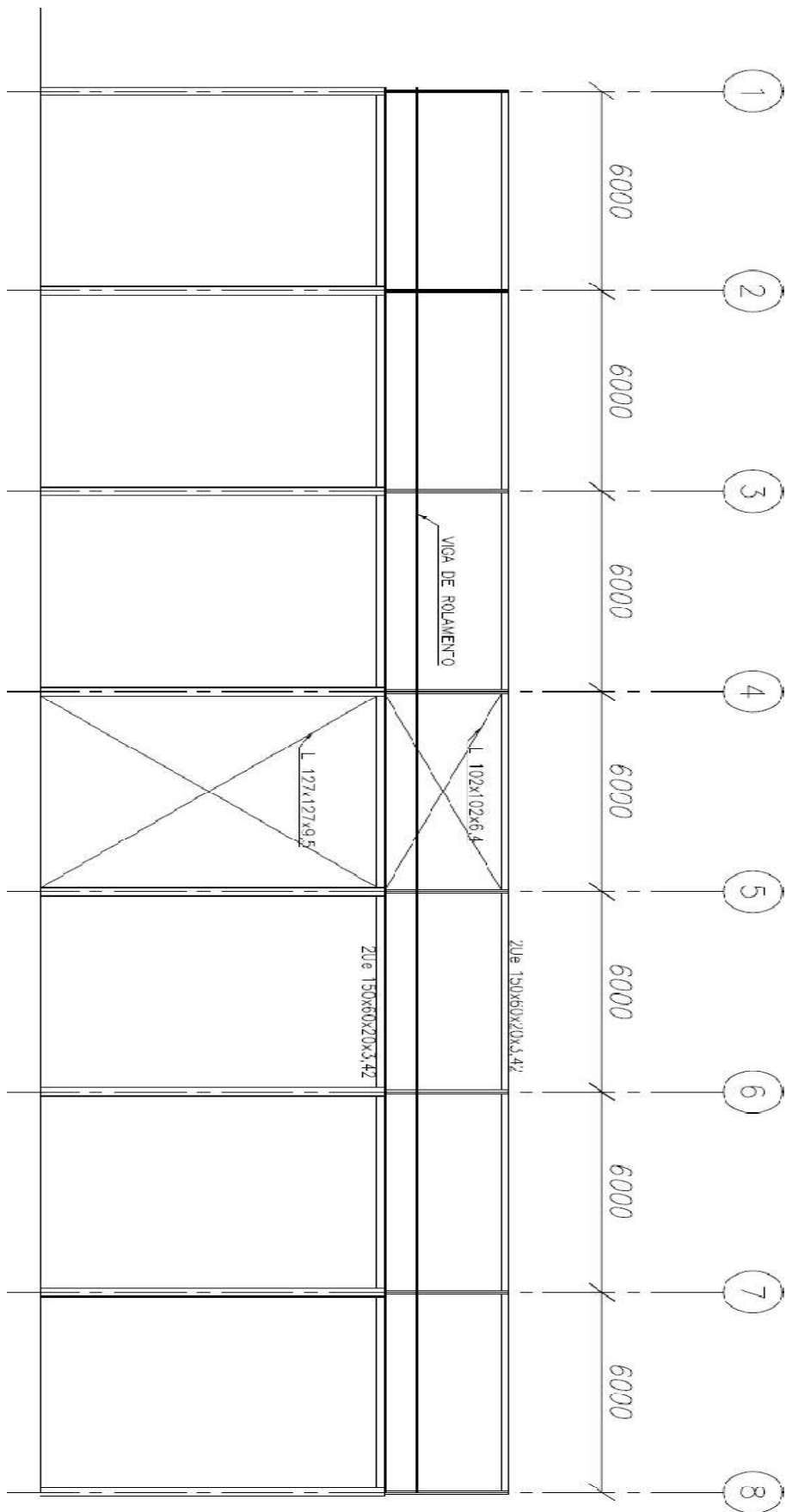


Figura 3 Seção Longitudinal

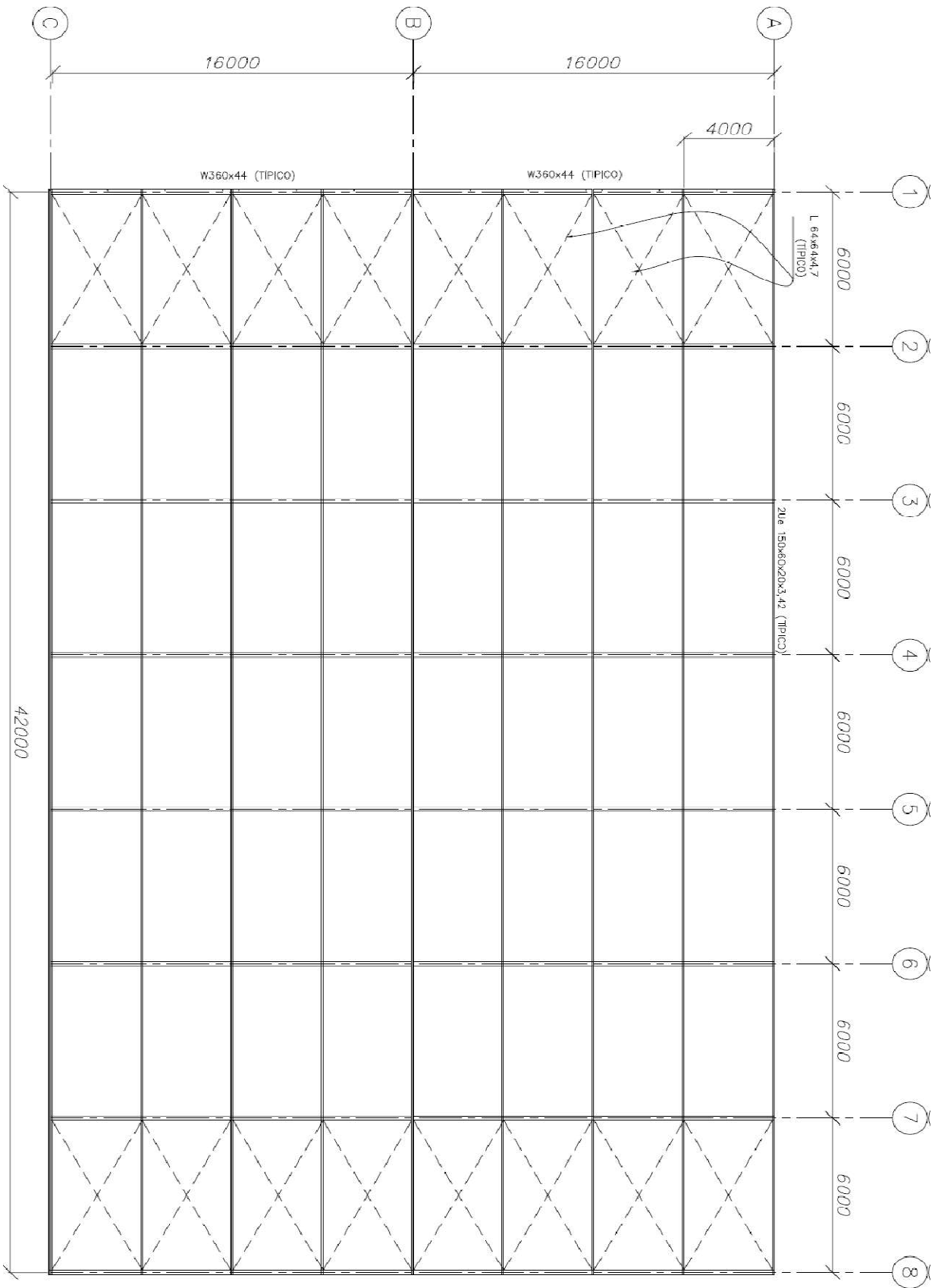


Figura 4 Plano da Cobertura

3.3. Perfis Utilizados

Para dimensionamento do edifício industrial foram considerados os seguintes perfis metálicos:

- Perfil inferior Coluna A e C - 2 x W 200x35.9 espaçados 600 mm e diagonais de cantoneira dupla 51x6.4, propriedades abaixo:

$$A=91.4 \text{ cm}^2$$

$$W_x= 2742 \text{ cm}^3$$

$$r_x=30 \text{ cm}$$

$$I_x=83788 \text{ cm}^4$$

$$r_y=8,67 \text{ cm}$$

$$I_y=6874 \text{ cm}^4$$

Aço ASTM A572 Gr.50

- Perfil inferior Coluna B - 2 x W 200x35.9 espaçados 700 mm e diagonais de cantoneira dupla 51x6.4, propriedades abaixo:

$$A=91.4 \text{ cm}^2$$

$$W_x= 2742 \text{ cm}^3$$

$$r_x=30 \text{ cm}$$

$$I_x=83788 \text{ cm}^4$$

$$r_y=8,67 \text{ cm}$$

$$I_y=6874 \text{ cm}^4$$

Aço ASTM A572 Gr.50

- Tesoura e Perfil Superior (Baioneta) Colunas A , B e C - W 360x44, propriedades abaixo:

$$A=57.7 \text{ cm}^2$$

$$W_x=697 \text{ cm}^3$$

$$r_x=14.6 \text{ cm}$$

$$I_x=12258 \text{ cm}^4$$

$$W_y=95.7 \text{ cm}^3$$

$$r_y=3,77 \text{ cm}$$

$$I_y=818 \text{ cm}^4$$

Aço ASTM A572 Gr.50

- Diagonais das colunas inferiores - Cantoneira dupla 51 x 6,4, propriedades abaixo

$$A=6.05 \text{ cm}^2$$

$$r_x=1.55 \text{ cm}$$

$$I_x=14,5 \text{ cm}^4$$

$$W_y=$$

Aço ASTM A36

4. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

O dimensionamento da estrutura foi feito com ajuda do software de cálculo STRAP 2013, o programa já calcula a estrutura conforme as prescrições da norma Brasileira NBR 8800:2008, porém, as colunas inferiores foram dimensionadas manualmente devido problemas que o software apresenta no reconhecimento das propriedades dos perfis duplo "I", neste caso foram aproveitados apenas os valores dos esforços atuantes (Normal, momento e cortante) decorrentes da combinação crítica dos carregamentos.

4.1. Modelo Computacional

Para que o programa calcule corretamente a estrutura, o operador deve gerar um modelo computacional que represente de maneira mais fiel possível a estrutura a ser dimensionada. Neste caso, especialmente, deve-se levar em consideração os pontos corretos de entrada dos carregamentos na estrutura, distâncias entre o centro dos perfis, vinculação entre as barras, etc.

Abaixo o modelo computacional que mais se aproxima do modelo estrutural apresentado no item 3.2:

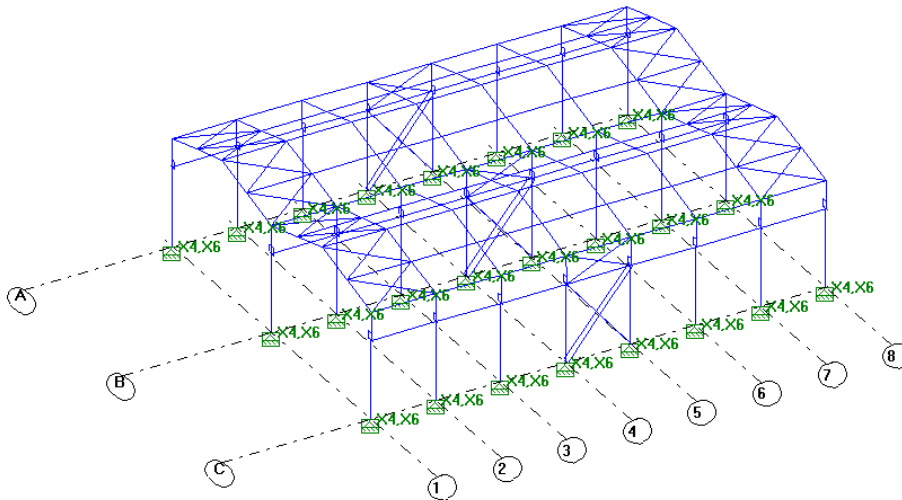


Figura 5 Modelo Computacional - Isometrico

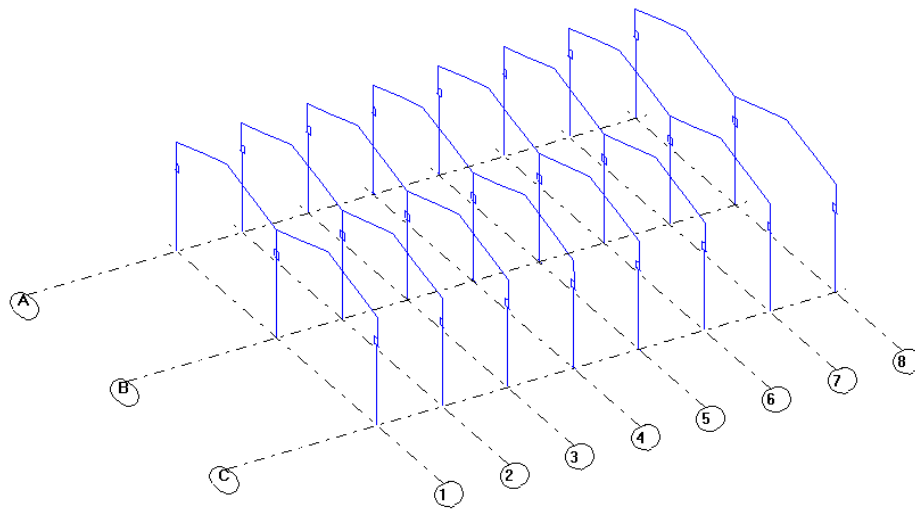


Figura 6 Modelo Computacional - Eixos

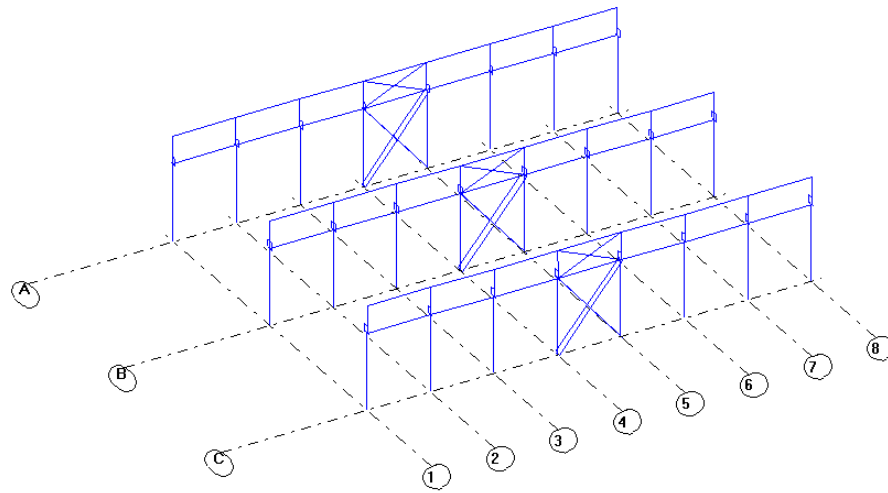


Figura 7 Modelo Computacional - Filas

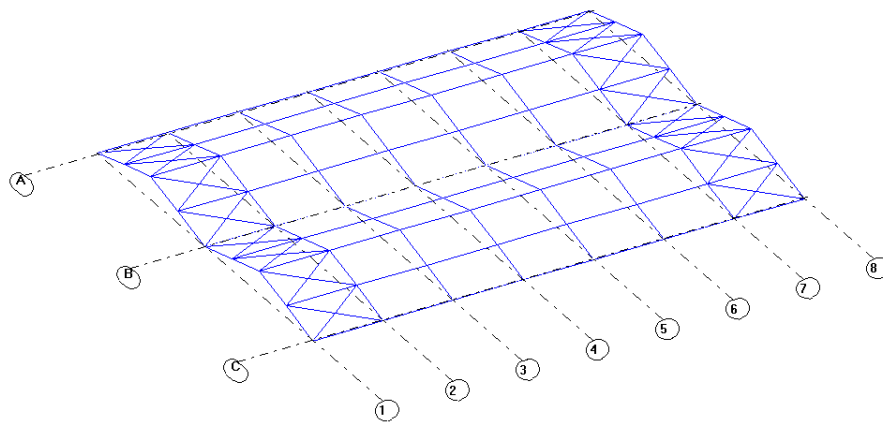


Figura 8 Modelo Computacional - Cobertura

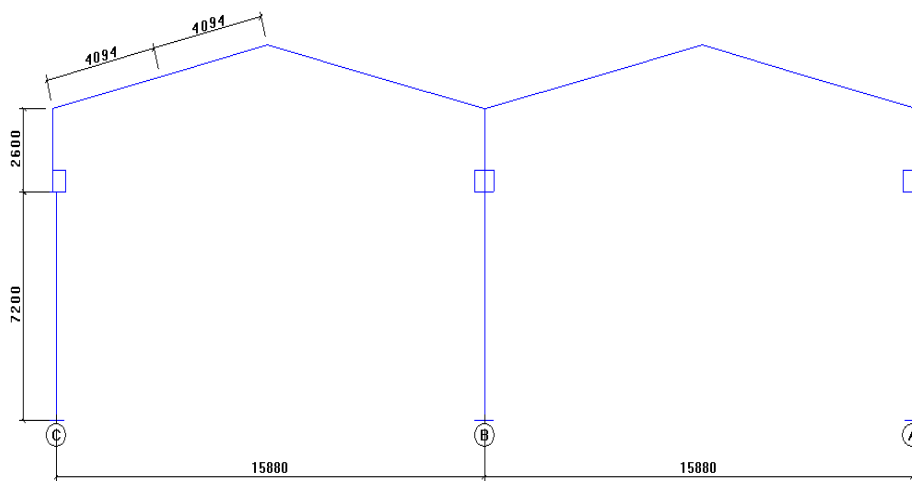


Figura 9 Modelo Computacional - Elevação Eixos

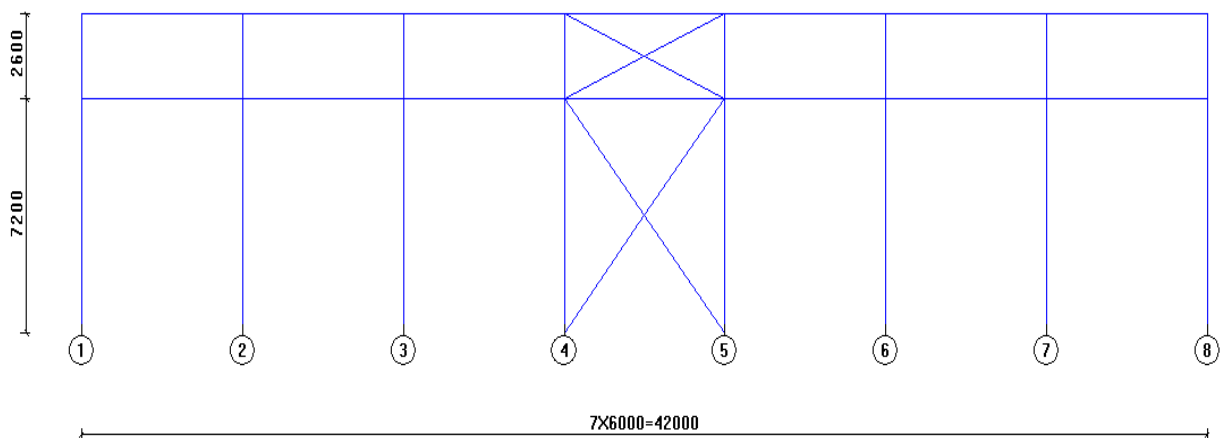


Figura 10 Modelo Computacional - Elevação Filas

4.2. Carregamentos

4.2.1. Peso Próprio

Peso próprio dos elementos da estrutura é gerado automaticamente pelo programa. Adicionalmente ao peso dos elementos estruturais, foram acrescentadas as seguintes cargas:

- Peso das telhas de cobertura mais terças e travamentos - $0,16 \text{ kN/m}^2$
- Peso das telhas de fechamento lateral mais travessas e travamentos - $0,15 \text{ kN/m}^2$
- Peso dos lanternins (Incluindo sua cobertura e travamentos) - $0,27 \text{ kN/m}^2$
- Peso próprio da viga de rolamento mais trilho (TR 52) - $2,2 \text{ kN/m}$

4.2.2. Sobrecarga

Sobrecarga de cobertura (desprezada água nas calhas), aplicada como carga global na direção perpendicular ao piso - $0,25 \text{ kN/m}^2$

A carga global é distribuída na área de atuação e, neste caso, aplicada sobre as tesouras da cobertura.

