

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

**CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO DE
EDIFÍCIO INDUSTRIAL**

DIEGO FOUREAUX TEIXEIRA

ÍNDICE

| <u>ITEM</u> | <u>DESCRIÇÃO</u> | <u>FOLHA</u> |
|-------------|---------------------------------------|--------------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 3 |
| 2 | OBJETIVO | 6 |
| 3 | PROGRAMAS UTILIZADOS | 8 |
| 4 | DESENVOLVIMENTO | 8 |
| 4.1 | Dados do edifício | 8 |
| 4.2 | CARGAS | 10 |
| 4.2.1 | CARGAS PERMANENTES | 11 |
| 4.2.2 | SOBRECARGA | 16 |
| 4.2.3 | Cargas de vento | 17 |
| 4.3 | RESOLUÇÃO DAS QUESTÕES | 19 |
| 4.3.1 | QUESTÃO 1 | 19 |
| 4.3.2 | QUESTÃO 2 | 21 |
| 4.3.3 | QUESTÃO 3 | 22 |
| 4.3.4 | QUESTÃO 4 | 39 |
| 4.3.5 | QUESTÃO 5 | 45 |
| 4.3.6 | QUESTÃO 7 | 48 |
| 4.3.7 | QUESTÃO 8 | 49 |
| 4.3.8 | QUESTÃO 9 | 52 |
| 4.3.9 | QUESTÃO 10 | 55 |
| 4.3.10 | QUESTÃO 11 | 59 |
| 5 | CONCLUSÃO | 60 |
| 6 | NORMAS / BIBLIOGRAFIA ADOTADAS | 60 |

INTRODUÇÃO

No Brasil, as estruturas metálicas são muito empregadas em galpões industriais, plataformas petrolíferas, edificações comerciais predominantemente horizontais, como centros de compras, revendedoras de veículos, etc., ginásios de esportes, construções para eventos, espetáculos e feiras e torres de transmissão de energia elétrica e de telecomunicações. No entanto, seu uso ainda é relativamente pequeno nas pontes e muito reduzido em edifícios altos residenciais, comerciais e públicos, possuindo nesses tipos de obra enorme potencial de crescimento.

A engenharia brasileira encontra-se capacitada para levar adiante construções arrojadas com estruturas de aço e a indústria nacional do setor pode fornecer todos os produtos necessários. O país é um dos grandes produtores mundiais de aço, possuindo usinas siderúrgicas reconhecidas internacionalmente, muitas das quais fabricam, além do próprio aço, também perfis estruturais.

É interessante notar que, já na construção de Brasília, entre 1955 e 1960, os edifícios dos ministérios e a torre do congresso nacional foram feitos com estrutura de aço, conforme se vê na figura 1 (fonte: www.geocities.com)

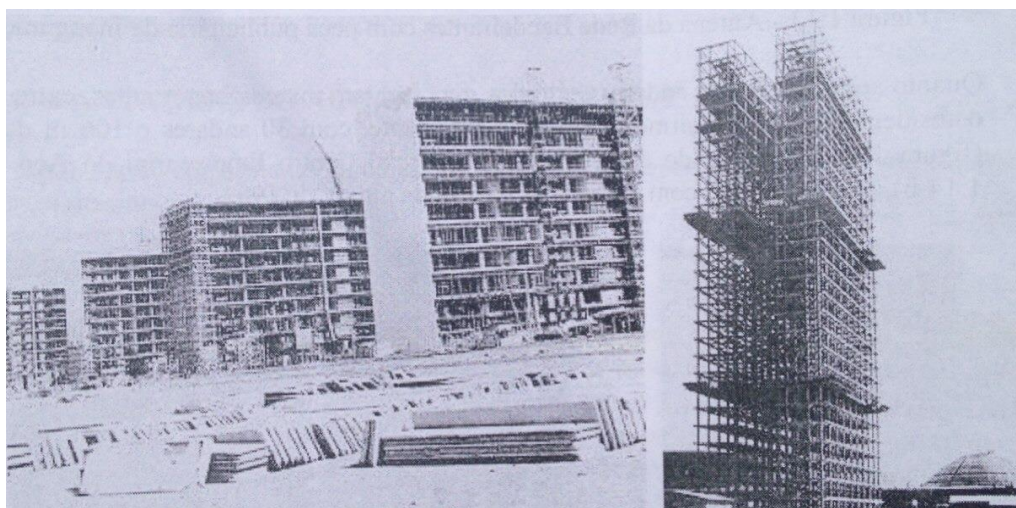


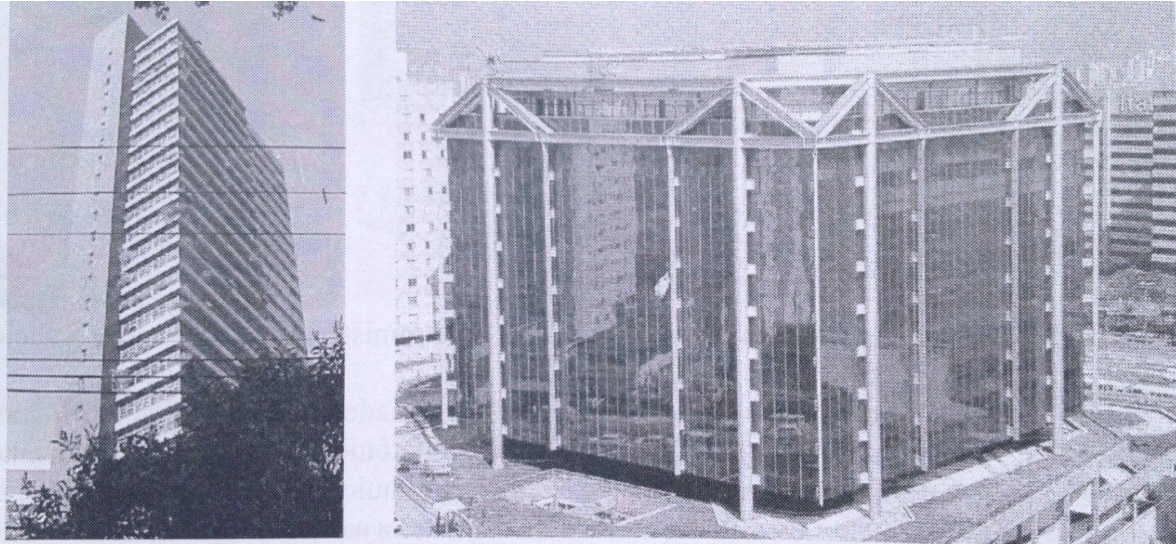
Figura 1 – Estruturas de aço dos edifícios dos ministérios e do congresso nacional

Mais recentemente, várias obras ousadas têm chamado a atenção, seja pelo porte da estrutura, seja pela beleza, seja pela inovação arquitetônica. Um exemplo a ser citado é a antena da Rede Bandeirantes de Televisão, em São Paulo, de 1996, que atinge 212 m e é a construção mais alta do Brasil (figura 2 - fonte: www.skyscraperlife.com, acesso em 19/01/2009, onde se vê também imagem publicada como divulgação na época da inauguração). Na parte inferior da obra, a estrutura metálica recebe o fechamento, funcionando como um edifício comercial de 8 pavimentos da própria empresa.



Figura 2 – Antena da Rede Bandeirantes com peça publicitária de inauguração

Quanto aos edifícios de andares múltiplos, representam marcos importantes, entre outros, o residencial Parque Fairmont, em Belo Horizonte, com 30 andares e 106 m de altura (figura 3-a), concluído em 1991, e o comercial Centro Empresarial de Aço (figura 3-b), em São Paulo, com 14 andares e 43m de altura, de 1992.