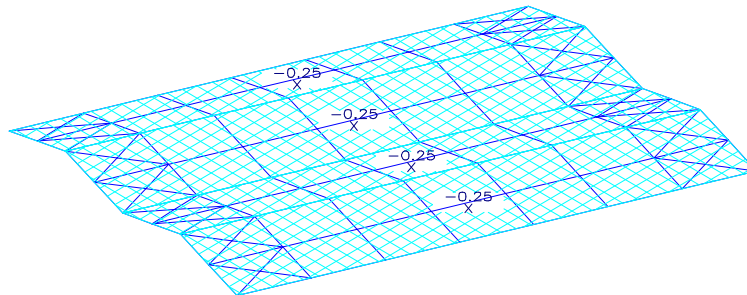


Figura 11 Sobrecarga Cobertura

4.2.3. Vento

Os efeitos do vento no edifício foram calculados com base na norma brasileira NBR 6123, conforme procedimento mostrado a seguir.

Velocidade básica em Belo Horizonte V_0 :

$V_0=32 \text{ m/s}$ (Figura 1 - Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s))

Fator topográfico S_1 :

$S_1=1$ (Figura 2 - Fator topográfico S_1 (z))

Fator Rugosidade S_2 :

Para definir o fator de rugosidade S_2 , é necessário definir a categoria de rugosidade do terreno e, a classe da edificação.

Categoria do terreno III - Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3m.

Classe da edificação B - Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m.

Com a categoria e classe da edificação, podemos consultar a tabela 2 da NBR 6123 e encontrar os valores de S_2 para as laterais ($Z=10$) e cobertura ($Z=15$).

$S_2=0,92$ nas paredes laterais

$S_2=0,96$ na cobertura e Lanternim

Fator Estatístico S_3 :

Grupo II - Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação

$S_3=1$ (Tabela 3 - Valores mínimos do fator estatístico S_3)

Velocidade característica do vento V_k :

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

$$V_k = 29,4 \text{ para as paredes laterais}$$

$$V_k = 30,7 \text{ para a cobertura}$$

Pressão dinâmica do vento q :

Substituindo os valores acima na equação abaixo, temos a pressão do vento nas laterais e cobertura:

$$q = 0,613 \cdot V_k^2$$

$$q = 0,531 \text{ kN/m}^2 \text{ para as paredes laterais}$$

$$q = 0,578 \text{ kN/m}^2 \text{ para a cobertura}$$

Finalmente, por meio de tabelas e figuras da NBR 6123, encontramos os coeficientes pressão externa (C_e) e coeficiente de pressão interna (C_{pi}).

Coeficiente de pressão externo C_e :

Com as relações entre as dimensões do edifício a/b e h/b e ajuda da tabela 4 da NBR 6123, obtêm-se os coeficientes de pressão externa para as paredes:

a: Comprimento do edifício

b: Largura do edifício


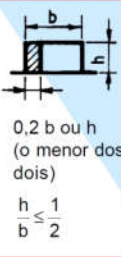
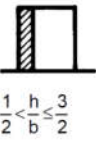
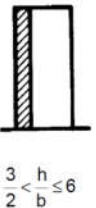
h: Altura medida no ponto mais alto da tesoura da cobertura do edifício

$$a/b = \frac{43}{33} = 1,3$$

$$h/b = \frac{11}{33} = 0,33$$

Da tabela 4 da NBR 6123, obtêm-se os coeficientes externos C_e para as laterais:

Tabela 4 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para paredes de edificações de planta retangular

Altura relativa	Valores de C_e para								C_{pe} médio 
	$\alpha = 0^\circ$				$\alpha = 90^\circ$				
	A_1 e B_1	A_2 e B_2	C	D	A	B	C_1 e D_1	C_2 e D_2	
 $1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$ $0,2b$ ou h (o menor dos dois) $\frac{h}{b} \leq \frac{1}{2}$	-0,8	-0,5	+0,7	-0,4	+0,7	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,8	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,0
 $1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$ $\frac{1}{2} < \frac{h}{b} \leq \frac{3}{2}$	-0,9	-0,5	+0,7	-0,5	+0,7	-0,5	-0,9	-0,5	-1,1
$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-0,9	-0,4	+0,7	-0,3	+0,7	-0,6	-0,9	-0,5	-1,1
 $1 \leq \frac{a}{b} \leq \frac{3}{2}$ $\frac{3}{2} < \frac{h}{b} \leq 6$	-1,0	-0,6	+0,8	-0,6	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2
$2 \leq \frac{a}{b} \leq 4$	-1,0	-0,5	+0,8	-0,3	+0,8	-0,6	-1,0	-0,6	-1,2

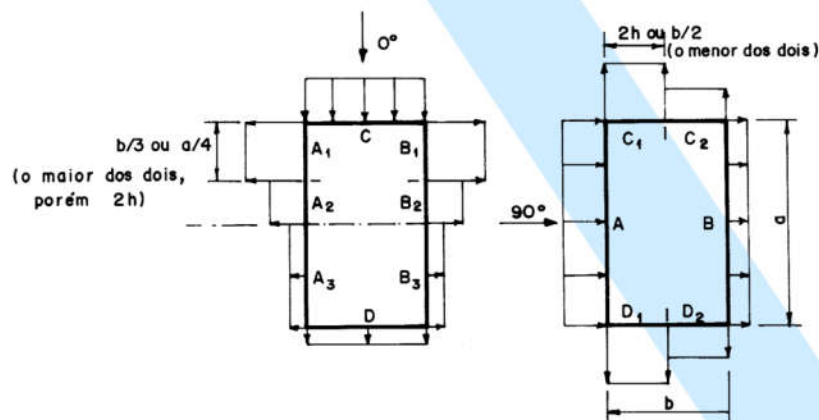
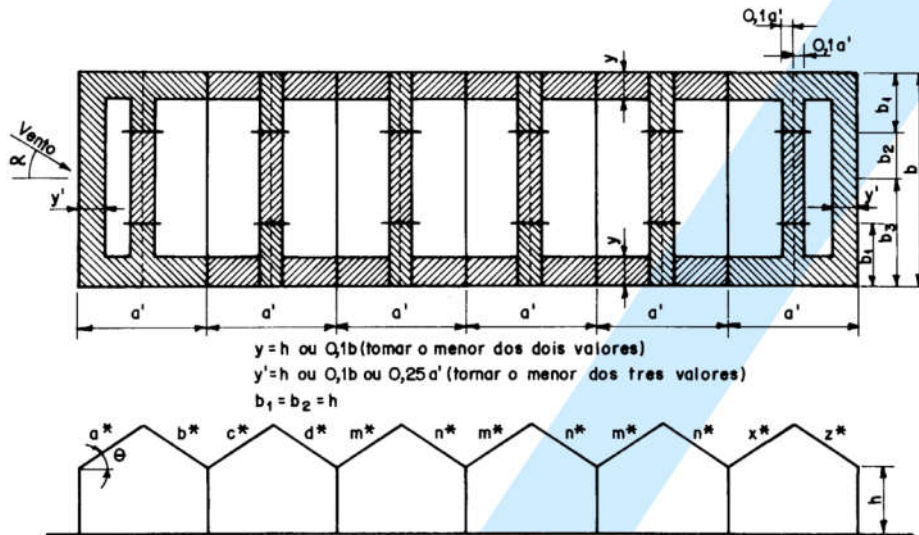


Figura 12 Tabela 4 da NBR 6123

- Vento na direção X e Y : $C_e=0,7$ (Barlavento); $-0,4$ (Sotavento) e $-0,8$ (paredes paralelas ao vento)

Da tabela 7 da NBR 6123, obtêm-se os coeficientes externos C_e para a cobertura:

Tabela 7 - Coeficientes de pressão e de forma, externos, para telhados múltiplos, simétricos, de tramos iguais, com $h \leq a'$



Inclinação do telhado θ	Ângulo de incidência do vento α	C_e								c_{pe} médio	
		Primeiro tramo		Primeiro tramo intermediário		Demais tramos intermediários		Último tramo			
		a^*	b^*	c^*	d^*	m^*	n^*	x^*	z^*		
5°	0°	-0,9	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-2,0	-1,5
10°		-1,1	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4		
20°		-0,7	-0,6	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,5		
30°		-0,2	-0,6	-0,4	-0,3	-0,2	-0,3	-0,2	-0,5		
45°		+0,3	-0,6	-0,4	-0,4	-0,2	-0,4	-0,2	-0,5		

Inclinação do telhado θ	Ângulo de incidência do vento α	C_e na distância		
		b_1	b_2	b_3
< 45°	90°	-0,8	-0,6	-0,2

Figura 13 Tabela 7 da NBR 6123

A inclinação da cobertura é aproximadamente 14°, através de interpolações chegamos ao coeficiente de pressão externa para a cobertura:

- Vento na direção X: $C_e = -0,8$
- Vento na direção Y: $C_e = -0,9$; $-0,6$; $-0,4$ e $-0,44$ (Este último na região mais próxima a parede de barlavento z^*)

Coefficiente de pressão interno C_{pi} :

Para pressão interna foram consideradas as quatro faces igualmente permeáveis, conforme item 6.2.5, subitem b.

- $C_{pi} = -0,3$ e 0 . Será usado a mais nociva a estrutura, no caso, $C_{pi} = 0$

Nas figuras abaixo são mostradas as forças devido ao vento nas as quatro direções (+X,-X,+Y e -Y).

As forças em vermelho são as forças nodais transmitidas pelos pilaretes do fechamento frontal até a tesoura da cobertura e consequentemente para as escoras, estas na direção X nos pórticos 1 e 8.

Já as forças nodais na direção Y, são geradas pela cumieira em todos os pórticos.

Foi desprezado o vento na fachada frontal do lanternim.