(a)Parque Fairmont

(b)Centro Empresarial do Aço

Figura 3 – Exemplos de edifícios de andares múltiplos brasileiros

Uma obra que tem chamado a atenção é a Ponte JK, inaugurada em 2002 sobre o Lago Paranoá, ligando a área de clubes ao plano piloto de Brasília, cuja estrutura conta com três arcos que sustentam, por meio de estais de aço, três tabuleiros, cada um com vão de 240m (figura 4 – fonte: PT.wikipedia.org, acesso em 19/01/2009).

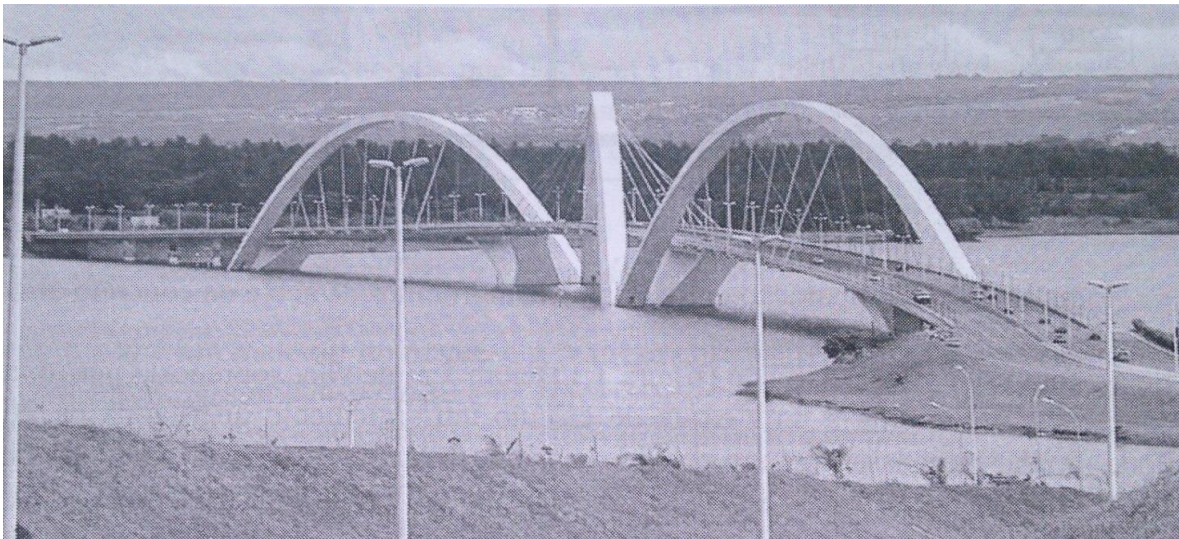


Figura 4 – Ponte JK

1 OBJETIVO

Esse trabalho tem como objetivo desenvolver o cálculo e dimensionamento de um edifício industrial de dois pavimentos para escritório, com pilares e vigas em perfis de alma cheia e tesoura treliçada na cobertura .

Este trabalho seguirá um roteiro , apresentado a seguir:

1. Verificar se ações dispostas sobre os pórticos internos estão totalmente corretas, mantendo todas as hipóteses estipuladas, inclusive aquelas referentes às estimativas de pesos próprios das barras.
2. Pré dimensionar as barras que compõem os pórticos internos, sabendo-se que:
 - a)os pilares (barras 1 a 4) devem possuir perfil laminado do tipo H da GERDAU AÇOMINAS com altura de 250 mm ou 310 mm , em aço ASTM A572-Grau 50
 - b)a viga do pórtico (barras 5 a 8) deve possuir perfil soldado da série VS da ABNT NBR 5884 com altura entre 550 mm e 650 mm (usar apenas os perfis tabelados no apêndice C da Apostila do curso), em aço USI CIVIL 300;
 - c)as cordas inferiores (barras 9 a 12) e superiores da treliça de cobertura (barras 13 a 16), devem possuir perfil em cantoneira dupla da série baseada em polegadas com abas entre 50,8mm e 76,2 mm, em aço ASTM A36
 - d)os montantes (barras 17,19 e 21) e as diagonais (barras 18 e 20) da treliça de cobertura devem possuir perfil em cantoneira dupla da série baseada em polegadas com abas entre 44,45 mm e 63,5 mm , em aço ASTM A36

As ações decorrentes de peso próprio não devem ser alteradas (manter ações estimadas) no item 1.
3. Obter todas as combinações últimas de ações possíveis , visando a análise estrutural pelo procedimento unificado do subitem 5.5.2.3 da Apostila do curso. Adotar as ações agrupadas, conforme o subitem 4.3.2.3.2 da apostila do curso, levando-se em conta os fatores de combinação.

4. Efetuar a análise estrutural dos pórticos internos para todas as combinações últimas de ações , usando o Método da amplificação dos esforços Solicitantes (MAES) , e obter , para cada uma das combinações , os máximos esforços solicitantes de cálculo nas barras. Nesta etapa , verificar , com base na sensibilidade da estrutura a deslocamentos horizontais, se o procedimento usado para a análise estrutural é válido.
5. Dimensionar as barras que podem estar submetidas a força axial de tração de cálculo da treliça de cobertura dos pórticos internos, sabendo-se que as mesmas terão ligações soldada por apenas uma das abas, como ilustra a figura a seguir, utilizando, se necessário chapas espaçadoras. Usar cantoneira dupla da série baseada em polegadas, em aço ASTM A36 . Todas as barras da corda inferior devem ter a mesma seção transversal, assim como todas as barras da corda superior, todas as barras das diagonais e todas as barras dos montantes. Considerar estados limites últimos e de serviço.
6. (cancelado pelo professor)
7. Dimensionar as barras que podem estar submetidas a força axial de compressão de cálculo de treliça de cobertura dos pórticos internos, prevendo chapas espaçadoras se necessárias. Usar cantoneira dupla da série baseada em polegadas, em aço ASTM A36 . Todas as barras da corda inferior devem ter a mesma seção transversal, assim como todas as barras da corda superior, todas as barras das diagonais e todas as barras dos montantes. Considerar estados limites últimos e de serviço.
8. Verificar a viga dos pórticos internos em perfil soldado da série VS da ABNT NBR 5884 (Usar apenas os perfis tabelados no Apêndice C da apostila do curso), em aço USI CIVIL 300. Considerar estados limites últimos e de serviço.
9. Dimensionar as vigas V1 e V2 do piso do segundo pavimento, usando perfis laminados da GERDAU AÇOMINAS , em aço ASTM A572-Grau 50. Considerar estados limites últimos e de serviço
10. Dimensionar os pilares dos pórticos internos em perfil H laminado da GERDAU AÇOMINAS , em aço ASTM A572-Grau 50. Todos os pilares do 1º e 2º pavimentos devem ter a mesma seção transversal. Considerar estados limites últimos e de serviço.
11. Com os perfis obtidos no dimensionamento, verificar o deslocamento horizontal dos pórticos internos.

2 PROGRAMAS UTILIZADOS

- AUTOCAD
- STRAP 2011
- VISUAL VENTOS
- FTOOLS

3 DESENVOLVIMENTO

Os cálculos dos esforços no edifício foram feitos utilizando o software FTOOLS, já o dimensionamento das barras foram feitos de forma manual conforme cálculos em anexo.

A verificação dos deslocamentos foi feita com o software STRAP 2011.

3.1 Dados do edifício

- Edifício de dois pavimentos para escritório
- Pilares e vigas de alma cheia
- Tesoura treliçada na cobertura
- Edifício estabilizado através de pórticos transversais nos eixos 1 a 7 e através de contraventamentos na cobertura entre os eixos 1 e 2 e entre os eixos 6 e 7 e pelos contraventamentos verticais em x situados entre os eixos 2 e 3 e entre 5 e 6 , nas filas A e B.
- A laje e a cobertura comportam-se como diafragmas rígidos
- Dimensões conforme figuras 5,6,7 e 8 a seguir.