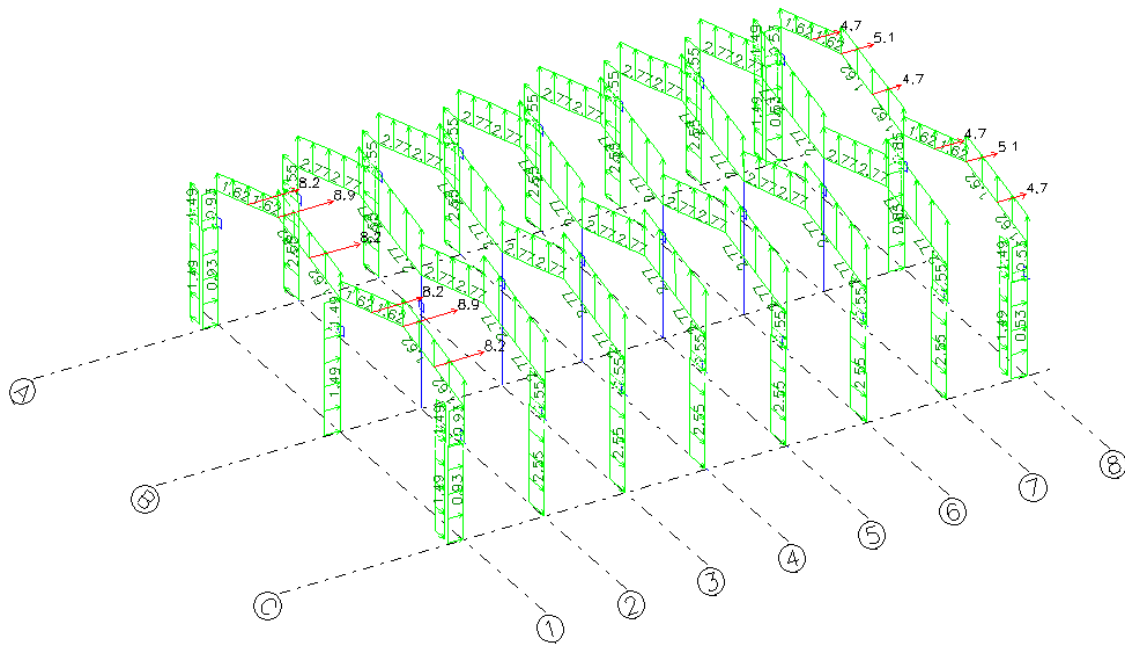


Figura 14 Vento na Direção +X

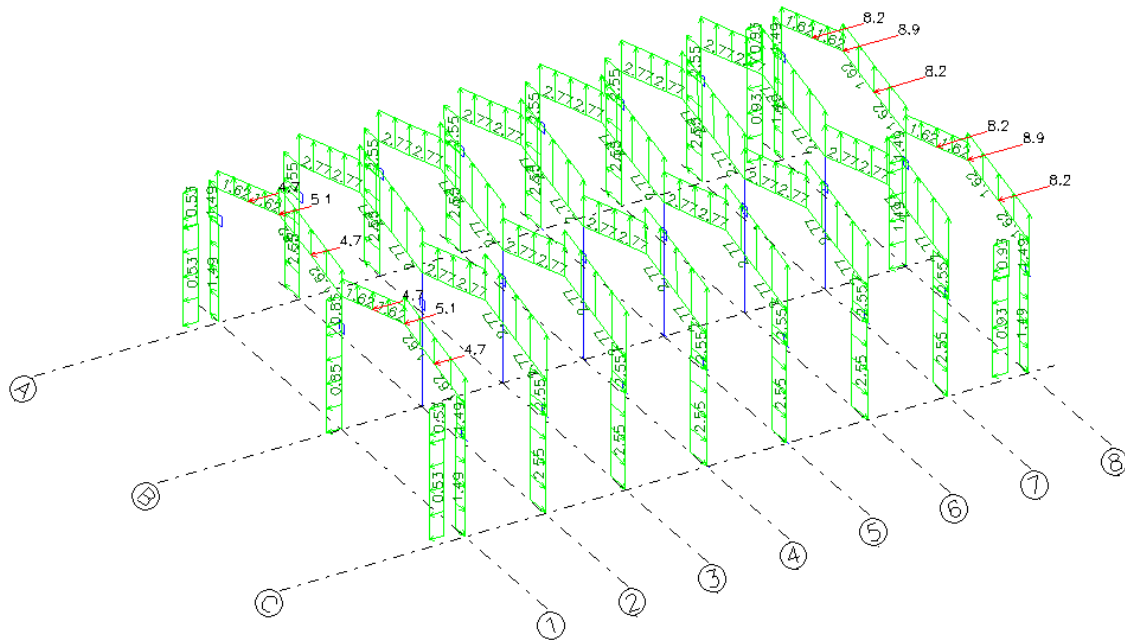


Figura 15 Vento na Direção -X

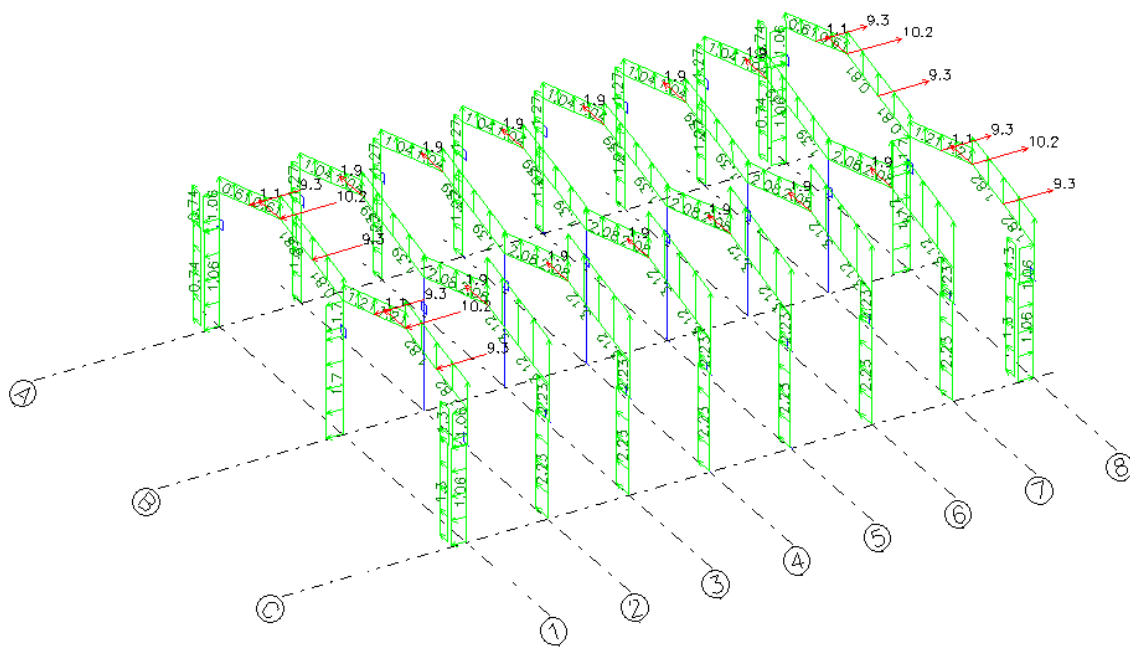


Figura 16 Vento na Direção +Y

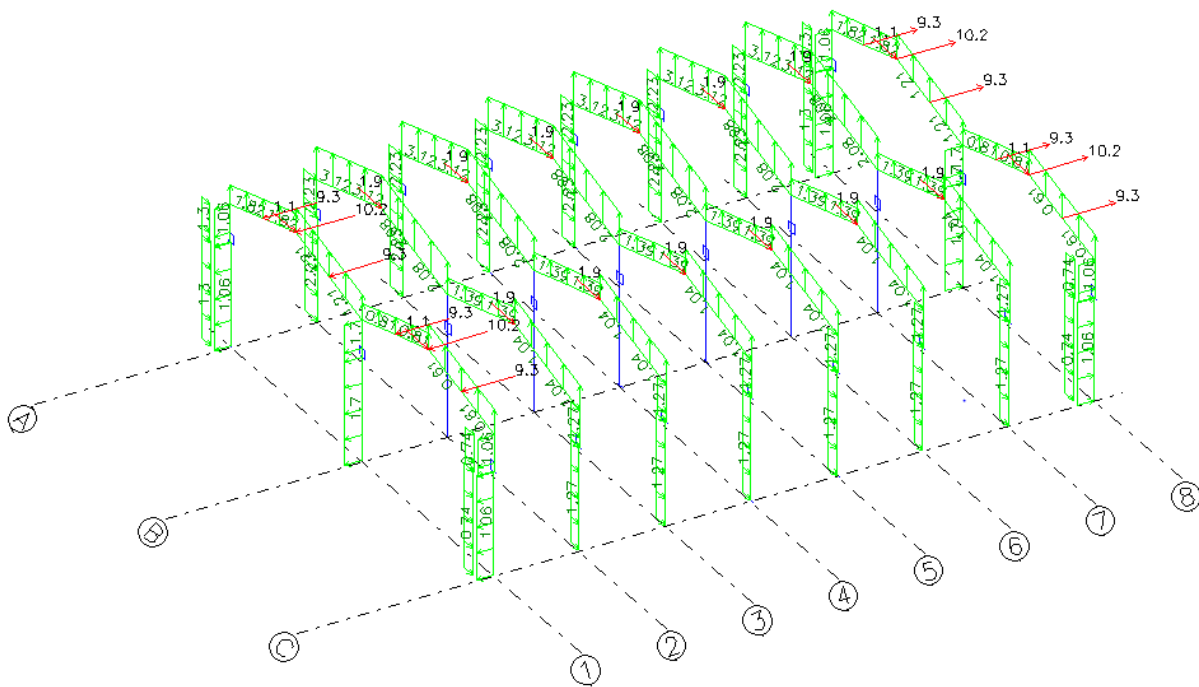


Figura 17 Vento na Direção -Y

4.2.4. Cargas devido a Ponte Rolante

No edifício industrial existem duas pontes rolantes com capacidade de 12 toneladas cada uma, o trem tipo da ponte rolante é mostrado na figura abaixo.

$$P_{m\acute{a}x} = 110 \text{ kN por roda}$$

$$P_{m\acute{i}n} = 40 \text{ kN por roda}$$

$$P_{transversal} = 12 \text{ kN por roda}$$

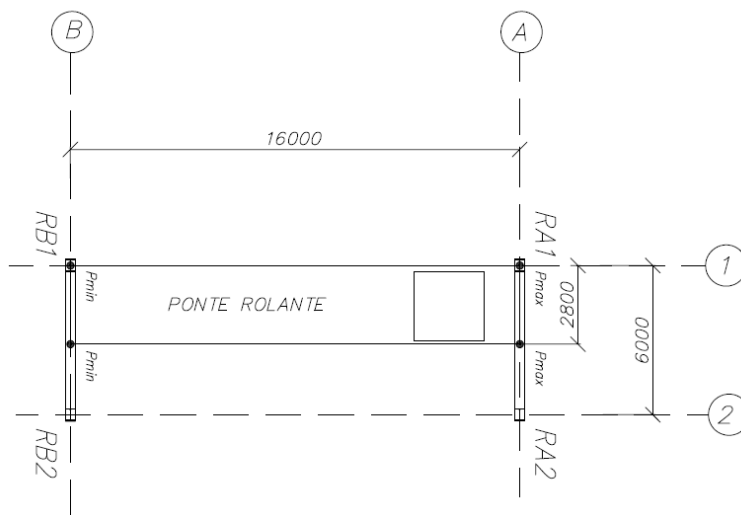


Figura 18 Trem Tipo Ponte Rolante

Considerando o trolley a direita e sobre o eixo 1, temos as seguintes reações nos pilares com e sem impacto.

Cargas Verticais máximas e mínimas

$$R_{A,1} = 110 \cdot (1 + 3,2/6)$$

$$R_{A,1} = 169 \text{ kN}$$

$$R_{A,1} = 211 \text{ kN c/ Impacto}$$

$$R_{A,2} = 220 - 169$$

$$R_{A,2} = 51 \text{ kN}$$

$$R_{A,2} = 64 \text{ kN c/ Impacto}$$

$$R_{B,1} = 40 \cdot (1 + 3,2/6)$$

$$R_{B,1} = 61,5 \text{ kN}$$

$$R_{B,1} = 76,9 \text{ kN c/ Impacto}$$

$$R_{B,2} = 80 - 61,5$$

$$R_{B,2} = 18,5 \text{ kN}$$

$$R_{B,2} = 23,1 \text{ kN c/ Impacto}$$

Cargas Transversais máximas e mínimas

$$R_{A,1} = 169 \cdot (12/110)$$

$$R_{A,1} = 18,4 \text{ kN}$$

$$R_{A,2} = 169 \cdot (12/110)$$

$$R_{A,2} = 18,4 \text{ kN}$$

$$R_{B,1} = (24 - 18,4)$$

$$R_{B,1} = 5,6 \text{ kN}$$

$$R_{B,2} = (24 - 18,4)$$

$$R_{B,2} = 5,6 \text{ kN}$$

Para o cálculo da estrutura, fizemos as seguintes considerações:

- Consideramos a ponte sobre um pórtico extremo (Eixo 1) e sobre um pórtico interno (Eixo 4)
- Ações verticais atuam sobre a base da vida de rolamento (Aba inferior) devendo ser considerada a excentricidade do trilho sobre a viga;
- As ações transversais e longitudinais atuam no topo da viga de rolamento (Aba superior).
- Apenas a ponte na ala AB com carga transversal e impacto

Dessa forma, foram gerados 6 tipos de carregamentos possíveis considerando as duas pontes rolantes, conforme mostrado nas figuras abaixo:

- Caso 1: Ponte rolante na ala AB, Trolley a esquerda, cargas transversais (+) e verticais com impacto
- Caso 2: Ponte rolante na ala AB, Trolley a esquerda, cargas transversais (-) e verticais com impacto

- Caso 3 : Ponte rolante na ala AB, Trolley a Direita, cargas transversais (+) e verticais com impacto
- Caso 4: Ponte rolante na ala AB, Trolley a Direita, cargas transversais (-) e verticais com impacto
- Caso 5: Ponte rolante na ala AB e BC, Trolley a esquerda, cargas transversais (+) e verticais com impacto apenas ala AB
- Caso 6: Ponte rolante na ala AB e BC, Trolley a esquerda, cargas transversais (-) e verticais com impacto apenas ala AB