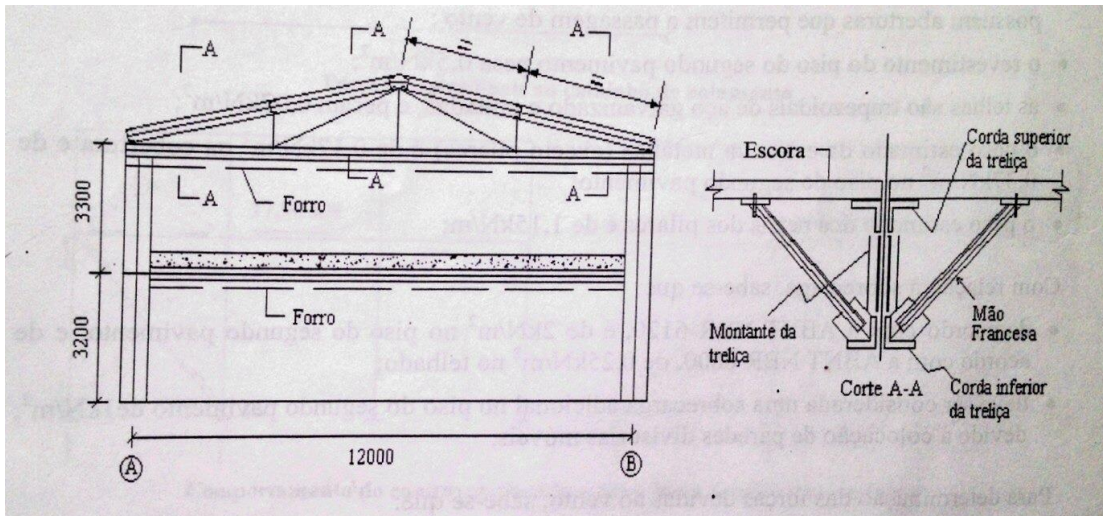


Figura 5 – Seção Transversal

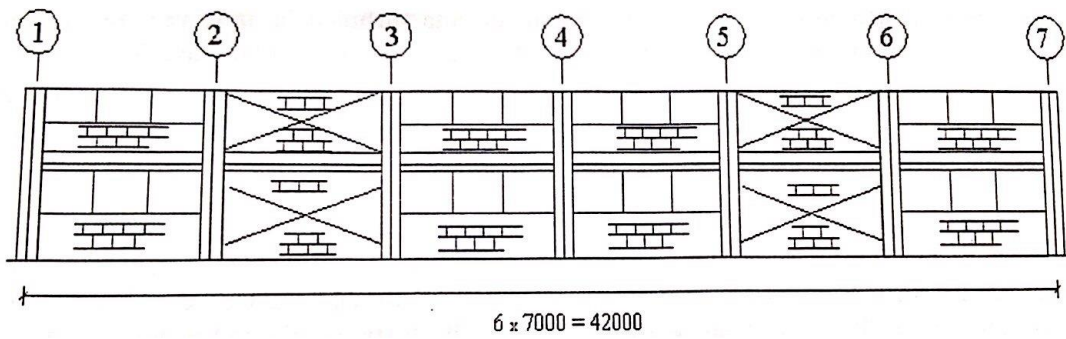


Figura 6 – Fachadas laterais

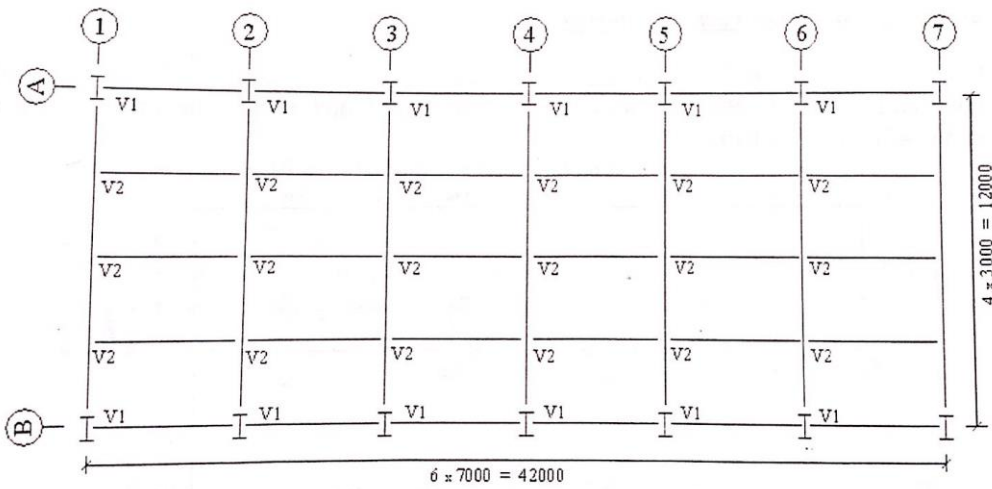


Figura 7 – Piso do segundo pavimento

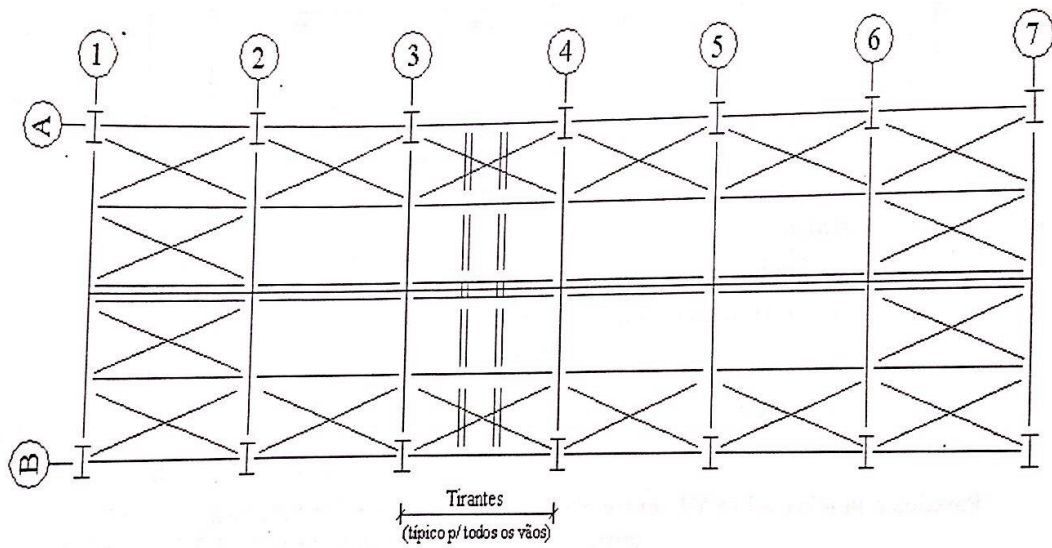


Figura 8 – Cobertura

3.2 CARGAS

Para facilitar nomeamos as barras e os nós conforme figuras 9 e 10.