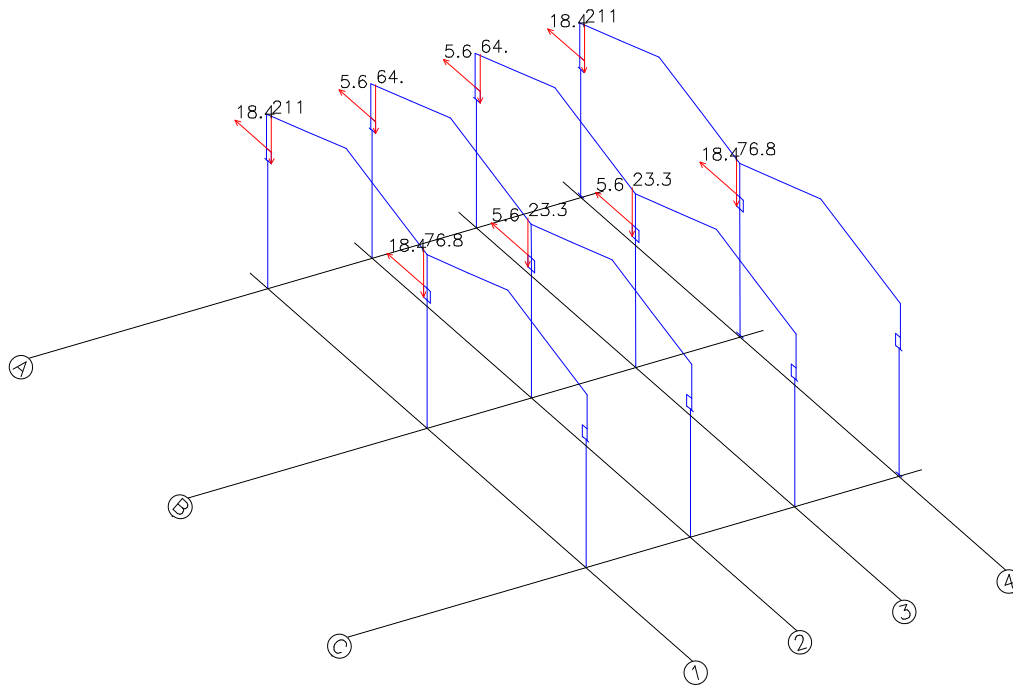


Figura 19 Ponte Rolante - Caso 1

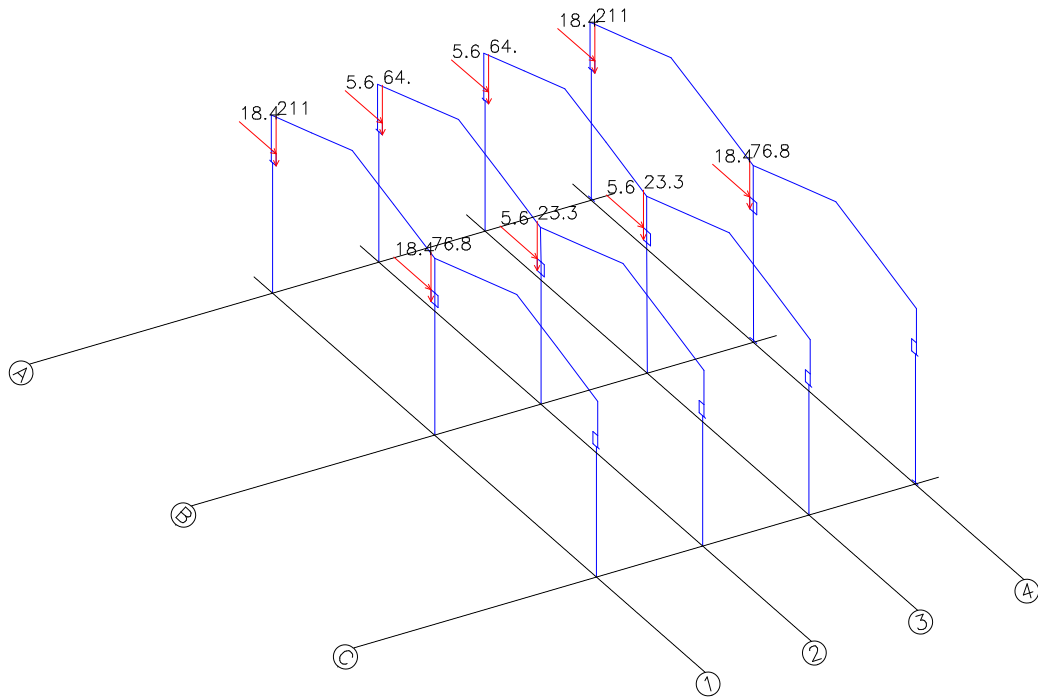


Figura 20 Ponte Rolante - Caso 2

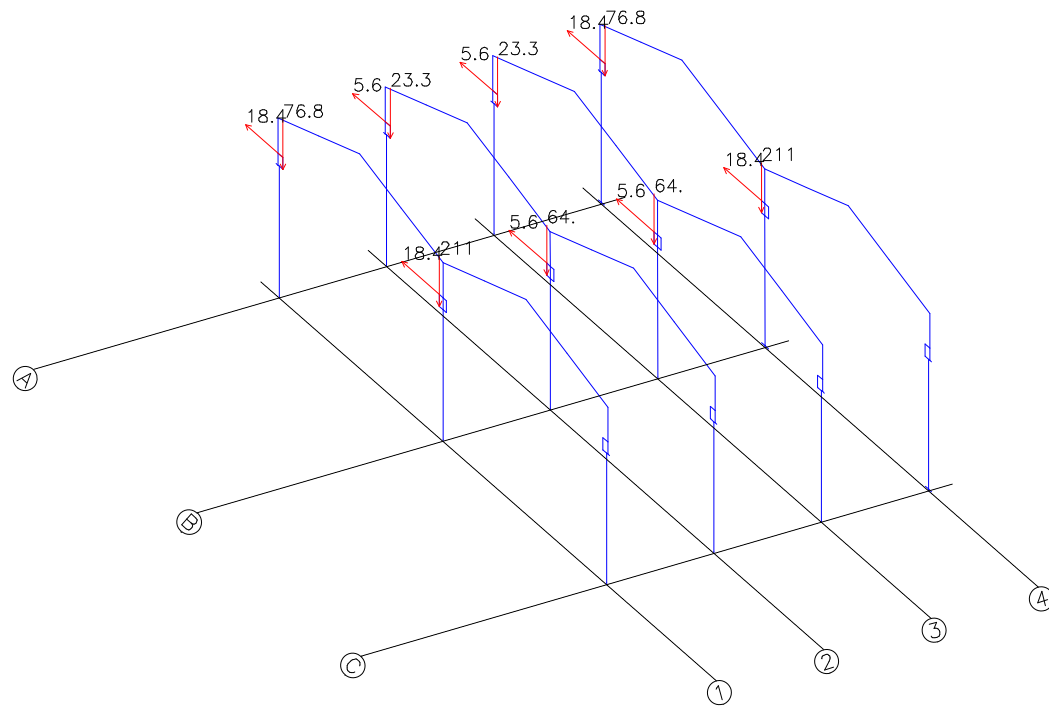


Figura 21 Ponte Rolante - Caso 3

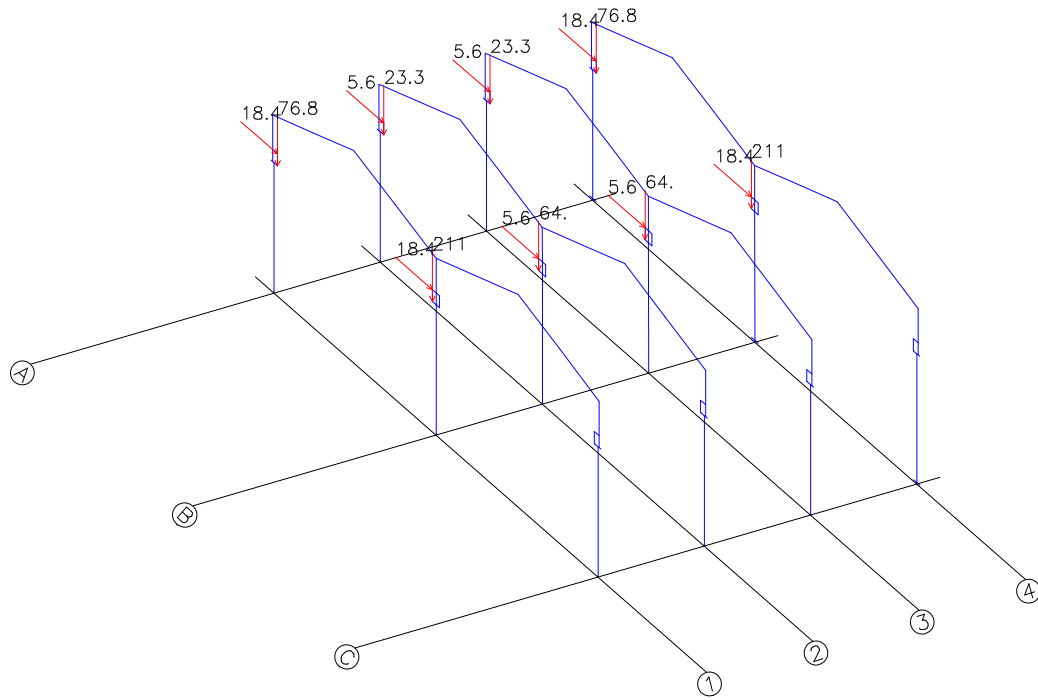


Figura 22 Ponte Rolante - Caso 4

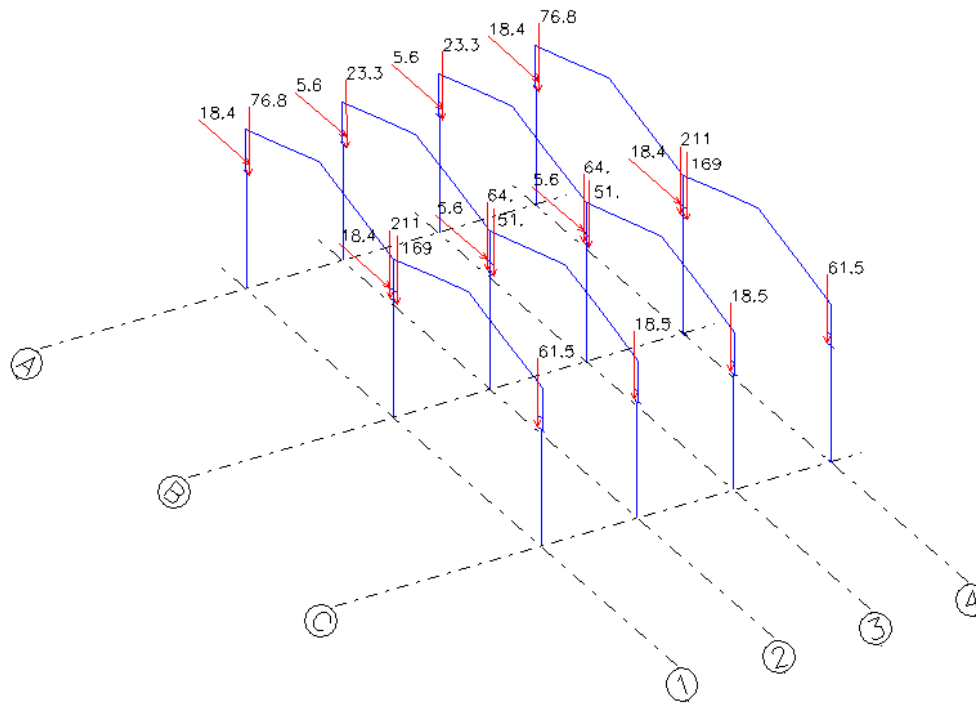


Figura 23 Ponte Rolante - Caso 5

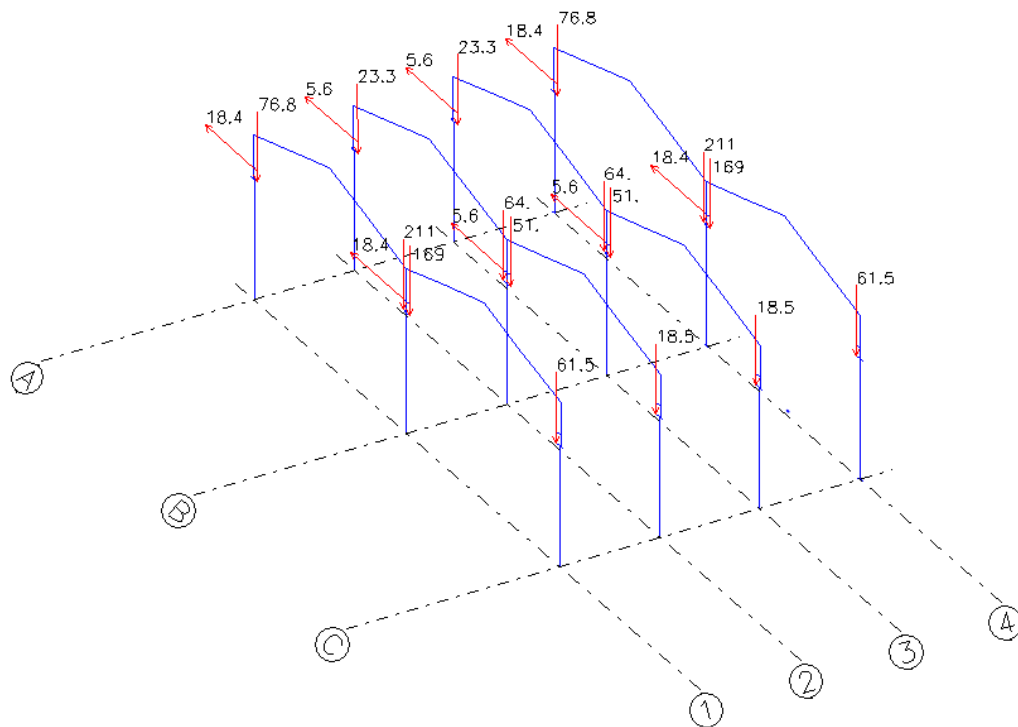


Figura 24 Ponte Rolante - Caso 6

Ação longitudinal máxima por viga de rolamento é igual a 10% da carga vertical máxima total, aplicada no topo das vigas de rolamento (Aba Superior) dos pilares A₁ e B₁ esquerda, conforme mostrado nas figuras abaixo:

$$P_{Longitudinal} = +22 \text{ kN por viga de rolamento}$$

$$P_{Longitudinal} = -22 \text{ kN por viga de rolamento}$$

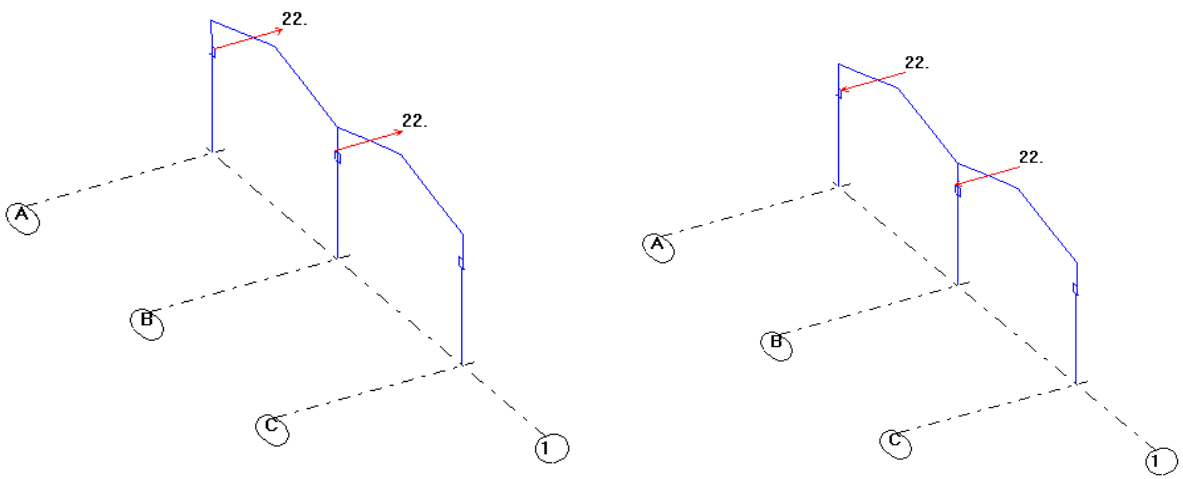


Figura 25 Ponte Rolante - Carga Longitudinal Casos 1 e 2

4.3. Combinações

Para facilitar a criação das combinações, os carregamentos foram divididos em grupos, conforme mostrado a seguir:

- G1: Cargas permanentes;
- G2: Sobrecargas;
- G3: forças devido ao vento;
- G4: Carga Longitudinal da ponte rolante;
- G5: Cargas verticais e transversais da ponte rolante.

Para reduzir o número de combinações, foram feitas algumas considerações, algumas delas já mencionadas anteriormente, são elas:

- Foi considerado apenas $C_{pi} = 0$;
- Apenas a ponte rolante da ala AB com carga transversal e impacto;
- O grupo G4 deve sempre entrar com coeficiente de majoração igual a 1,05, com vento longitudinal de mesmo sentido ($\pm X$) ou transversal ($\pm Y$).
- Nas combinações com vento, a carga permanente será considerada nominal, pois esta é contrária a carga de vento na cobertura que é sempre de sucção;
- O grupo G3 não entra nas combinações com grupo G2;

Tomando como base as premissas mencionadas acima e as prescrições contidas no item 4.7 da NBR 8800, foram geradas as seguintes combinações para os estados limites últimos (ELU) e de Serviço (ELS):

Tabela 2 Combinações ELU e ELS

Carregamento	ELU		ELS	
	Fator	N ° Comb	Fator	N ° Comb
G1 (PP)	1	6	1	6
G3 (VENTO +X)	1,4		0,3	
G4 CASO1	1,05		0,4	
G5 CASO1@6	1,05		0,4	
G1 (PP)	1	6	1	6
G3 (VENTO -X)	1,4		0,3	
G4 CASO2	1,05		0,4	
G5 CASO1@6	1,05		0,4	
G1 (PP)	1	6	1	6
G3 (VENTO +Y)	1,4		0,3	
G4 CASO1	1,05		0,4	
G5 CASO1@6	1,05		0,4	
G1 (PP)	1	6	1	6
G3 (VENTO -Y)	1,4		0,3	
G4 CASO1	1,05		0,4	
G5 CASO1@6	1,05		0,4	
G1 (PP)	1	6	1	6
G3 (VENTO +X)	0,84		0	
G4 CASO1	1,05		0,4	
G5 CASO1@6	1,5		0,6	
G1 (PP)	1	6	1	6
G3 (VENTO -X)	0,84		0	
G4 CASO2	1,05		0,6	
G5 CASO1@6	1,5		0,4	
G1 (PP)	1	6	1	6
G3 (VENTO +Y)	0,84		0,7	
G4 CASO1	1,05		0,4	
G5 CASO1@6	1,5		0,6	
G1 (PP)	1	6		
G3 (VENTO -Y)	0,84			
G4 CASO1	1,05			
G5 CASO1@6	1,5			
G1 (PP)	1,4	6		
G2 (SC COBERTURA)	1,5			
G4 CASO1	1,05			
G5 CASO1@6	1,05			
G1 (PP)	1,4	6		
G2 (SC COBERTURA)	1,05			
G4 CASO1	1,05			
G5 CASO1@6	1,05			
Total		60		42

5. RESULTADOS

Para a obtenção dos esforços solicitantes, foi utilizado o programa de computador STRAP 2013,. Através deste, obtivemos os diagramas de momento fletor, força cortante e força normal, conforme figuras abaixo. Além disso, foram obtidos também os valores dos deslocamentos da edificação.

Por se tratar de uma estrutura simétrica, serão mostrados os esforços solicitantes apenas no pórtico do eixo 4, por se tratar do pórtico mais solicitado.

Os gráficos a seguir são das envoltórias das combinações utilizadas na verificação dos elementos.

5.1. Esforços solicitantes

Os valores para força normal e momento apresentados nos gráficos abaixo, se referem a combinação (ELU) onde conjugado destes 2 esforços, resulta no efeito mais desfavorável para o dimensionamento da peça. Já o valor máximo do cortante não necessariamente ocorrerá na mesma combinação do conjugado normal/momento.

5.1.1. Pilar inferior A, B, C

Força Axial

Pilar A - $N = 356$ kN (Combinação 31)

Pilar B - $N = 644$ kN (Combinação 36)

Pilar C - $N = 145$ kN (Combinação 53)

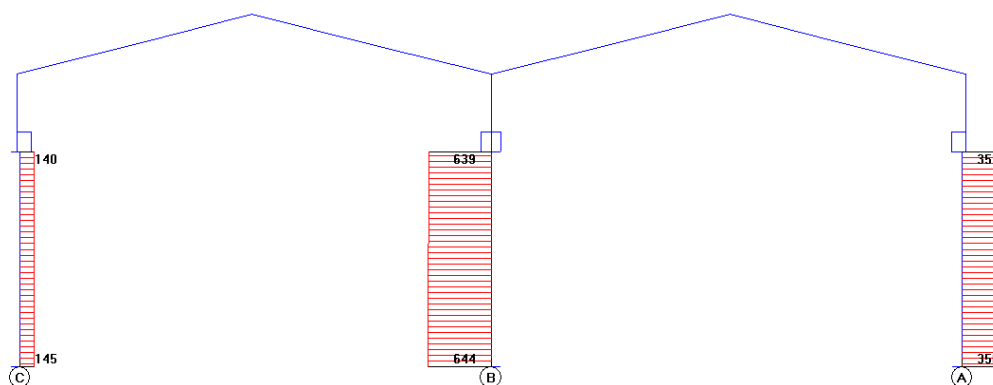


Figura 26 Gráfico esforço axial para pilares inferiores

Momento Fletor

Pilar A - $M = 17900 \text{ kN.cm}$ (Combinação 31)

Pilar B - $M = 17950 \text{ kN.cm}$ (Combinação 36)

Pilar C - $M = 21215 \text{ kN.cm}$ (Combinação 53)

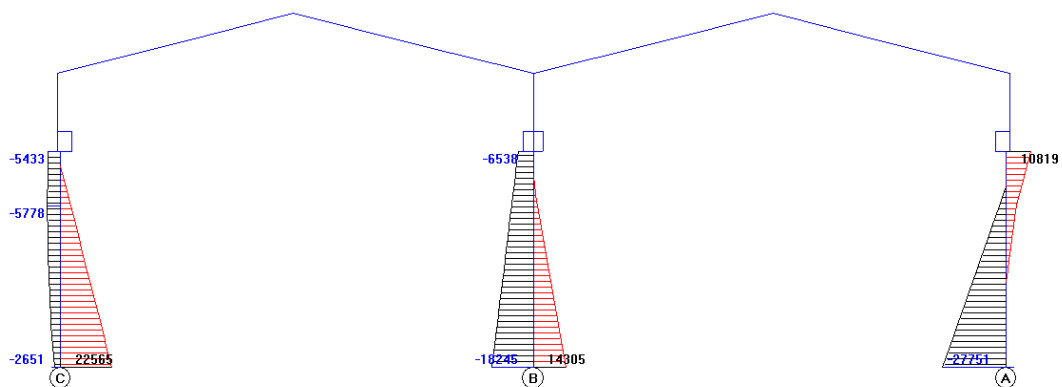


Figura 27 Gráfico Momento Fletor para pilares inferiores

Cortante

Pilar A - $V = 48.8 \text{ kN}$ (Combinação 37)

Pilar B - $V = 34 \text{ kN}$ (Combinação 46)

Pilar C - $V = 38 \text{ kN}$ (Combinação 15)

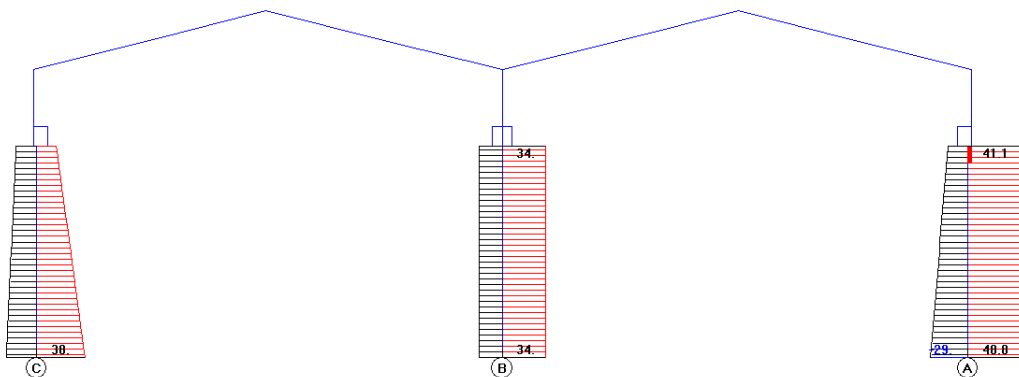


Figura 28 Gráfico Cortante para pilares inferiores

5.1.2. Pilar Superior A, B, C

Força Axial

Pilar A - $N = 48 \text{ kN}$ (Combinação 51)

Pilar B - $N = 22 \text{ kN}$ (Combinação 45)

Pilar C - $N = 33.5 \text{ kN}$ (Combinação 50)

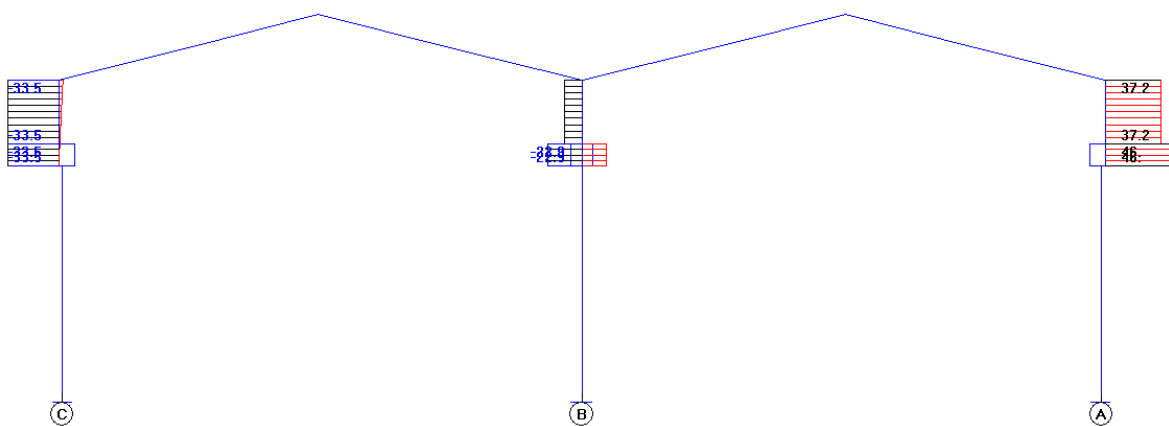


Figura 29 Gráfico esforço axial para pilares Superiores

Momento Fletor

Pilar A - $M = 9297 \text{ kN.cm}$ (Combinação 51)

Pilar B - $M = 5632 \text{ kN.cm}$ (Combinação 45)

Pilar C - $M = 9291 \text{ kN.cm}$ (Combinação 50)