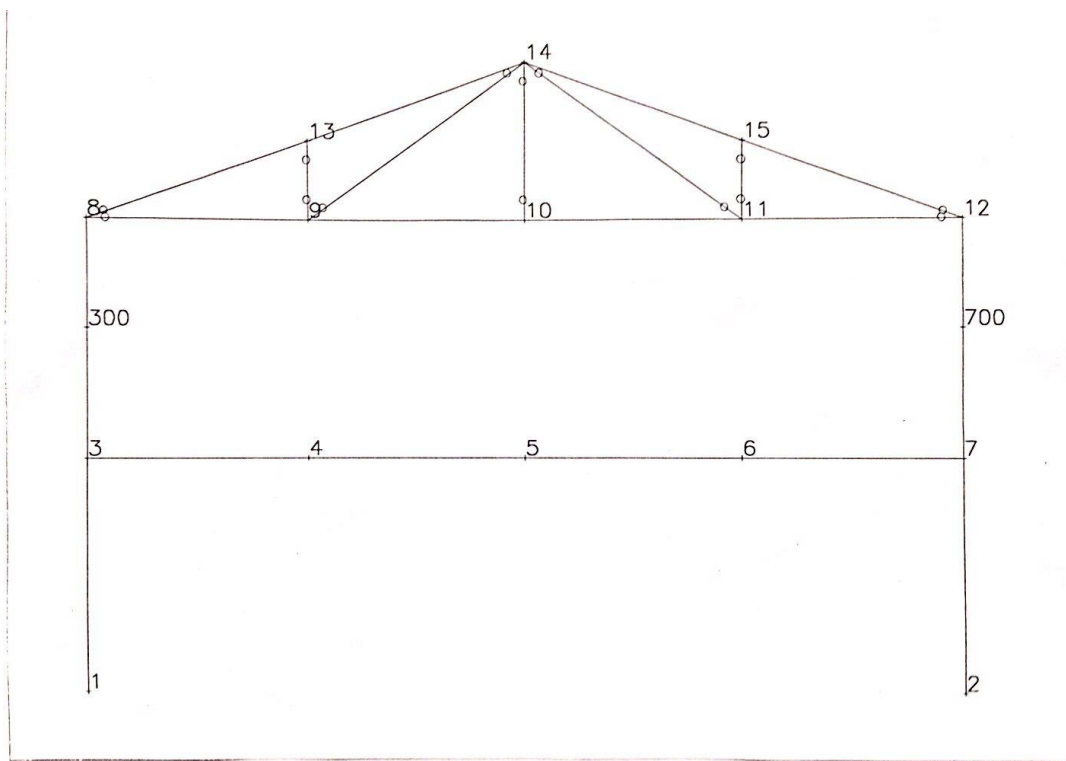


Figura 9 – Nós

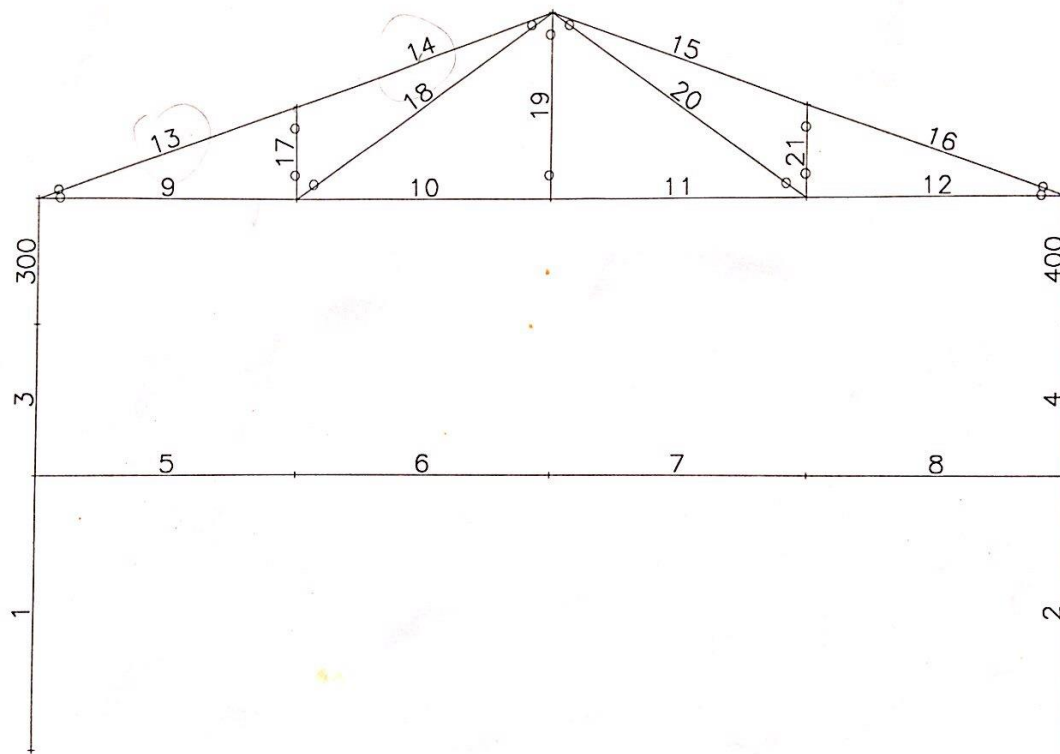


Figura 10 – Barras

3.2.1 CARGAS PERMANENTES

- Alvenaria com peso total de 2 Kn/m^2 , em toda a altura das fachadas laterais entre os eixos 5 e 6, e apenas na semi-altura inferior entre os demais eixos onde existem janelas na semi-altura superior, com peso de $0,2 \text{ kN/m}^2$
- Nas fachadas transversais (eixos 1 e 7), existem vidros estanques ao vento que pesam $0,4 \text{ kN/m}^2$
- A laje de concreto tem 10 cm de espessura, é maciça e armada apenas na direção do menor lado de cada painel.
- Os forros falsos nos tetos do primeiro e do segundo pavimento pesam $0,2 \text{ k/m}^2$ e possuem aberturas que permitam a passagem de vento.
- O revestimento do piso do segundo pavimento pesa $0,5 \text{ Kn/m}^2$.
- As telhas são trapezoidais de aço galvanizada e pintada e pesam $0,07 \text{ kN/m}^2$,

- O peso estimado da estrutura (exceto pilares) é de 0,17 kN/m² na cobertura e de 0,37 kN/m² no piso do segundo pavimento.
- O peso estimado dos pilares é de 1,15 kN/m.

Para jogar as cargas no STRAP 2011, as cargas foram divididas em :

1. Telhas
2. Estrutura da cobertura
3. Forro da cobertura
4. Estrutura de vigamento
5. Forro do pavimento
6. Laje
7. Revestimento
8. Alvenaria Lateral
9. Peso dos pilares

O STRAP 2011 analisa as cargas nas área e nas barras, e através da largura de influência dos nós, calcula a força resultante nos nós em que a carga incide.

A seguir são apresentadas as tabelas geradas dos esforços nos nós de cada sub-divisão da carga permanente , em toneladas.

| Carga n.º 1: Telhas (unidades - tf metro) | | | | | | |
|---|----|---------|----|----|----|----|
| LISTA DE CARGAS NOS NÓS | | | | | | |
| NÓ | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 |
| 8 | 0. | -0.0782 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 12 | 0. | -0.0782 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 13 | 0. | -0.1564 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 14 | 0. | -0.1564 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 15 | 0. | -0.1564 | 0. | 0. | 0. | 0. |

| Carga n.º 2: Estrutura da cobertura (unidades - tf metro) | | | | | | |
|---|----|---------|----|----|----|----|
| LISTA DE CARGAS NOS NÓS | | | | | | |
| NÓ | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 |
| 8 | 0. | -0.1851 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 12 | 0. | -0.1851 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 13 | 0. | -0.3701 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 14 | 0. | -0.3701 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 15 | 0. | -0.3701 | 0. | 0. | 0. | 0. |

| Carga n.º 3: Forro cobertura (unidades - tf metro) | | | | | | |
|--|----|---------|----|----|----|----|
| LISTA DE CARGAS NOS NÓS | | | | | | |
| NÓ | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 |
| 8 | 0. | -0.2043 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 9 | 0. | -0.4099 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 10 | 0. | -0.4086 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 11 | 0. | -0.4099 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 12 | 0. | -0.2043 | 0. | 0. | 0. | 0. |

| Carga n.º 4: Estrutura vigamento (unidades - tf metro) | | | | | | |
|--|----|---------|----|----|----|----|
| LISTA DE CARGAS NOS NÓS | | | | | | |
| NÓ | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 |
| 3 | 0. | -0.3885 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 4 | 0. | -0.777 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 5 | 0. | -0.777 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 6 | 0. | -0.777 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 7 | 0. | -0.3885 | 0. | 0. | 0. | 0. |