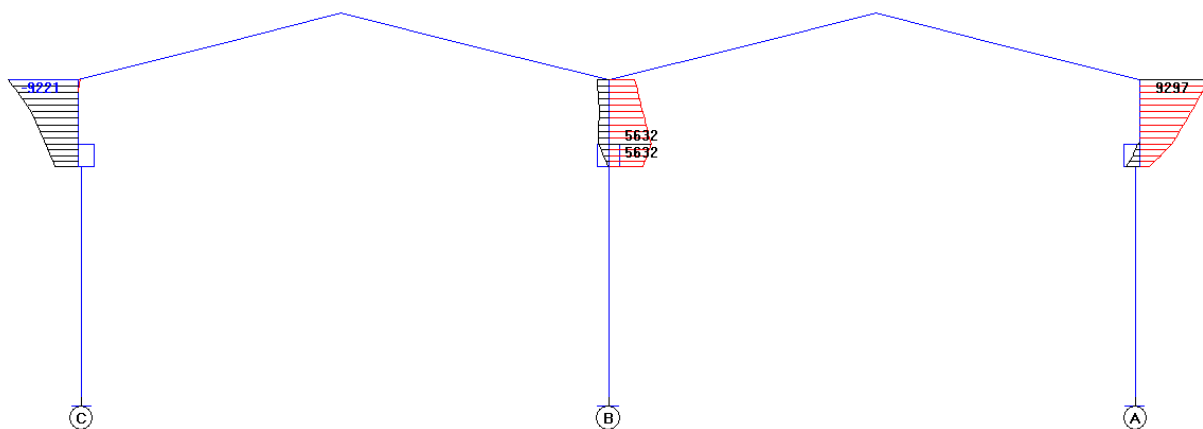


Figura 30 Gráfico Momento Fletor para pilares Superiores

Cortante

Pilar A - $V = 48.0$ kN (Combinação 49)

Pilar B - $V = 34.2$ kN (Combinação 46)

Pilar C - $V = 34.2$ kN (Combinação 53)

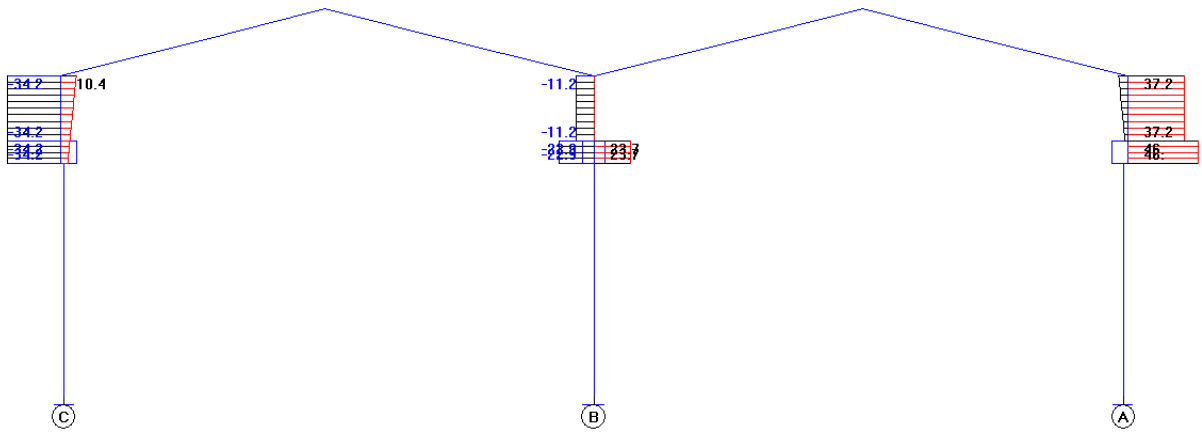


Figura 31 Gráfico Cortante para pilares Superiores

5.1.3. Tesouras

Força Axial

Tesoura AB - $N = 31$ kN (Combinação 51)

Tesoura BC - $N = 36.4$ kN (Combinação 54)

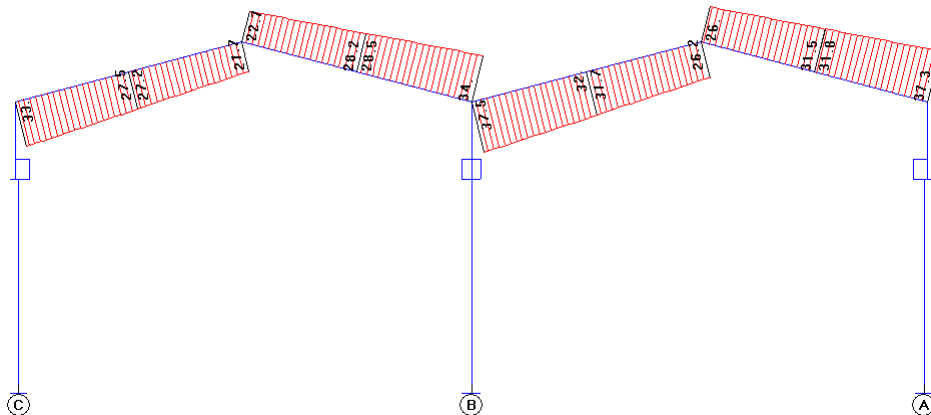


Figura 32 Gráfico esforço axial para Tesouras

Momento Fletor

Tesoura BC - $M= 12224 \text{ kN.cm}$ (Combinação 51)

Tesoura AB - $M= 9297 \text{ kN.cm}$ (Combinação 54)

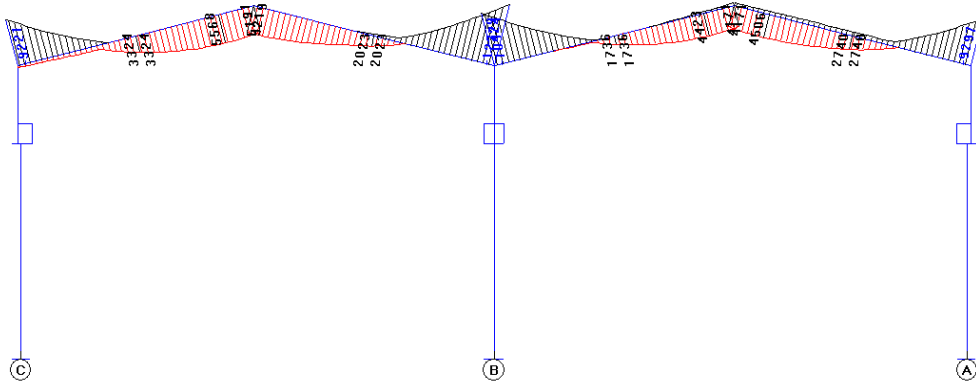


Figura 33 Gráfico Momento Fletor para Tesouras

Cortante

Tesoura BC - $V= 43.7 \text{ kN}$ (Combinação 51)

Tesoura AB - $V= 40.4 \text{ kN}$ (Combinação 54)

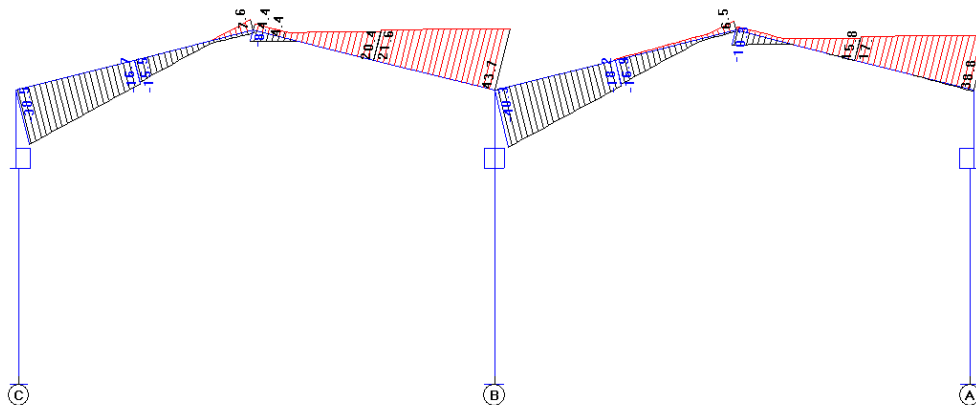


Figura 34 Gráfico Cortante para Tesouras

5.2. Deslocamentos

Para análise dos deslocamentos, foram utilizadas as combinações dos estados limites de serviço ELS. Abaixo os gráficos com os deslocamentos nas direções X_1 , X_2 e X_3

Deslocamento em X_1 (Longitudinal).

Valor dos deslocamentos na figura está em centímetros e multiplicados por 10^3 .

$X_1=2,04$ mm no topo da estrutura para Combinação ELS 11

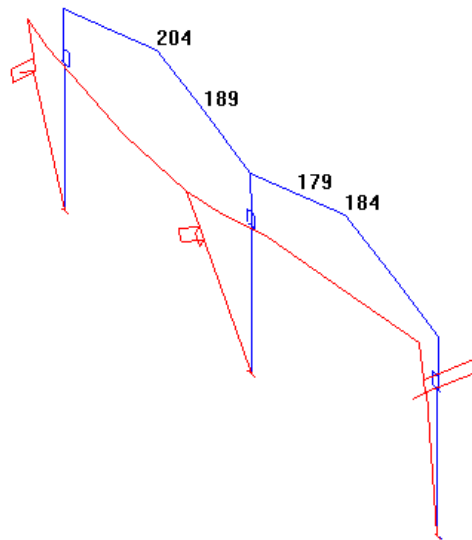


Figura 35 Deslocamento na direção longitudinal X_1

Deslocamento em X_2 (Transversal).

Valor dos deslocamentos na figura está em centímetros e multiplicados por 10^2 .

$X_2=20,1$ mm no topo da estrutura para Combinação ELS 39

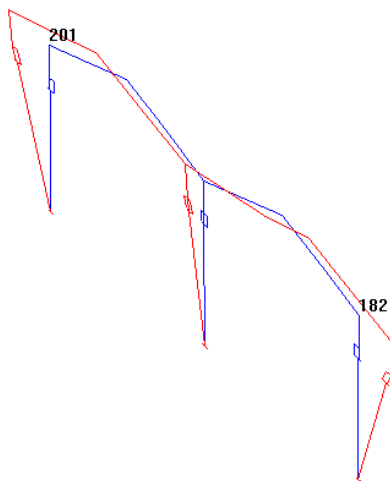


Figura 36 Deslocamento na direção Transversal X_2

Deslocamento em X_3 (Vertical).

Valor dos deslocamentos na figura está em centímetros e multiplicados por 10^2 .

$X_3=27,8$ mm no topo da estrutura para Combinação ELS 39

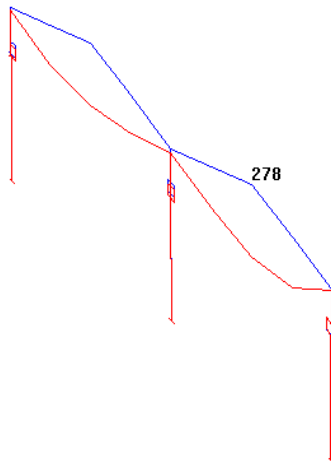


Figura 37 Deslocamento na direção Vertical X_3

6. CALCULO DO COMPRIMENTO EFETIVO (K_x)

Determinar os coeficientes equivalentes de flambagem para as colunas das filas A,B e C do pórtico intermediário, conforme prescrição da AISE 13:2003

Tabela 3 Cargas e Combinação Utilizadas no Cálculo

Cargas	Coluna A	Coluna B
P1 min = CP	22 kN	46 kN
P1 max = CP+SC	34,5 kN	72 kN
P2 min = CP	62 kN	110 kN
P2 max = CP+CM (PR)	264 kN	432 kN
Combinações		
Comb 1	P1 min + P2 min	
Comb 2	P1 min + P2 max	
Comb 3	P1 max + P2 min	
Comb 4	P1 max + P2 max	

Através de formulações e tabelas propostas pela AISC 13, podemos chegar ao valor de **K** para cada perfil das Colunas **A**, **B** e **C**, seguindo os seguintes passos:

1° passo:

Determinação do a_r que é a relação entre o comprimento do segmento superior e comprimento total da coluna:

$$a_r = \frac{L_{Sup}}{L_{Total}}$$

2° passo:

Determinação do **B** que é a relação entre o momento de inércia do segmento inferior e segmento superior da coluna:

$$B = \frac{I_{inf}}{I_{Sup}}$$

3° passo:

Determinação da relação entre P_1/P_2 que é a relação entre a carga axial recebida pela segmento superior (Sobrecarga Cobertura e cargas permanentes) e a carga recebida pelo segmento inferior devido a ponte rolante

4° passo:

Buscar o valor do coeficiente equivalente de flambagem da coluna inferior (**K_L**) na tabela 7.1. Com valor de **K_L**, podemos encontrar o valor do coeficiente equivalente de flambagem da coluna Superior (**K_U**) através da formulação abaixo:

$$K_U = K_L \cdot \sqrt{\frac{\left(1 + \frac{P_1}{P_2}\right)}{\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \cdot B}}$$

Resultados:

Tabela 4 Resultados para as Colunas A,C e B

	Coluna A e C			
	Comb 1	Comb 2	Comb 3	Comb 4
P1	22	22	34,5	36,5
P2	52	264	62	264
L Superior	300	300	300	300
L total	980	980	980	980
linf	83788	83788	83788	83788
lsup	12258	12258	12258	12258
ar	0,31	0,31	0,31	0,31
B	6,8	6,8	6,8	6,8
P1/P2	0,42	0,08	0,56	0,14
KL (Tabela 7.1)	1,07	0,97	1,18	0,96
KU	0,75	1,30	0,75	1,05

	Coluna B			
	Comb 1	Comb 2	Comb 3	Comb 4
P1	46	46	72	72
P2	88	432	110	432
L Superior	300	300	300	300
L total	980	980	980	980
linf	113493	113493	113493	113493
lsup	12258	12258	12258	12258
ar	0,31	0,31	0,31	0,31
B	9,3	9,3	9,3	9,3
P1/P2	0,52	0,11	0,65	0,17
KL (Tabela 7.1)	1,33	1,09	1,38	1,09
KU	0,75	1,15	0,72	0,95

7. VERIFICAÇÃO DAS SEÇÕES UTILIZADAS

Neste tópico serão verificados manualmente os pilares inferiores das filas A, B e C. Os demais elementos que compõem o pórtico do eixo 4, no caso, as tesouras e pilares superiores, foram verificados por meio do programa STRAP.

7.1. Pilar Inferior da Fila B

Dados de Entrada

$$N_{sd} = 644 \text{ kN Combinação ELU 36}$$

$$M_{sd} = 17950 \text{ kN.cm Combinação ELU 36}$$

$$V_{sd} = 34 \text{ kN Combinação ELU 46}$$

$$L_{fly} = L_b = 720 \text{ cm}$$

$$L_{ftx} = K_x \cdot L_x$$

$$L_{ftx} = 1,38 \cdot 9,8 = 1352 \text{ cm}$$

Propriedades do perfil da coluna inferior B, conforme item 0;

7.1.1. Força Axial

Conforme anexo F da NBR 8800 podemos classificar a seção como compacta;

$$\frac{h}{tw} = \frac{161}{26} = 26$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{lim} = 1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 35,9$$

$$\frac{h}{tw} < \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} \therefore Qa = 1$$

$$\frac{b}{t} = \frac{165/2}{10,2} = 8,1$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{lim} = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 13,5$$

$$\frac{b}{t} < \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} \therefore Qs = 1$$

$$Q = Qa \cdot Qs = 1$$

N_e é a força axial de flambagem elástica, obtida conforme o Anexo E da NBR 8800

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L f x^2} = \mathbf{12090 \text{ kN}}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L f y^2} = \mathbf{2619 \text{ kN}}$$

Tomando o menor valor entre N_{ex} e N_{ey} procede-se com o cálculo de λ_0 ;

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot f_y}{N_{ey}}} = \mathbf{1.1}$$

$$\lambda_0 < 1,5 \rightarrow \chi = 0,658^{(\lambda_0)^2}$$

$$\chi = 0,658^{(1.1)^2}$$

$$\chi = \mathbf{0,603}$$

Conforme item 5.3.2 da NBR 8800;

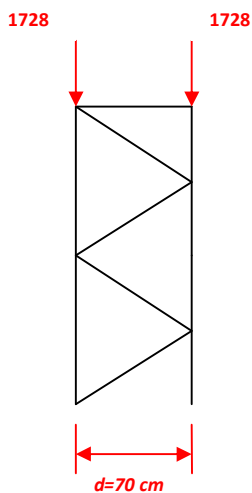
$$N_{c,Rd} = \frac{Q \cdot \chi \cdot A_g \cdot f_y}{1,1}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{1728 \text{ kN}}$$

7.1.2. Resistência ao Momento Fletor

FLM e FLA não ocorrem, pois a seção é considerada compacta vide item 7.1.1. Então o M_{Rd} é definido pelo estado limite FLT, que pode ser calculado de maneira simplificada através do binário gerado pela força axial.