| Carga n.º 5: Forro pavimento (unidades - tf metro) | | | | | | |
|--|----|-------|----|----|----|----|
| LISTA DE CARGAS NOS NÓS | | | | | | |
| NÓ | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 |
| 3 | 0. | -0.21 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 4 | 0. | -0.42 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 5 | 0. | -0.42 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 6 | 0. | -0.42 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 7 | 0. | -0.21 | 0. | 0. | 0. | 0. |

| Carga n.º 6: Laje (unidades - tf metro) | | | | | | |
|---|----|--------|----|----|----|----|
| LISTA DE CARGAS NOS NÓS | | | | | | |
| NÓ | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 |
| 3 | 0. | -2.625 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 4 | 0. | -5.25 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 5 | 0. | -5.25 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 6 | 0. | -5.25 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 7 | 0. | -2.625 | 0. | 0. | 0. | 0. |

| Carga n.º 7: Revestimento (unidades - tf metro) | | | | | | |
|---|----|--------|----|----|----|----|
| LISTA DE CARGAS NOS NÓS | | | | | | |
| NÓ | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 |
| 3 | 0. | -0.525 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 4 | 0. | -1.05 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 5 | 0. | -1.05 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 6 | 0. | -1.05 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 7 | 0. | -0.525 | 0. | 0. | 0. | 0. |

| Carga n.º 8: Alvenaria Lateral (unidades - tf metro) | | | | | | |
|--|----|--------|----|----|----|----|
| LISTA DE CARGAS NOS NÓS | | | | | | |
| NÓ | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 |
| 3 | 0. | -2.541 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 7 | 0. | -2.541 | 0. | 0. | 0. | 0. |

| Carga n.º 9: Peso dos pilares (unidades - tf metro) | | | | | | |
|---|----|---------|----|----|----|----|
| LISTA DE CARGAS NOS NÓS | | | | | | |
| NÓ | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 |
| 3 | 0. | -0.368 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 7 | 0. | -0.368 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 8 | 0. | -0.3795 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 12 | 0. | -0.3795 | 0. | 0. | 0. | 0. |

Para obtermos o somatório das cargas em cada nó, basta somar as cargas incidentes em cada nó, conforme figura 11 e figura 12.

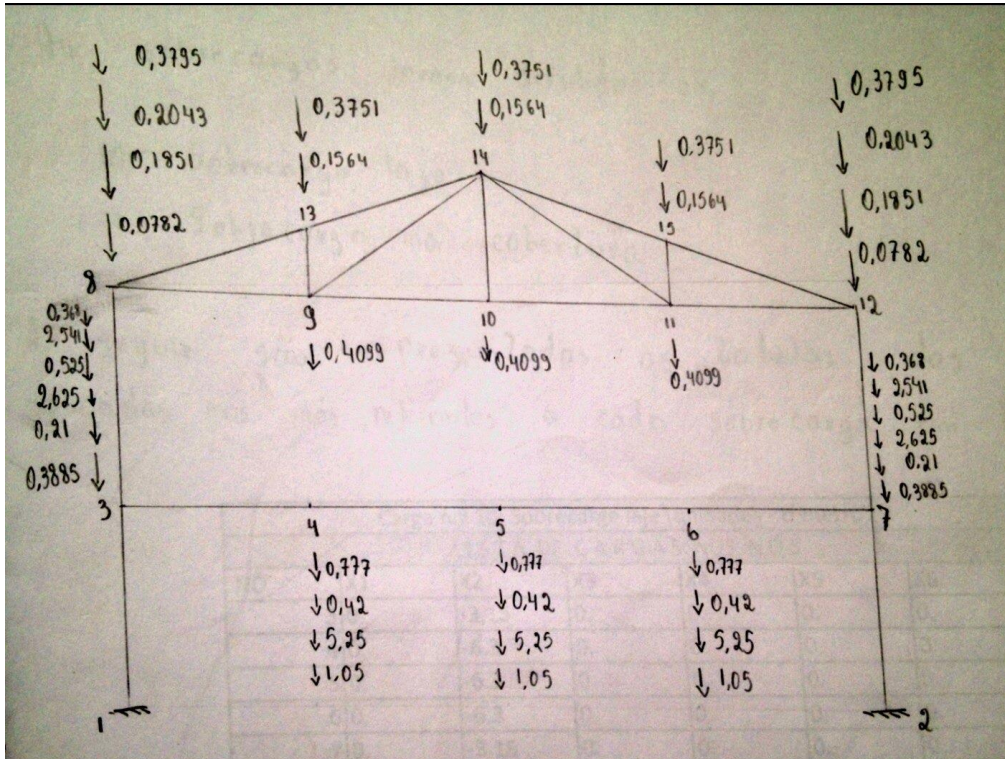


Figura 11 – Cargas permanentes

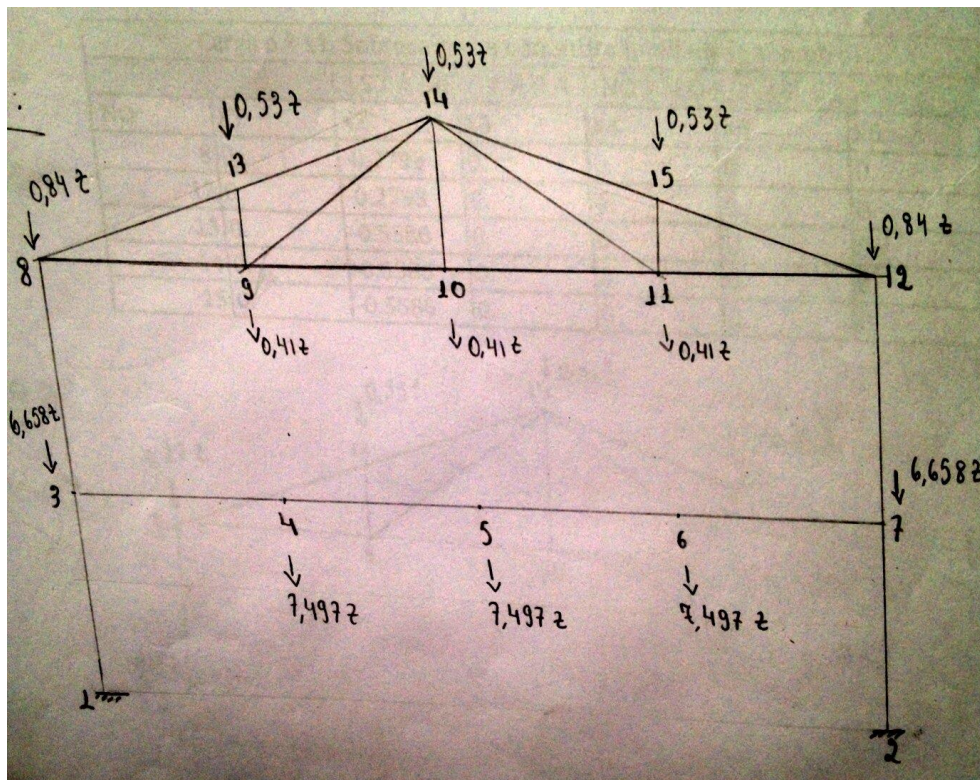


Figura 12 – Somatório de cargas permanentes

3.2.2 SOBRECARGA

Com relação a sobrecarga, sabe-se que:

- De acordo com a ABNT NBR 6120 , é de 2 Kn/m² no piso do segundo pavimento, e de acordo com a ABNT NBR 8800, DE 0,25 Kn/m² no telhado
- Deve ser considerado uma sobrecarga adicional no piso do segundo pavimento de 1kN/m² , devido a colocação de paredes divisórias móveis.