FLT



$$M_{Rd} = \left(\frac{N_{c,Rd}}{2} \right) \cdot d$$

$$M_{Rd} = \left(\frac{1728}{2}\right) \cdot 70$$

$$\mathbf{M_{Rd} = 60480 \text{ kN.cm}}$$

Formula de Interação

Conforme item 5.5.1.2 alínea "a" da NBR 8800 temos;

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} = \frac{644}{1728} = \mathbf{0,372} > 0,2$$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{M_{x,Rd}}{M_{x,Sd}} + \frac{M_{y,Rd}}{M_{y,Sd}}\right)$$

$$0,372 + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{17950}{60480}\right) = \mathbf{0.63} \rightarrow \mathbf{Ok!}$$

7.1.3.Verificação das Diagonais

$$V_{sd} = 34 \text{ kN Combinação ELU 46}$$

Em uma diagonal L 2"x 1/4"

$$N_{sd} = \frac{\left(V_{sd}/2\right)}{\cos 45^\circ} = \frac{(34/2)}{0,707}$$

$$\mathbf{N_{sd} = 24 \text{ kN}}$$

$$L_x = L/\cos 45^\circ$$

$$L_x = 70/0,707$$

$$\mathbf{L_x = 99 \text{ cm}}$$

Conforme anexo E 1.4.2 temos;

$$\frac{L_x}{r_x} = \frac{99}{1,55} = 64$$

Utilizando a formulação descrita na alínea "a" do anexo E 1.4.2 temos

$$k_{x1} \cdot L_{x1} = 72r_{x1} + 0,75L_{x1}$$

$$k_{x1} \cdot L_{x1} = 186 \text{ cm}$$

$$N_{e_{x1}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{x1}}{(L_{x1} \cdot k_{x1})^2}$$

$$N_{e_{x1}} = 82,7 \text{ kN}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot Ag \cdot fy}{N_{e_{x1}}}}$$

$$\lambda_0 = 1,35 \rightarrow \chi = 0,46$$

$$N_{c,Rd} = \frac{Q \cdot \chi \cdot Ag \cdot fy}{1,1}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,46 \cdot 6,05 \cdot 25}{1,1}$$

$$N_{c,Rd} = 64 \text{ kN} > N_{sd} = 24 \text{ kN} \rightarrow \text{Ok!}$$

7.2. Pilar Inferior da Fila A

Dados de Entrada

$$N_{sd} = 356 \text{ kN Combinação ELU 31}$$

$$M_{sd} = 17900 \text{ kN.cm Combinação ELU 31}$$

$$V_{sd} = 48,8 \text{ kN Combinação ELU 37}$$

$$L_{f_{ly}} = L_b = 720 \text{ cm}$$

$$L_{f_{lx}} = K_x \cdot L_x$$

$$L_{f_{lx}} = 1,18 \cdot 9,8 = 1156 \text{ cm}$$

Propriedades do perfil da coluna inferior A, conforme item 0;

7.2.1. Força Axial

Conforme anexo F da NBR 8800 podemos classificar a seção como compacta;

$$\frac{h}{tw} = \frac{161}{26} = 26$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{lim} = 1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 35,9$$

$$\frac{h}{tw} < \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} \therefore Qa = 1$$

$$\frac{b}{t} = \frac{165/2}{10,2} = 8,1$$

$$\left(\frac{b}{t}\right)_{lim} = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{fy}} = 13,5$$

$$\frac{b}{t} < \left(\frac{b}{t}\right)_{lim} \therefore Q_s = 1$$

$$Q = Q_a \cdot Q_s = 1$$

N_e é a força axial de flambagem elástica, obtida conforme o Anexo E da NBR 8800

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{L f x^2} = 12150 \text{ kN}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L f y^2} = 2619 \text{ kN}$$

Tomando o menor valor entre N_{ex} e N_{ey} procede-se com o calculo de λ_0 ;

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot A_g \cdot fy}{N_{ey}}} = 1,1$$

$$\lambda_0 < 1,5 \rightarrow \chi = 0,658^{(\lambda_0)^2}$$

$$\chi = 0,658^{(1,1)^2}$$

$$\chi = 0,603$$

Conforme item 5.3.2 da NBR 8800;

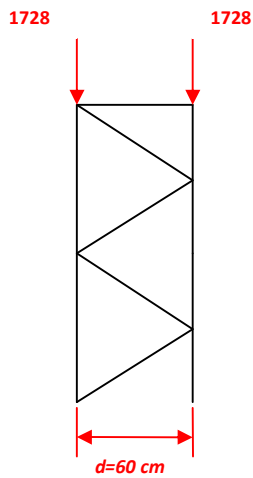
$$N_{c,Rd} = \frac{Q \cdot \chi \cdot A_g \cdot fy}{1,1}$$

$$N_{c,Rd} = 1728 \text{ kN}$$

7.2.2. Resistência ao Momento Fletor

FLM e FLA não ocorrem, pois a seção é considerada compacta vide item 7.2.1. Então o M_{Rd} é definido pelo estado limite FLT, que pode ser calculado de maneira simplificada através do binário gerado pela força axial.

FLT



$$M_{Rd} = \left(\frac{N_{c,Rd}}{2} \right) \cdot d$$

$$M_{Rd} = \left(\frac{1728}{2} \right) \cdot 60$$

$$M_{Rd} = 51840 \text{ kN.cm}$$

Formula de Interação

Conforme item 5.5.1.2 alínea "a" da NBR 8800 temos;

$$\frac{N_{sd}}{N_{Rd}} = \frac{356}{1728} = 0,206 > 0,2$$

$$\frac{N_{sd}}{N_{Rd}} + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{M_{x,Rd}}{M_{x,Sd}} + \frac{M_{y,Rd}}{M_{y,Sd}} \right)$$

$$0,206 + \frac{8}{9} \cdot \left(\frac{17900}{51840} \right) = 0,51 \rightarrow \text{Ok!}$$

7.2.3. Verificação das Diagonais

$$V_{sd} = 48,8 \text{ kN Combinação ELU 37}$$

Em uma diagonal L 2"x 1/4"

$$N_{sd} = \frac{\left(\frac{V_{sd}}{2} \right)}{\cos 45^\circ} = \frac{(48,8/2)}{0,707}$$

$$N_{sd} = 34,5 \text{ kN}$$

$$L_x = L / \cos 45^\circ$$

$$L_x = 60 / 0,707$$

$$L_x = \mathbf{85 \text{ cm}}$$

Conforme anexo E 1.4.2 temos;

$$\frac{L_x}{r_x} = \frac{85}{1,55} = 55$$

Utilizando a formulação descrita na alínea "a" do anexo E 1.4.2 temos

$$k_{x1} \cdot L_{x1} = 72r_{x1} + 0,75L_{x1}$$

$$k_{x1} \cdot L_{x1} = 175 \text{ cm}$$

$$N_{e_{x1}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{x1}}{(L_{x1} \cdot k_{x1})^2}$$

$$N_{e_{x1}} = \mathbf{93,1 \text{ kN}}$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Q \cdot Ag \cdot fy}{N_{e_{x1}}}}$$

$$\lambda_0 = \mathbf{1,27} \rightarrow \chi = \mathbf{0,509}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{Q \cdot \chi \cdot Ag \cdot fy}{1,1}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{0,46 \cdot 6,05 \cdot 25}{1,1}$$

$$N_{c,Rd} = \mathbf{70 \text{ kN}} > N_{sd} = \mathbf{48,8 \text{ kN}} \rightarrow \mathbf{Ok!}$$

7.3. Pilar Superior da Fila A

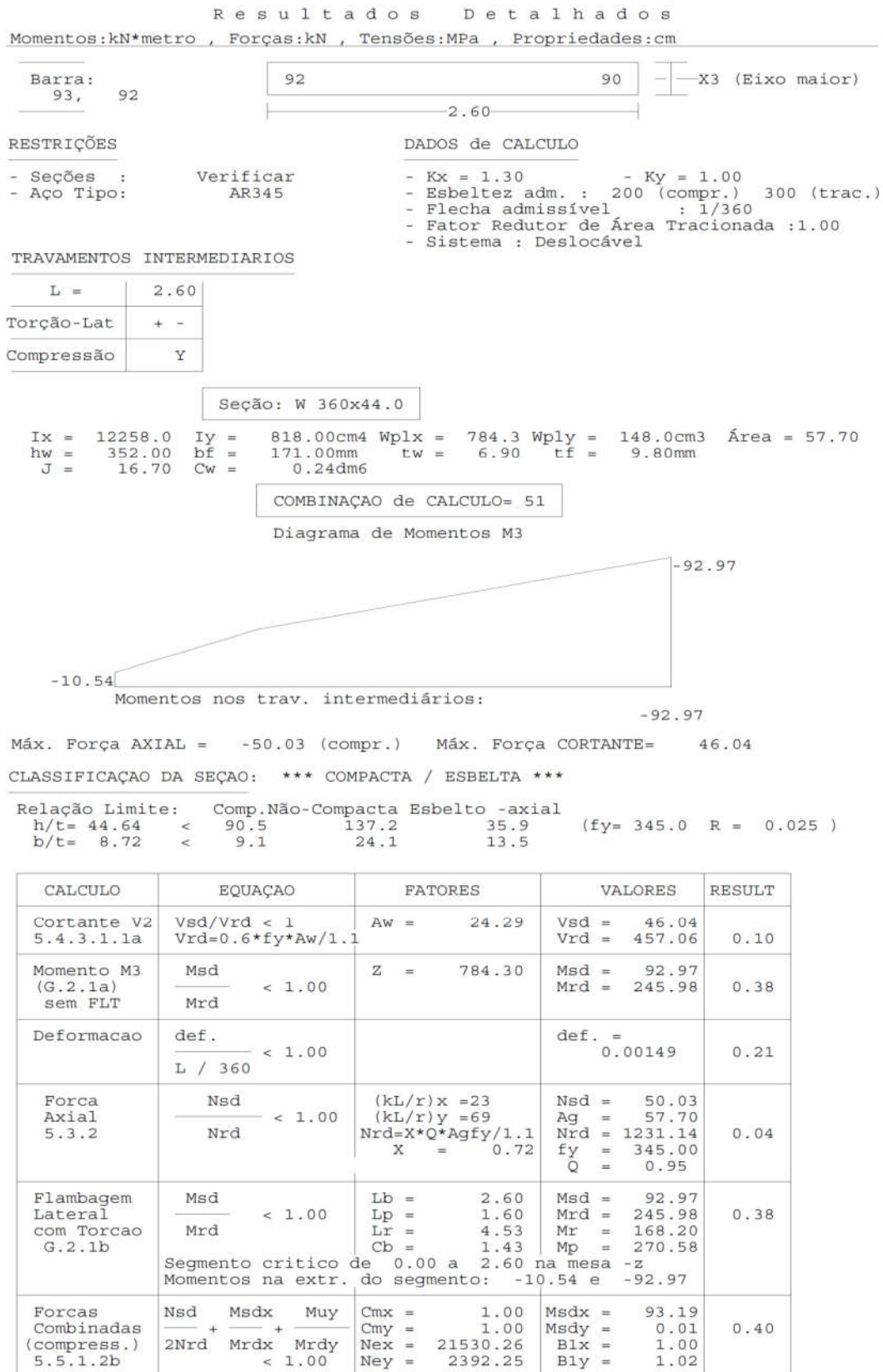


Figura 38 Relatório de Dimensionamento Pilar Superior A

7.4. Pilar Superior da Fila C

Resultados Detalhados
 Momentos:kN*metro , Forças:kN , Tensões:MPa , Propriedades:cm

Barra:	101	99	X3 (Eixo maior)
102, 101	2.60		

RESTRIÇÕES

- Seções : Verificar
 - Aço Tipo: AR345

DADOS de CALCULO

- Kx = 1.30 - Ky = 1.00
 - Esbeltez adm. : 200 (compr.) 300 (trac.)
 - Flecha admissível : 1/360
 - Fator Redutor de Área Tracionada :1.00
 - Sistema : Deslocável

TRAVAMENTOS INTERMEDIARIOS

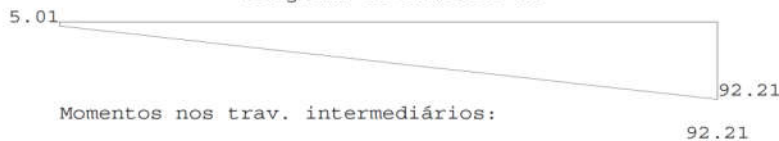
L =	2.60
Torção-Lat	+ -
Compressão	Y

Seção: W 360x44.0

Ix = 12258.0 Iy = 818.00cm⁴ Wplx = 784.3 Wply = 148.0cm³ Área = 57.70
 hw = 352.00 bf = 171.00mm tw = 6.90 tf = 9.80mm
 J = 16.70 Cw = 0.24dm⁶

COMBINAÇÃO de CALCULO= 50

Diagrama de Momentos M3



Máx. Força AXIAL = -52.97 (compr.) Máx. Força CORTANTE= 33.54

CLASSIFICAÇÃO DA SEÇÃO: *** COMPACTA / ESBELTA ***

Relação Limite: Comp.Não-Compacta Esbelto -axial
 h/t= 44.64 < 90.5 137.2 35.9 (fy= 345.0 R = 0.027)
 b/t= 8.72 < 9.1 24.1 13.5

CALCULO	EQUAÇÃO	FATORES	VALORES	RESULT
Cortante V2 5.4.3.1.1a	$V_{sd}/V_{rd} < 1$ $V_{rd}=0.6*fy*Aw/1.1$	Aw = 24.29	Vsd = 33.54 Vrd = 457.06	0.07
Momento M3 (G.2.1a) sem FLT	$M_{sd}/M_{rd} < 1.00$	Z = 784.30	Msd = 92.21 Mrd = 245.98	0.37
Deformacao	$def./L / 360 < 1.00$		def. = 0.00117	0.16
Forca Axial 5.3.2	$N_{sd}/N_{rd} < 1.00$	(kL/r)x =23 (kL/r)y =69 Nrd=X*Q*Agfy/1.1 X = 0.72	Nsd = 52.97 Ag = 57.70 Nrd = 1231.14 fy = 345.00 Q = 0.95	0.04
Flambagem Lateral com Torcao G.2.1b	$M_{sd}/M_{rd} < 1.00$ Segmento critico de 0.00 a 2.60 na mesa +z Momentos na extr. do segmento: 5.01 e 92.21	Lb = 2.60 Lp = 1.60 Lr = 4.53 Cb = 1.61	Msd = 92.21 Mrd = 245.98 Mr = 168.20 Mp = 270.58	0.37
Forças Combinadas (compress.) 5.5.1.2b	$N_{sd}/2N_{rd} + M_{sd}/M_{rd} + M_{uy}/M_{rdy} < 1.00$	Cmx = 1.00 Cmy = 1.00 Nex = 21530.26 Ney = 2392.25	Msd = 92.43 Msdy = 0.01 Blx = 1.00 Bly = 1.02	0.40

Figura 39 Relatório de Dimensionamento Pilar Superior C

7.5. Pilar Superior da Fila B

Resultados Detalhados
 Momentos:kN*metro , Forças:kN , Tensões:MPa , Propriedades:cm

Barra: 115, 114	107	112	X3 (Eixo maior)
2.60			

RESTRIÇÕES

- Seções : Verificar
 - Aço Tipo: AR345

DADOS de CALCULO

- Kx = 1.15 - Ky = 1.00
 - Esbeltez adm. : 200 (compr.) 300 (trac.)
 - Flecha admissível : 1/360
 - Fator Redutor de Área Tracionada : 1.00
 - Sistema : Deslocável

TRAVAMENTOS INTERMEDIARIOS

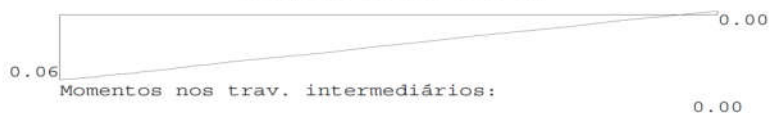
L =	2.60
Torção-Lat	+ -
Compressão	Y

Seção: W 360x44.0

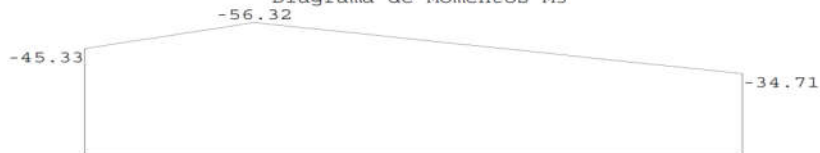
Ix = 12258.0 Iy = 818.00cm⁴ Wplx = 784.3 Wply = 148.0cm³ Área = 57.70
 hw = 352.00 bf = 171.00mm tw = 6.90 tf = 9.80mm
 J = 16.70 Cw = 0.24dm⁶

COMBINAÇÃO de CALCULO= 45

Diagrama de Momentos M2



Máx. Força AXIAL = -22.20 (compr.) Máx. Força CORTANTE= 0.02
 Diagrama de Momentos M3



Máx. Força AXIAL = -22.20 (compr.) Máx. Força CORTANTE= -34.71
 Diagrama de Momentos M3

CLASSIFICAÇÃO DA SEÇÃO: *** COMPACTA / ESBELTA ***

Relação Limite: Comp.Não-Compacta Esbelto -axial
 h/t = 44.64 < 90.5 137.2 35.9 (fy = 345.0 R = 0.011)
 b/t = 8.72 < 9.1 24.1 13.5

CALCULO	EQUAÇÃO	FATORES	VALORES	RESULT
Cortante V2 5.4.3.1.1a	$V_{sd}/V_{rd} < 1$ $V_{rd} = 0.6 \cdot f_y \cdot A_w / 1.1$	$A_w = 24.29$	$V_{sd} = 16.40$ $V_{rd} = 457.06$	0.04
Momento M3 (G.2.1a) sem FLT	$M_{sd} / M_{rd} < 1.00$	$Z = 784.30$	$M_{sd} = 56.32$ $M_{rd} = 245.98$	0.23
Deformacao	$def. / (L / 360) < 1.00$		$def. = 0.00130$	0.18
Força Axial 5.3.2	$N_{sd} / N_{rd} < 1.00$	$(kL/r)_x = 21$ $(kL/r)_y = 69$ $N_{rd} = X \cdot Q \cdot A_g \cdot f_y / 1.1$ $X = 0.72$	$N_{sd} = 22.20$ $A_g = 57.70$ $N_{rd} = 1231.14$ $f_y = 345.00$ $Q = 0.95$	0.02
Flambagem Lateral com Torcao G.2.1b	$M_{sd} / M_{rd} < 1.00$	$L_b = 2.60$ $L_p = 1.60$ $L_r = 4.53$ $C_b = 1.11$	$M_{sd} = 56.32$ $M_{rd} = 238.54$ $M_r = 168.20$ $M_p = 270.58$	0.24
Forças Combinadas (compress.) 5.5.1.2b	$N_{sd} / 2N_{rd} + M_{sd_x} / M_{rd_x} + M_{u_y} / M_{rd_y} < 1.00$	$C_{m_x} = 1.00$ $C_{m_y} = 1.00$ $N_{e_x} = 25826.54$ $N_{e_y} = 2392.25$	$M_{sd_x} = 56.37$ $M_{sd_y} = 0.06$ $B_{l_x} = 1.00$ $B_{l_y} = 1.01$	0.25

Figura 40 Relatório de Dimensionamento Pilar Superior B

7.6. Tesoura BC

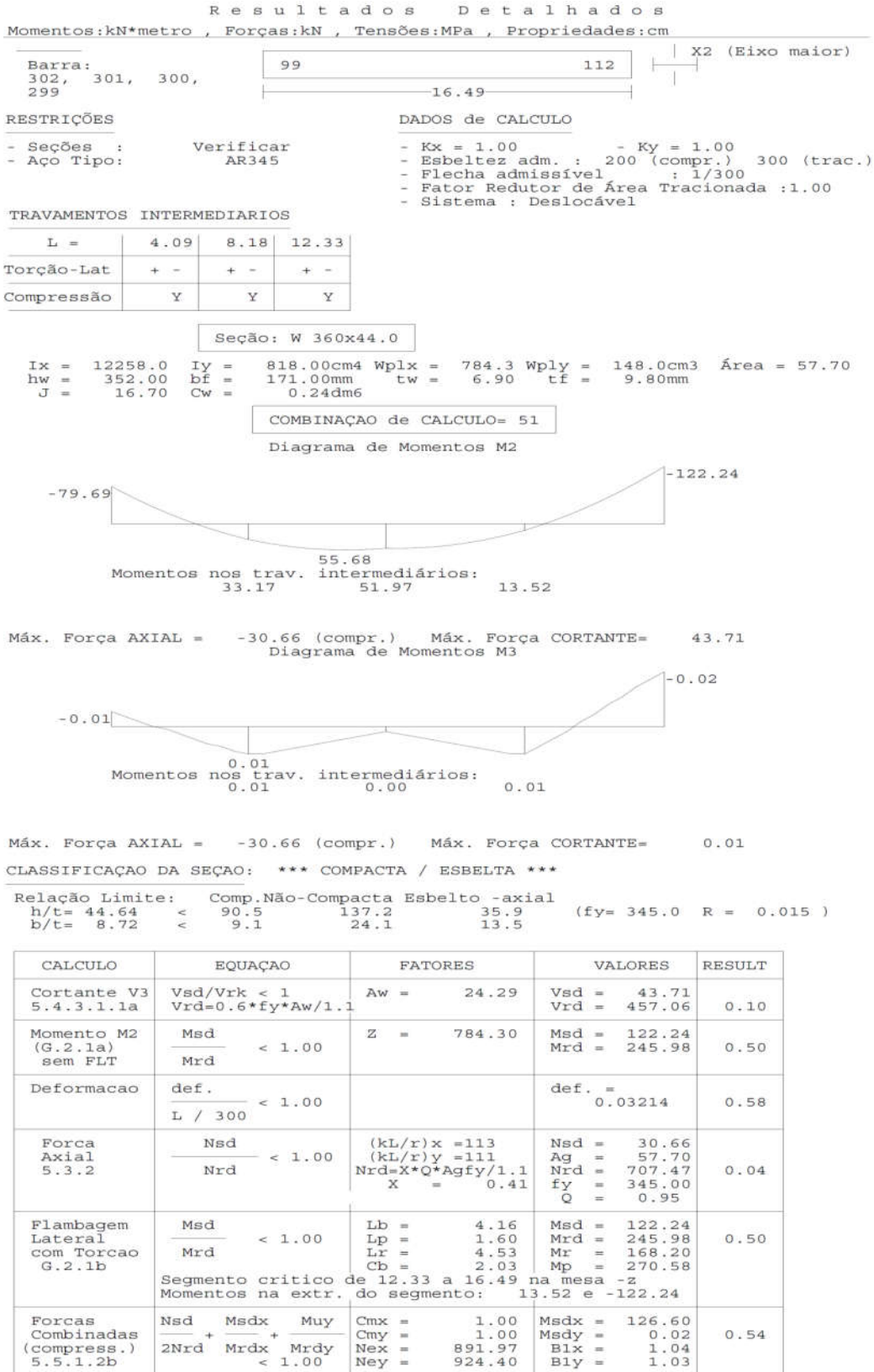


Figura 41 Relatório de Dimensionamento Tesoura BC

7.7. Tesoura AB

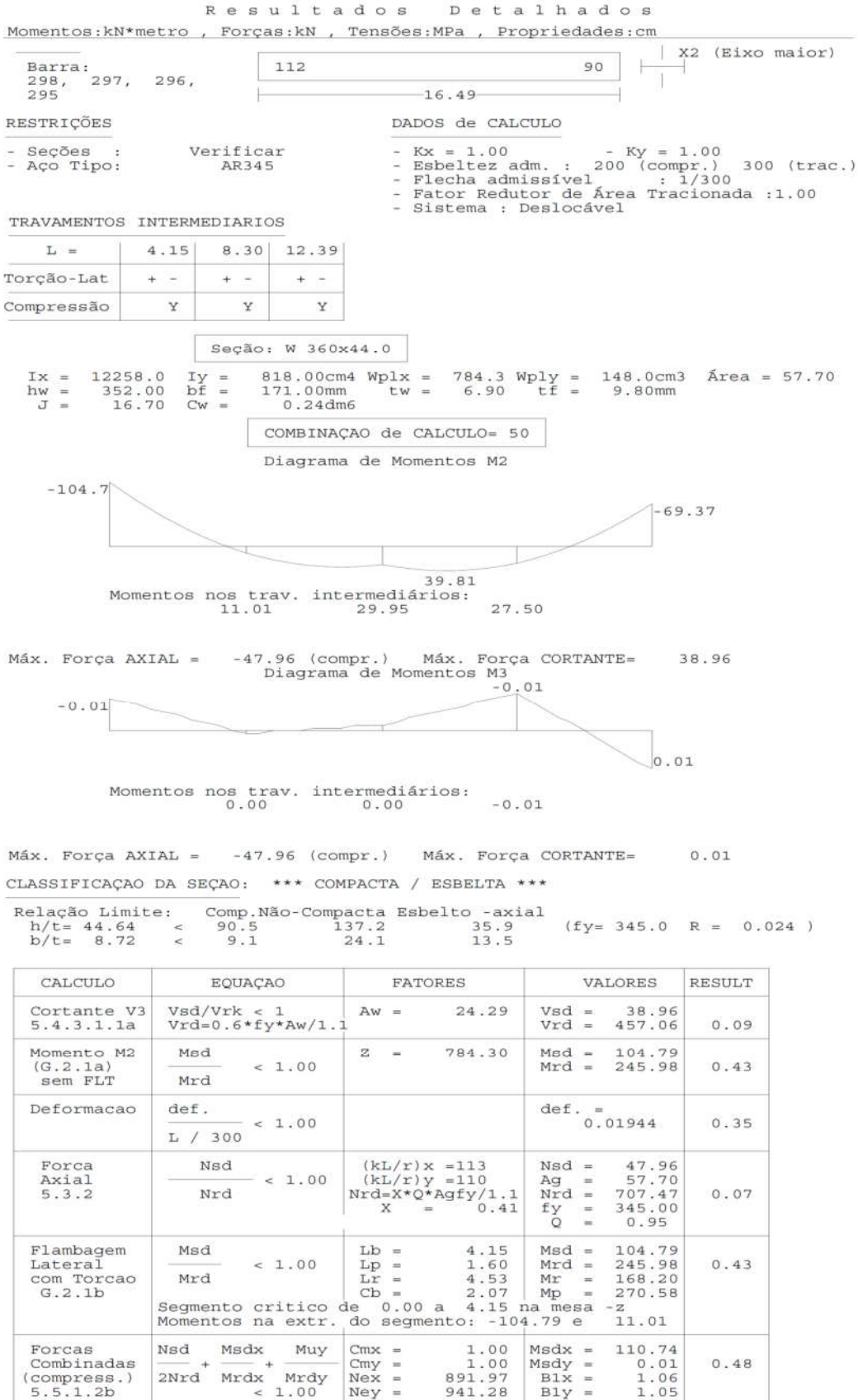


Figura 42 Relatório de Dimensionamento Tesoura AB

8. CONCLUSÃO

A utilização de ferramentas computacionais se mostra muito eficiente especialmente para o cálculo de estruturas mais simples, ainda assim o operador deve ter bom conhecimento do comportamento da estrutura e da norma utilizada para dimensionamento. Em estruturas mais complexas o nível de conhecimento do calculista deve ser ainda maior, pois, em muitos casos os programas de cálculo não se comportam muito bem, como foi visto no presente trabalho, no cálculo dos perfis duplo "I". Neste caso o STRAP além de inverter os eixos de simetria, ele não calcula o momento resistente de maneira correta.

Outro ponto que devemos levar em consideração são os dados de entrada, ou seja, as informações de alimentação do programa para o cálculo. Algumas destas informações devem ser previamente analisadas e até calculadas, muitas das vezes com ajuda de outras normas, antes de serem incluídas na rotina de cálculo do programa, um exemplo disto são os valores dos comprimentos efetivos dos elementos comprimidos.

O edifício industrial do presente trabalho apresentou um bom valor de peso por metro quadrado (36 kg/m^2), este é um parâmetro importante em uma primeira análise, ele pode dizer ao projetista se a estrutura é coerente com a sua finalidade, em suma, se a estrutura apresenta um valor muito acima da média, pode ser que existam incoerências no dimensionamento.

9. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devida ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estrutura de aço e estrutura mista de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

BELLEI, I. H. **Galpões industriais em aço**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1998. 489 p.

BELLEI, I. H.; PINHO, F. O.; PINHO, M. O.; **Edifícios de múltiplos andares em aço**. São Paulo: Pini, 2004. 454p.

SÉRIE manual da construção em aço - **Galpões Para Usos Gerais**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Siderurgia, 2010

CARVALHO, H.; QUEIROZ, G. **Projeto de Edifícios Industriais em Aço**. Curso de Especialização em Análise e Dimensionamento e Estruturas de Concreto Armado e Aço. Departamento de Engenharia de Estruturas; Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2017

10. ANEXOS

10.1. Quadro de Cargas

REAÇÕES (Unids: kN, kN*metro)								
FILA	EIXO	CARREG	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
			Kn	Kn	Kn	Kn-m	Kn-m	Kn-m
A	1	CP	-0.001	-8.666	35.657	54.221	0.000	0.000
		SC	-0.001	-4.330	7.202	28.669	0.000	0.000
		VX+	-3.331	-1.329	-15.660	-30.808	0.000	-0.157
		VX-	1.899	-3.347	-13.438	-17.132	0.000	0.090
		VY+	3.802	-4.237	-4.765	12.125	0.000	0.178
		VY-	3.803	20.238	-16.415	-102.711	0.000	0.178
		G4 (CASO 1)	-0.437	0.050	-0.091	-0.250	0.000	-4.061
		G4 (CASO 2)	0.437	-0.050	0.091	0.250	0.000	4.061
		G5 (CASO 1)	0.000	-18.460	210.569	69.794	0.000	0.000
		G5 (CASO 2)	-0.002	4.398	212.473	-75.744	0.000	0.000
		G5 (CASO 3)	0.001	-15.360	76.378	83.759	0.000	0.000
		G5 (CASO 4)	-0.002	7.499	78.282	-61.779	0.000	0.000
		G5 (CASO 5)	-0.002	7.851	78.610	-66.129	0.000	0.000
		G5 (CASO 6)	0.000	-15.007	76.706	79.409	0.000	0.000
C	1	CP	-0.001	8.664	35.823	-54.217	0.000	0.000
		SC	-0.001	4.330	7.202	-28.669	0.000	0.000
		VX+	-3.331	1.329	-15.660	30.808	0.000	0.157
		VX-	1.899	3.347	-13.438	17.132	0.000	-0.090
		VY+	3.803	-20.238	-16.415	102.711	0.000	-0.178
		VY-	3.802	4.237	-4.765	-12.125	0.000	-0.178
		G4 (CASO 1)	0.000	-0.060	-0.027	0.498	0.000	0.000
		G4 (CASO 2)	0.000	0.060	0.027	-0.498	0.000	0.000
		G5 (CASO 1)	0.000	-2.458	-0.159	23.026	0.000	0.000
		G5 (CASO 2)	0.000	4.405	1.011	-38.846	0.000	0.000
		G5 (CASO 3)	0.000	-3.873	-0.176	36.375	0.000	0.000
		G5 (CASO 4)	-0.001	2.990	0.994	-25.497	0.000	0.000
		G5 (CASO 5)	-0.001	6.138	62.919	-34.297	0.000	0.000
		G5 (CASO 6)	-0.001	-0.725	61.748	27.575	0.000	0.000
B	1	CP	0.009	-0.001	62.694	0.004	0.000	0.000
		SC	0.002	0.000	12.557	0.000	0.000	0.000
		VX+	-4.878	0.000	-34.116	0.000	0.000	0.000
		VX-	2.749	0.000	-20.658	0.000	0.000	0.000
		VY+	5.635	-0.800	-15.791	13.713	0.000	0.000
		VY-	5.635	0.800	-15.791	-13.713	0.000	0.000
		G4 (CASO 1)	0.403	-0.131	0.213	0.938	0.000	2.966
		G4 (CASO 2)	-0.403	0.131	-0.213	-0.938	0.000	-2.966
		G5 (CASO 1)	-0.001	-8.586	77.122	71.255	0.000	0.000
		G5 (CASO 2)	0.007	16.995	74.954	-98.193	0.000	0.000
		G5 (CASO 3)	0.003	-6.052	210.918	89.532	0.000	0.000

		G5 (CASO 4)	0.011	19.530	208.749	-79.917	0.000	0.000
		G5 (CASO 5)	0.016	14.131	376.813	-83.756	0.000	0.000
		G5 (CASO 6)	0.009	-11.451	378.982	85.692	0.000	0.000
A		CP	-0.001	-10.582	54.798	63.057	0.000	0.000
		SC	-0.001	-5.306	10.757	34.449	0.000	0.000
		VX+	0.002	-8.514	-19.974	-10.283	0.000	-0.001
		VX-	-0.001	-6.489	-22.197	-24.027	0.000	0.001
		VY+	0.002	-6.819	-7.487	15.239	0.000	0.000
		VY-	0.003	27.983	-22.009	-127.707	0.000	0.000
		G4 (CASO 1)	-0.005	-0.051	0.091	0.259	0.000	0.000
		G4 (CASO 2)	0.005	0.051	-0.091	-0.259	0.000	0.000
		G5 (CASO 1)	0.000	-8.300	64.950	43.878	0.000	0.000
		G5 (CASO 2)	-0.002	6.417	61.606	-63.816	0.000	0.000
		G5 (CASO 3)	0.001	-8.808	24.788	60.397	0.000	0.000
		G5 (CASO 4)	-0.002	5.909	21.444	-47.297	0.000	0.000
		G5 (CASO 5)	-0.002	6.947	21.036	-56.151	0.000	0.000
		G5 (CASO 6)	0.000	-7.770	24.380	51.543	0.000	0.000
		C	2	CP	-0.001	10.584	54.633	-63.060
SC	-0.001			5.306	10.757	-34.449	0.000	0.000
VX+	0.002			8.514	-19.974	10.284	0.000	0.001
VX-	-0.001			6.489	-22.197	24.027	0.000	-0.001
VY+	0.003			-27.983	-22.009	127.707	0.000	0.000
VY-	0.002			6.819	-7.487	-15.239	0.000	0.000
G4 (CASO 1)	0.000			0.060	0.028	-0.503	0.000	0.000
G4 (CASO 2)	0.000			-0.060	-0.028	0.503	0.000	0.000
G5 (CASO 1)	0.000			-3.021	-0.678	26.806	0.000	0.000
G5 (CASO 2)	0.000			4.431	1.003	-39.058	0.000	0.000
G5 (CASO 3)	0.000			-5.022	-1.350	43.990	0.000	0.000
G5 (CASO 4)	-0.001			2.431	0.331	-21.875	0.000	0.000
G5 (CASO 5)	-0.001			3.585	18.683	-27.113	0.000	0.000
G5 (CASO 6)	-0.001			-3.868	17.003	38.752	0.000	0.000
B				CP	0.009	0.001	108.286	-0.005
		SC	0.002	0.000	25.741	0.000	0.000	0.000
		VX+	0.031	0.000	-39.416	0.000	0.000	0.000
		VX-	-0.050	0.000	-52.872	0.000	0.000	0.000
		VY+	0.028	-0.215	-33.084	10.290	0.000	0.000
		VY-	0.028	0.215	-33.084	-10.290	0.000	0.000
		G4 (CASO 1)	-0.060	0.132	-0.213	-0.943	0.000	0.000
		G4 (CASO 2)	0.060	-0.132	0.213	0.943	0.000	0.000
		G5 (CASO 1)	-0.001	-7.175	23.296	57.503	0.000	0.000
		G5 (CASO 2)	0.006	11.353	24.054	-79.461	0.000	0.000
		G5 (CASO 3)	0.003	-8.886	64.542	82.755	0.000	0.000
		G5 (CASO 4)	0.010	9.642	65.300	-54.209	0.000	0.000
		G5 (CASO 5)	0.015	9.349	117.040	-65.644	0.000	0.000
		G5 (CASO 6)	0.008	-9.179	116.281	71.319	0.000	0.000
		A	3	CP	0.000	-11.739	55.686	71.011
SC	0.000			-6.423	11.972	42.072	0.000	0.000