Para o programa, dividiu-se as sobrecargas em :

1. Sobrecargas de laje
2. Sobrecarga na cobertura

A seguir são apresentadas as tabelas das forças aplicadas nos nós, referentes a cada sobrecarga , em toneladas.

| Carga n.º 10: Sobrecarga laje (unidades - tf metro) | | | | | | |
|---|----|-------|----|----|----|----|
| LISTA DE CARGAS NOS NÓS | | | | | | |
| NÓ | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 |
| 3 | 0. | -3.15 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 4 | 0. | -6.3 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 5 | 0. | -6.3 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 6 | 0. | -6.3 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 7 | 0. | -3.15 | 0. | 0. | 0. | 0. |

| Carga n.º 11: Sobrecarga na cobertura (unidades - tf metro) | | | | | | |
|---|----|---------|----|----|----|----|
| LISTA DE CARGAS NOS NÓS | | | | | | |
| NÓ | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 |
| 8 | 0. | -0.2793 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 12 | 0. | -0.2793 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 13 | 0. | -0.5586 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 14 | 0. | -0.5586 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 15 | 0. | -0.5586 | 0. | 0. | 0. | 0. |

Somatório de cargas apresentado a seguir conforme figura 13.

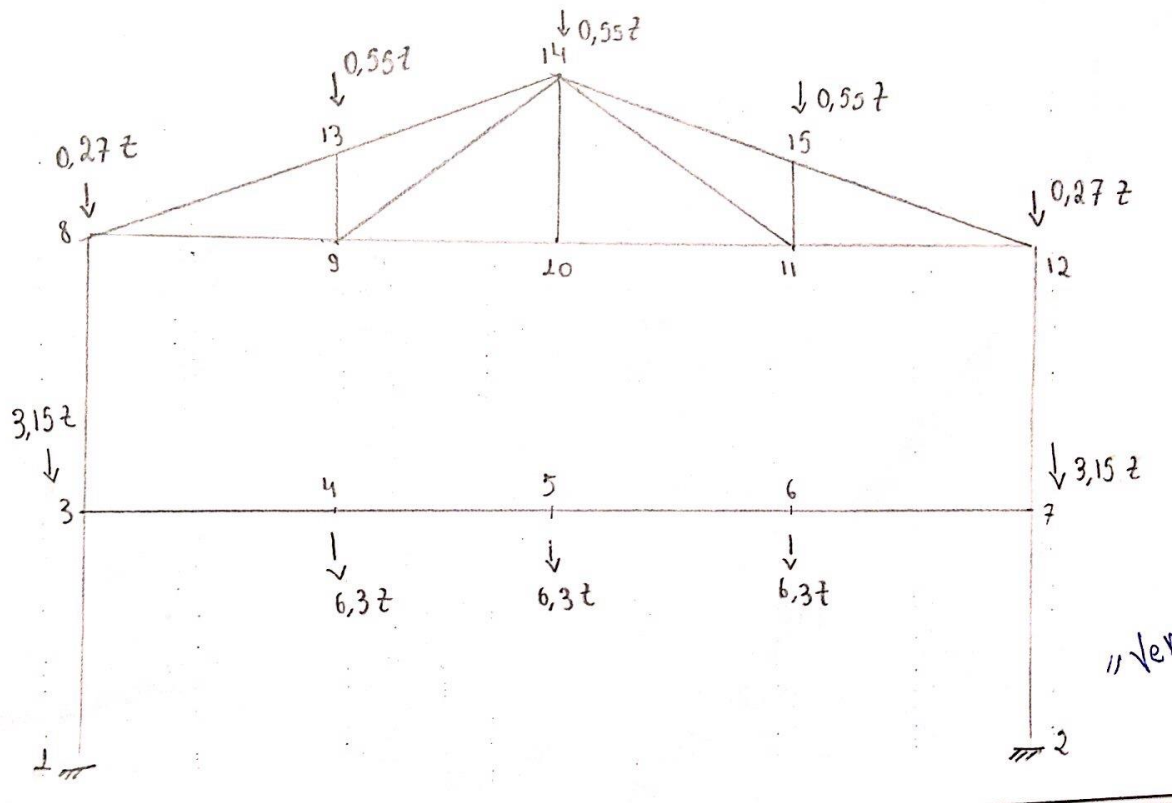


Figura 13 – Somatório de sobrecargas

3.2.3 Cargas de vento

Para determinação das forças devido ao vento, sabe-se que:

- O edifício situa-se em um subúrbio densamente construído de uma grande cidade brasileira, onde a velocidade básica do vento é de 35 m/s.
- O edifício não se encontra sujeito a vento de alta turbulência, uma vez que sua altura supera a duas vezes a altura média das construções situadas num raio de 500m.
- Podem ser desconsideradas excentricidades das forças de vento, uma vez que o edifício não possui forma paralelepípedica (o telhado inclinado tem dimensões de tamanho significativo à altura das paredes)

De acordo com as dimensões do edifício e sua localização temos os seguintes dados, de acordo com a ABNT NBR 6123.

- S1: 1 (Terreno Plano)

- S2: 0,76 para alturas até 5 metros, 0,83 para alturas de 5 a 10 metros (Cat IV, classe B)
- S3:1 (Grupo 2)

Logo para $h < 5$ metros ($V_k=26,6\text{m/s}$ e $q=0,43\text{kN/m}^2$)

para $5 \text{ metros} < h < 10 \text{ metros}$ ($V_k=29,05 \text{ m/s}$ e $q=0,52\text{kN/m}^2$)

De acordo com as tabelas da norma, o C_e tem os seguintes valores(figura 14):

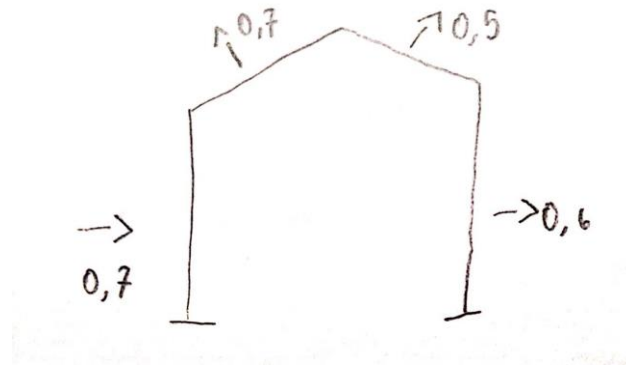


Figura 14-Coeficiente externo

Por se tratar de duas fachadas longitudinais igualmente permeáveis e duas fachadas transversais impermeáveis , considera-se o $C_{PI} = +0,2$

Seguem as cargas de acordo com a tabela abaixo:

| Carga n.º 12: Vento (unidades - tf metro) | | | | | | |
|---|---------|--------|----|----|----|---------|
| LISTA DE CARGAS NOS NÓS | | | | | | |
| NÓ | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 |
| 1 | 0.2064 | 0. | 0. | 0. | 0. | -0.1101 |
| 3 | 0.3225 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.0753 |
| 7 | 0.1854 | 0. | 0. | 0. | 0. | -0.0556 |
| 8 | -0.0361 | 0.4215 | 0. | 0. | 0. | 0.0293 |
| 12 | 0.3063 | 0.327 | 0. | 0. | 0. | 0.0469 |
| 13 | -0.3063 | 0.843 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 14 | -0.0343 | 0.7485 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 15 | 0.2376 | 0.654 | 0. | 0. | 0. | 0. |
| 300 | 0.2331 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.0056 |
| 700 | 0.3729 | 0. | 0. | 0. | 0. | 0.0087 |