		VX+	0.002	-6.216	-22.484	-25.922	0.000	-0.001
		VX-	-0.001	-6.216	-22.484	-25.922	0.000	0.001
		VY+	0.001	-6.999	-7.723	17.393	0.000	0.000
		VY-	0.001	30.461	-24.271	-145.537	0.000	0.000
		G4 (CASO 1)	-0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		G4 (CASO 2)	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		G5 (CASO 1)	0.000	-6.239	64.121	26.531	0.000	0.000
		G5 (CASO 2)	-0.001	2.529	63.785	-32.559	0.000	0.000
		G5 (CASO 3)	0.000	-5.636	23.549	33.626	0.000	0.000
		G5 (CASO 4)	-0.001	3.132	23.212	-25.464	0.000	0.000
		G5 (CASO 5)	-0.001	3.455	23.194	-28.529	0.000	0.000
		G5 (CASO 6)	0.000	-5.313	23.530	30.562	0.000	0.000
C		CP	0.000	11.739	55.686	-71.011	0.000	0.000
		SC	0.000	6.423	11.972	-42.072	0.000	0.000
		VX+	0.002	6.216	-22.484	25.922	0.000	0.001
		VX-	-0.001	6.216	-22.484	25.922	0.000	-0.001
		VY+	0.001	-30.461	-24.271	145.537	0.000	0.000
		VY-	0.001	6.999	-7.723	-17.393	0.000	0.000
		G4 (CASO 1)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		G4 (CASO 2)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		G5 (CASO 1)	0.000	-1.279	-0.196	11.635	0.000	0.000
		G5 (CASO 2)	0.000	2.061	0.469	-18.168	0.000	0.000
		G5 (CASO 3)	0.000	-2.074	-0.356	18.740	0.000	0.000
		G5 (CASO 4)	0.000	1.266	0.309	-11.063	0.000	0.000
G5 (CASO 5)	-0.001	2.262	18.873	-14.321	0.000	0.000		
G5 (CASO 6)	-0.001	-1.078	18.208	15.483	0.000	0.000		
B		CP	0.010	0.000	106.829	0.000	0.000	0.000
		SC	0.002	0.000	25.533	0.000	0.000	0.000
		VX+	0.033	0.000	-46.396	0.000	0.000	0.000
		VX-	-0.048	0.000	-46.396	0.000	0.000	0.000
		VY+	0.015	-0.641	-30.884	15.166	0.000	0.000
		VY-	0.015	0.641	-30.884	-15.166	0.000	0.000
		G4 (CASO 1)	-0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		G4 (CASO 2)	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		G5 (CASO 1)	-0.001	-3.682	23.371	30.059	0.000	0.000
		G5 (CASO 2)	0.005	6.611	23.042	-41.437	0.000	0.000
		G5 (CASO 3)	0.002	-3.490	64.107	40.189	0.000	0.000
		G5 (CASO 4)	0.008	6.802	63.778	-31.307	0.000	0.000
G5 (CASO 5)	0.012	5.484	114.733	-34.855	0.000	0.000		
G5 (CASO 6)	0.006	-4.809	115.062	36.642	0.000	0.000		
A	4	CP	11.369	-11.878	60.188	72.574	0.000	-1.166
		SC	3.867	-6.484	11.974	42.716	0.000	-0.478
		VX+	-17.425	-6.354	-55.821	-28.375	0.000	2.105
		VX-	4.920	-5.880	10.842	-25.547	0.000	-0.566
		VY+	-1.159	-6.941	-7.734	16.854	0.000	0.136
		VY-	-10.513	30.586	-24.265	-146.938	0.000	1.301
		G4 (CASO 1)	-9.709	-0.154	-28.551	-1.672	0.000	1.163

C	G4 (CASO 2)	9.709	0.154	28.551	1.672	0.000	-1.163		
	G5 (CASO 1)	12.992	-20.684	208.238	88.239	0.000	-1.548		
	G5 (CASO 2)	10.068	8.258	217.098	-104.719	0.000	-1.182		
	G5 (CASO 3)	6.937	-18.618	74.884	110.467	0.000	-0.834		
	G5 (CASO 4)	4.014	10.325	83.744	-82.490	0.000	-0.469		
	G5 (CASO 5)	4.466	11.408	86.720	-92.341	0.000	-0.521		
	G5 (CASO 6)	7.389	-17.535	77.860	100.616	0.000	-0.887		
	CP	11.366	11.878	60.184	-72.598	0.000	1.169		
	SC	3.865	6.483	11.974	-42.736	0.000	0.480		
	VX+	-17.423	6.356	-55.821	28.390	0.000	-2.108		
	VX-	4.923	5.881	10.842	25.588	0.000	0.563		
	VY+	-10.507	-30.583	-24.265	146.984	0.000	-1.306		
	VY-	-1.159	6.940	-7.734	-16.848	0.000	-0.136		
	G4 (CASO 1)	-0.079	0.059	-0.258	-0.491	0.000	-0.010		
	G4 (CASO 2)	0.079	-0.059	0.258	0.491	0.000	0.010		
	G5 (CASO 1)	-1.309	-4.159	0.878	37.401	0.000	-0.141		
	G5 (CASO 2)	2.853	6.810	1.689	-59.637	0.000	0.318		
	G5 (CASO 3)	-1.524	-6.838	3.307	60.837	0.000	-0.158		
G5 (CASO 4)	2.638	4.132	4.118	-36.201	0.000	0.301			
G5 (CASO 5)	7.028	7.452	67.632	-47.378	0.000	0.820			
G5 (CASO 6)	2.866	-3.517	66.821	49.660	0.000	0.361			
B	CP	14.838	0.001	111.395	-0.009	0.000	0.000		
	SC	2.868	0.001	25.530	-0.007	0.000	0.000		
	VX+	-39.228	-0.001	-151.888	-0.004	0.000	0.000		
	VX-	29.333	-0.001	59.105	0.023	0.000	0.000		
	VY+	-4.900	-0.576	-30.880	14.627	0.000	-0.010		
	VY-	-4.897	0.574	-30.880	-14.612	0.000	0.010		
	G4 (CASO 1)	-9.779	0.095	-28.703	-0.803	0.000	-0.001		
	G4 (CASO 2)	9.779	-0.095	28.703	0.803	0.000	0.001		
	G5 (CASO 1)	6.207	-11.954	78.681	97.072	0.000	0.011		
	G5 (CASO 2)	3.418	21.726	69.004	-135.393	0.000	-0.019		
	G5 (CASO 3)	15.061	-11.339	209.590	130.362	0.000	0.012		
	G5 (CASO 4)	12.271	22.341	199.912	-102.103	0.000	-0.018		
	G5 (CASO 5)	23.199	17.936	363.903	-113.382	0.000	-0.015		
	G5 (CASO 6)	25.988	-15.744	373.581	119.083	0.000	0.015		
	A	5	CP	-11.368	-11.880	60.185	72.583	0.000	1.166
			SC	-3.867	-6.485	11.974	42.725	0.000	0.478
			VX+	-4.923	-5.879	10.847	-25.558	0.000	0.566
			VX-	17.422	-6.353	-55.816	-28.387	0.000	-2.105
VY+			1.159	-6.938	-7.735	16.827	0.000	-0.136	
VY-			10.513	30.586	-24.265	-146.933	0.000	-1.301	
G4 (CASO 1)			-11.818	0.131	28.549	1.933	0.000	1.415	
G4 (CASO 2)			11.818	-0.131	-28.549	-1.933	0.000	-1.415	
G5 (CASO 1)			-14.908	-0.131	3.135	2.259	0.000	1.779	
G5 (CASO 2)			-5.895	-0.166	-6.810	-0.151	0.000	0.643	
G5 (CASO 3)			-8.594	-0.055	2.709	1.771	0.000	1.052	
G5 (CASO 4)			0.419	-0.090	-7.236	-0.639	0.000	-0.084	

C		G5 (CASO 5)	1.828	-0.120	-10.271	-0.794	0.000	-0.256		
		G5 (CASO 6)	-7.185	-0.086	-0.326	1.616	0.000	0.879		
		CP	-11.367	11.881	60.188	-72.561	0.000	-1.169		
		SC	-3.865	6.486	11.974	-42.706	0.000	-0.479		
		VX+	-4.925	5.877	10.847	25.545	0.000	-0.564		
		VX-	17.420	6.352	-55.816	28.348	0.000	2.108		
		VY+	10.507	-30.589	-24.265	146.891	0.000	1.306		
		VY-	1.159	6.940	-7.734	-16.836	0.000	0.136		
		G4 (CASO 1)	-0.087	-0.050	0.259	0.414	0.000	-0.010		
		G4 (CASO 2)	0.087	0.050	-0.259	-0.414	0.000	0.010		
		G5 (CASO 1)	2.224	0.040	-1.486	0.185	0.000	0.261		
		G5 (CASO 2)	-2.756	0.092	-0.133	-1.366	0.000	-0.322		
		G5 (CASO 3)	4.254	0.014	-4.462	0.944	0.000	0.500		
		G5 (CASO 4)	-0.726	0.066	-3.109	-0.608	0.000	-0.082		
		G5 (CASO 5)	-4.004	0.123	-4.922	-1.086	0.000	-0.467		
		G5 (CASO 6)	0.977	0.072	-6.275	0.466	0.000	0.116		
		B		CP	-14.838	-0.001	111.395	0.009	0.000	0.000
				SC	-2.868	-0.001	25.529	0.008	0.000	0.000
VX+	-29.333			0.001	59.105	0.003	0.000	0.000		
VX-	39.227			0.001	-151.888	-0.024	0.000	0.000		
VY+	4.900			-0.572	-30.879	14.579	0.000	0.009		
VY-	4.897			0.575	-30.880	-14.596	0.000	-0.010		
G4 (CASO 1)	-12.409			-0.080	28.704	0.679	0.000	0.001		
G4 (CASO 2)	12.409			0.080	-28.704	-0.679	0.000	-0.001		
G5 (CASO 1)	-5.170			0.089	-1.642	-0.201	0.000	0.010		
G5 (CASO 2)	-7.686			0.079	6.956	-1.403	0.000	0.001		
G5 (CASO 3)	-16.077			0.036	1.773	0.505	0.000	0.024		
G5 (CASO 4)	-18.592			0.027	10.371	-0.698	0.000	0.015		
G5 (CASO 5)	-32.460			0.001	15.237	-0.660	0.000	-0.001		
G5 (CASO 6)	-29.944			0.010	6.639	0.543	0.000	0.008		
A	6			CP	0.000	-11.739	55.686	71.011	0.000	0.000
				SC	0.000	-6.423	11.972	42.072	0.000	0.000
				VX+	0.001	-6.216	-22.484	-25.922	0.000	-0.001
				VX-	-0.002	-6.216	-22.484	-25.922	0.000	0.001
		VY+	-0.001	-6.999	-7.723	17.393	0.000	0.000		
		VY-	-0.001	30.461	-24.271	-145.537	0.000	0.000		
		G4 (CASO 1)	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
		G4 (CASO 2)	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
		G5 (CASO 1)	-0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
		G5 (CASO 2)	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
		G5 (CASO 3)	-0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
		G5 (CASO 4)	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
		G5 (CASO 5)	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
		G5 (CASO 6)	-0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
		C		CP	0.000	11.739	55.686	-71.011	0.000	0.000
SC	0.000			6.423	11.972	-42.072	0.000	0.000		
VX+	0.001			6.216	-22.484	25.922	0.000	0.001		

	VX-	-0.002	6.216	-22.484	25.922	0.000	-0.001	
	VY+	-0.001	-30.461	-24.271	145.537	0.000	0.000	
	VY-	-0.001	6.999	-7.723	-17.393	0.000	0.000	
	G4 (CASO 1)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	G4 (CASO 2)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	G5 (CASO 1)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	G5 (CASO 2)	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	G5 (CASO 3)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	G5 (CASO 4)	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	G5 (CASO 5)	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	G5 (CASO 6)	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	B	CP	-0.010	0.000	106.829	0.000	0.000	0.000
		SC	-0.002	0.000	25.533	0.000	0.000	0.000
VX+		0.048	0.000	-46.396	0.000	0.000	0.000	
VX-		-0.033	0.000	-46.396	0.000	0.000	0.000	
VY+		-0.015	-0.641	-30.884	15.166	0.000	0.000	
VY-		-0.015	0.641	-30.884	-15.166	0.000	0.000	
G4 (CASO 1)		0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
G4 (CASO 2)		-0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
G5 (CASO 1)		-0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
G5 (CASO 2)		-0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
G5 (CASO 3)		-0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
G5 (CASO 4)		-0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
G5 (CASO 5)		-0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
G5 (CASO 6)	-0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
A	CP	0.001	-10.584	54.633	63.060	0.000	0.000	
	SC	0.001	-5.306	10.757	34.449	0.000	0.000	
	VX+	0.001	-6.489	-22.197	-24.026	0.000	-0.001	
	VX-	-0.002	-8.514	-19.974	-10.283	0.000	0.001	
	VY+	-0.002	-6.819	-7.487	15.239	0.000	0.000	
	VY-	-0.003	27.983	-22.009	-127.707	0.000	0.000	
	G4 (CASO 1)	0.001	0.111	-0.154	-0.668	0.000	0.000	
	G4 (CASO 2)	-0.001	-0.111	0.154	0.668	0.000	0.000	
	G5 (CASO 1)	-0.002	0.189	-0.191	-1.303	0.000	0.000	
	G5 (CASO 2)	-0.001	0.238	-0.258	-1.617	0.000	0.000	
	G5 (CASO 3)	-0.002	-0.085	0.087	0.612	0.000	0.000	
	G5 (CASO 4)	-0.001	-0.035	0.021	0.299	0.000	0.000	
	G5 (CASO 5)	-0.001	-0.320	0.338	2.204	0.000	0.000	
G5 (CASO 6)	-0.002	-0.369	0.405	2.518	0.000	0.000		
C	CP	0.001	10.582	54.798	-63.057	0.000	0.000	
	SC	0.001	5.306	10.757	-34.449	0.000	0.000	
	VX+	0.001	6.489	-22.197	24.026	0.000	0.001	
	VX-	-0.002	8.514	-19.974	10.283	0.000	-0.001	
	VY+	-0.003	-27.983	-22.009	127.707	0.000	0.000	
	VY-	-0.002	6.819	-7.487	-15.239	0.000	0.000	
	G4 (CASO 1)	0.000	-0.061	-0.032	0.501	0.000	0.000	
	G4 (CASO 2)	0.000	0.061	0.032	-0.501	0.000	0.000	

B	G5 (CASO 1)	0.000	0.206	0.212	-1.418	0.000	0.000	
	G5 (CASO 2)	-0.001	-0.003	-0.006	0.023	0.000	0.000	
	G5 (CASO 3)	0.000	0.459	0.505	-3.098	0.000	0.000	
	G5 (CASO 4)	-0.001	0.250	0.287	-1.656	0.000	0.000	
	G5 (CASO 5)	-0.002	0.298	0.330	-2.020	0.000	0.000	
	G5 (CASO 6)	-0.001	0.507	0.548	-3.461	0.000	0.000	
	CP	-0.009	-0.001	108.286	0.004	0.000	0.000	
	SC	-0.002	0.000	25.741	0.000	0.000	0.000	
	VX+	0.050	0.000	-52.872	0.000	0.000	0.000	
	VX-	-0.031	0.000	-39.416	0.000	0.000	0.000	
	VY+	-0.028	-0.215	-33.084	10.290	0.000	0.000	
	VY-	-0.028	0.215	-33.084	-10.290	0.000	0.000	
	G4 (CASO 1)	0.004	-0.145	-0.110	0.997	0.000	0.000	
	G4 (CASO 2)	-0.004	0.145	0.110	-0.997	0.000	0.000	
	G5 (CASO 1)	-0.009	-0.121	0.259	0.582	0.000	0.000	
	G5 (CASO 2)	-0.003	-0.093	-0.356	0.495	0.000	0.000	
	G5 (CASO 3)	-0.020	-0.181	0.109	1.023	0.000	0.000	
	G5 (CASO 4)	-0.014	-0.153	-0.507	0.936	0.000	0.000	
G5 (CASO 5)	-0.028	-0.019	-0.666	0.149	0.000	0.000		
G5 (CASO 6)	-0.034	-0.047	-0.050	0.236	0.000	0.000		
A	CP	0.001	-8.664	35.823	54.218	0.000	0.000	
	SC	0.001	-4.330	7.202	28.669	0.000	0.000	
	VX+	-1.902	-3.347	-13.439	-17.133	0.000	-0.090	
	VX-	3.331	-1.329	-15.660	-30.809	0.000	0.157	
	VY+	-3.802	-4.237	-4.765	12.125	0.000	-0.178	
	VY-	-3.803	20.238	-16.415	-102.711	0.000	-0.178	
	G4 (CASO 1)	0.001	-0.111	0.154	0.669	0.000	0.000	
	G4 (CASO 2)	-0.001	0.111	-0.154	-0.669	0.000	0.000	
	G5 (CASO 1)	-0.002	-0.189	0.191	1.303	0.000	0.000	
	G5 (CASO 2)	-0.001	-0.239	0.258	1.618	0.000	0.000	
	G5 (CASO 3)	-0.002	0.085	-0.087	-0.613	0.000	0.000	
	G5 (CASO 4)	-0.001	0.035	-0.021	-0.298	0.000	0.000	
	G5 (CASO 5)	-0.001	0.320	-0.338	-2.204	0.000	0.000	
	G5 (CASO 6)	-0.002	0.369	-0.405	-2.519	0.000	0.000	
	C	CP	0.001	8.666	35.657	-54.221	0.000	0.000
		SC	0.001	4.330	7.202	-28.669	0.000	0.000
		VX+	-1.902	3.347	-13.439	17.133	0.000	0.090
		VX-	3.331	1.329	-15.661	30.809	0.000	-0.157
VY+		-3.803	-20.239	-16.415	102.711	0.000	0.178	
VY-		-3.802	4.237	-4.765	-12.125	0.000	0.178	
G4 (CASO 1)		0.000	0.061	0.032	-0.501	0.000	0.000	
G4 (CASO 2)		0.000	-0.061	-0.032	0.501	0.000	0.000	
G5 (CASO 1)		0.000	-0.206	-0.212	1.419	0.000	0.000	
G5 (CASO 2)		-0.001	0.003	0.006	-0.024	0.000	0.000	
G5 (CASO 3)		0.000	-0.459	-0.505	3.099	0.000	0.000	
G5 (CASO 4)		-0.001	-0.250	-0.287	1.656	0.000	0.000	
G5 (CASO 5)		-0.002	-0.298	-0.330	2.020	0.000	0.000	

B	G5 (CASO 6)	-0.001	-0.507	-0.548	3.462	0.000	0.000
	CP	-0.009	0.001	62.694	-0.005	0.000	0.000
	SC	-0.002	0.000	12.557	0.000	0.000	0.000
	VX+	-2.752	0.000	-20.658	0.000	0.000	0.000
	VX-	4.878	0.000	-34.117	0.000	0.000	0.000
	VY+	-5.635	-0.800	-15.791	13.713	0.000	0.000
	VY-	-5.635	0.800	-15.791	-13.713	0.000	0.000
	G4 (CASO 1)	0.004	0.145	0.110	-0.997	0.000	0.000
	G4 (CASO 2)	-0.004	-0.145	-0.110	0.997	0.000	0.000
	G5 (CASO 1)	-0.009	0.121	-0.259	-0.583	0.000	0.000
	G5 (CASO 2)	-0.002	0.093	0.356	-0.495	0.000	0.000
	G5 (CASO 3)	-0.020	0.181	-0.109	-1.024	0.000	0.000
	G5 (CASO 4)	-0.014	0.153	0.507	-0.936	0.000	0.000
	G5 (CASO 5)	-0.027	0.019	0.666	-0.149	0.000	0.000
	G5 (CASO 6)	-0.034	0.047	0.050	-0.236	0.000	0.000