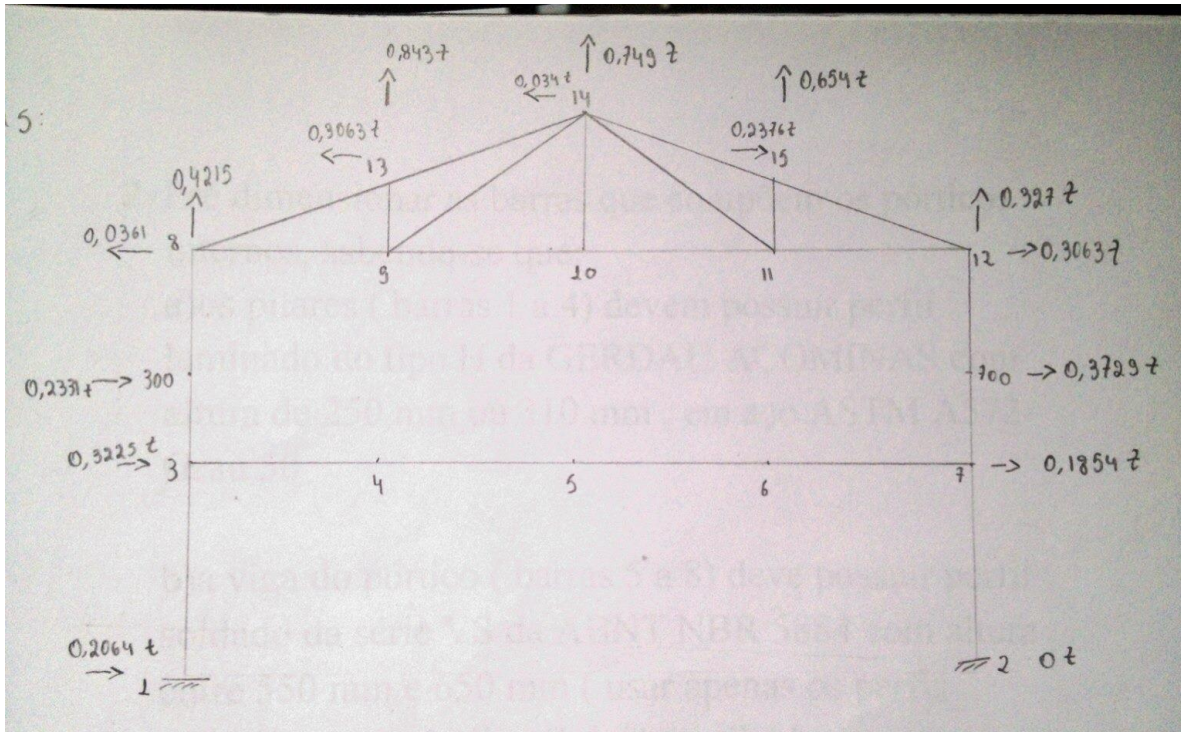


Figura 15 – Somatório de carga de vento

3.3 RESOLUÇÃO DAS QUESTÕES

3.3.1 QUESTÃO 1

Observa-se que as forças obtidas no programa STRAP conferem com as cargas da apostila fornecida para o desenvolvimento do trabalho, que apresenta as seguintes figuras 16,17 e

18

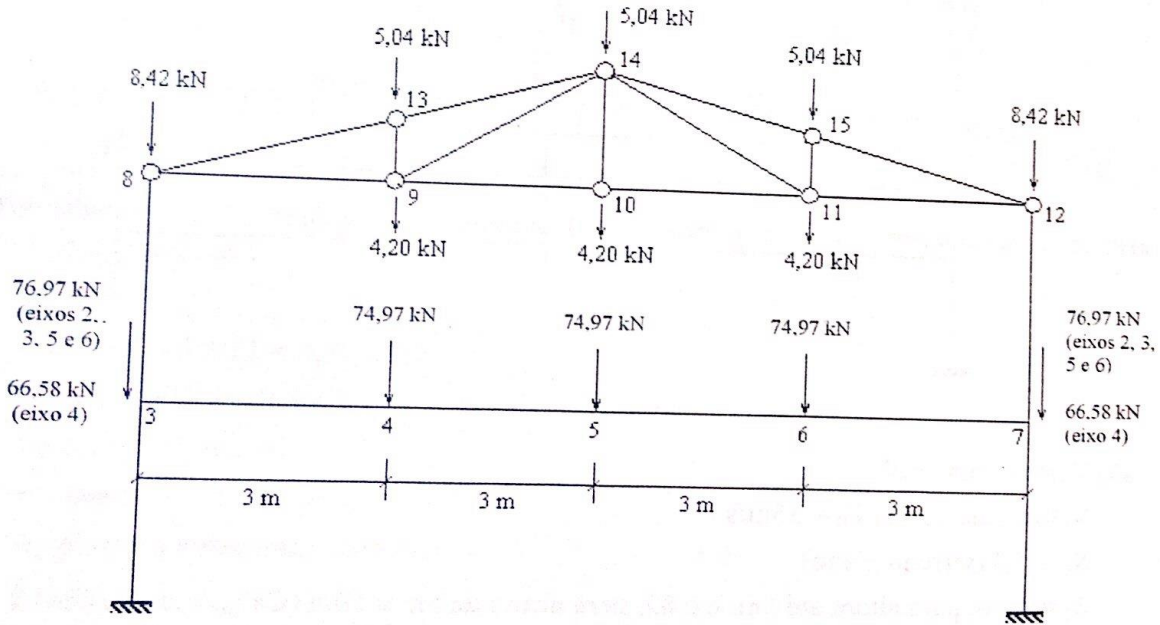


Figura 16 – Cargas permanentes

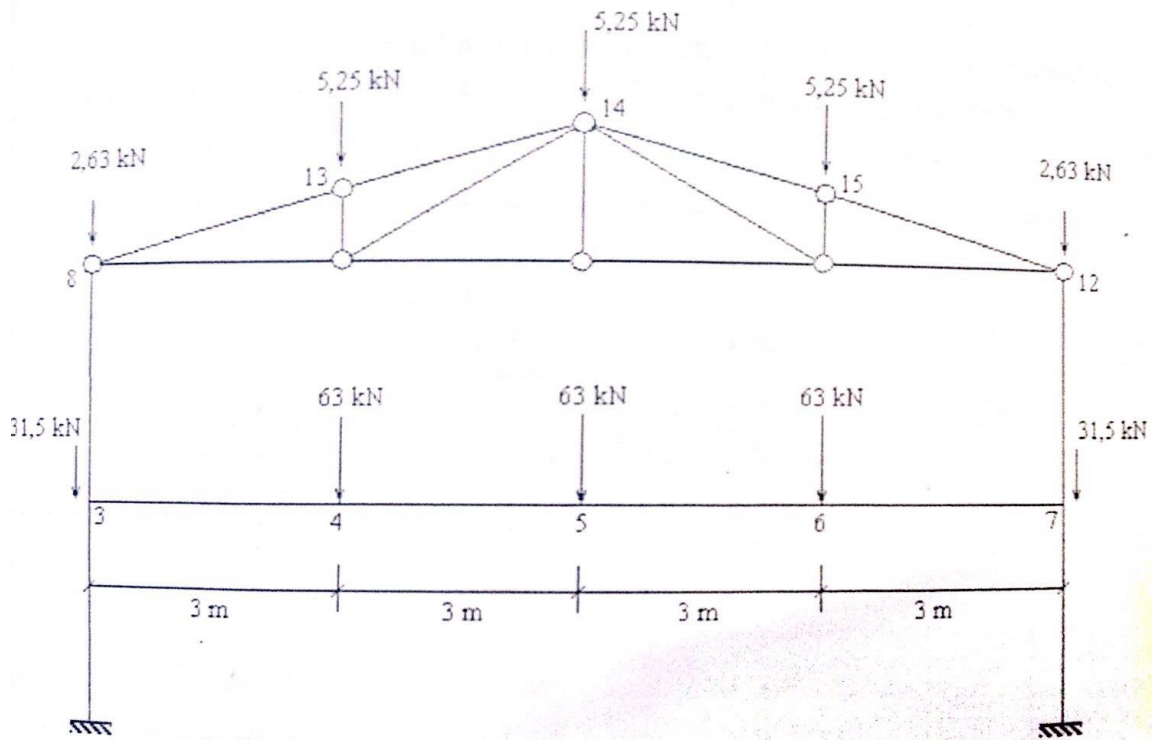


Figura 17 - Sobrecarga

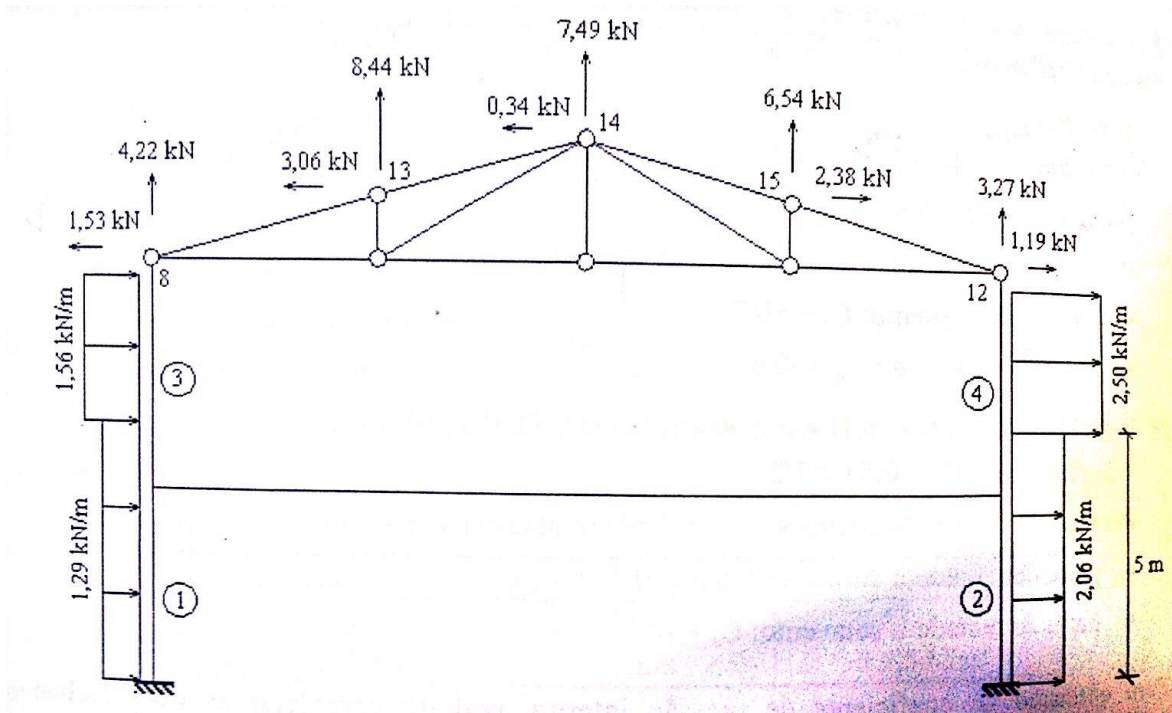


Figura 18 – Cargas de vento

3.3.2 QUESTÃO 2

Foram escolhidas

- Para os pilares um HP 310X79
- Para a vida do pórtico um VS 650X114
- Para as cordas da treliça um 2L 2”X3/16 “
- Para os montantes e diagonais um 2L 1,75”X3/16”

Conforme figura 19 abaixo:

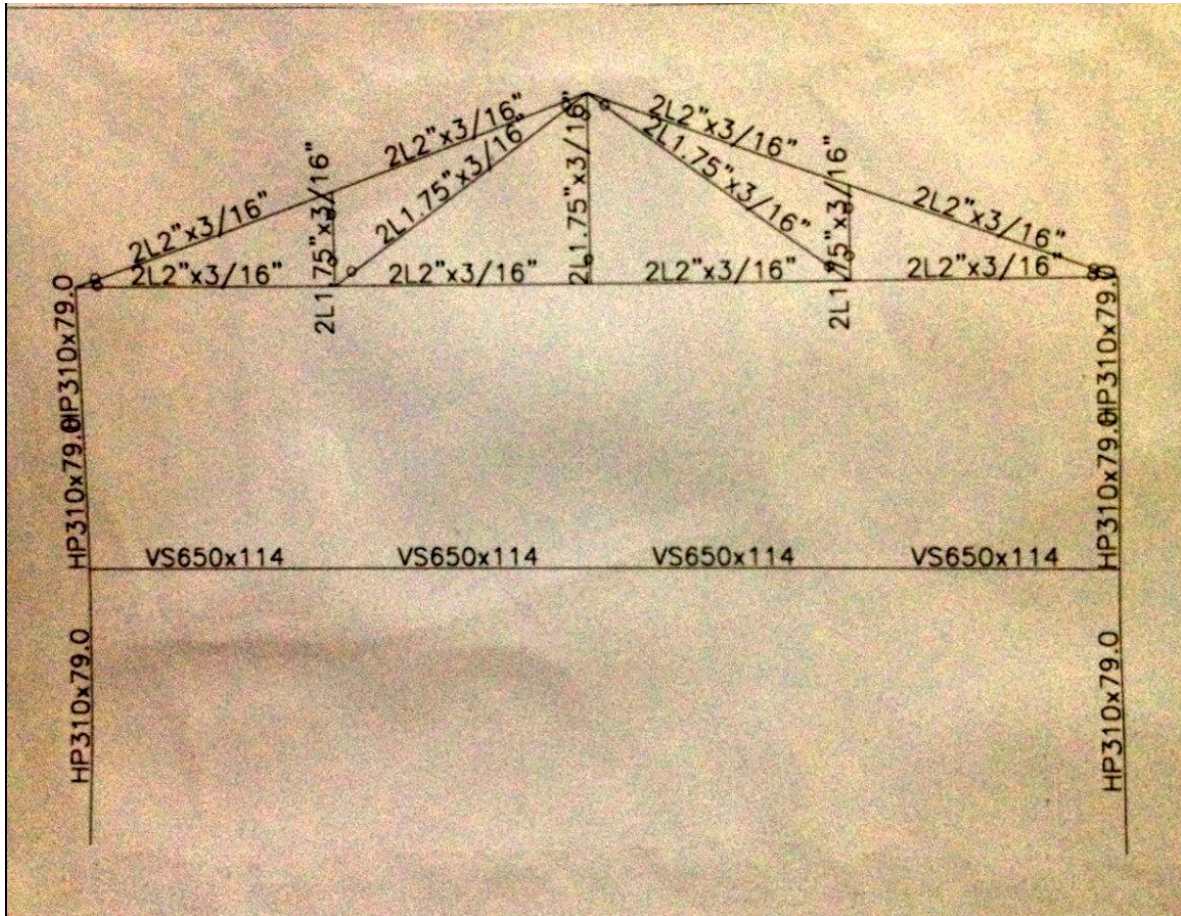


Figura 19 – Barras pré-dimensionadas

3.3.3 QUESTÃO 3

Para esta etapa temos que considerar as imperfeições geométricas e de material

-Para considerar as imperfeições de material, usamos o modo de elasticidade de $E=160000\text{MPa}$

-Para considerar-mos as imperfeições geométricas, adotamos as chamadas forças nocionais, que consideram os possíveis desaprumos de montagem da estrutura, estas forças nocionais, para evitar-se uma condição excessivamente conservadora, não são consideradas em combinações que possuem outras forças horizontais.

O seu valor é o somatório das forças gravitacionais da combinação, multiplicado por 0,003.

Logo serão adotadas duas forças nocionais:

1. Força nocional para combinação 1 (Inclui somente ações de cargas permanentes)
2. Força nocional para combinação 2 (Inclui sobrecarga e carga permanente)

As forças permanentes serão agrupadas e majoradas pelo coeficiente 1,4 , pois as ações variáveis não ultrapassam 5 kN/m².

As forças nocionais serão apresentadas nas figuras 20 e 21 a seguir.

Força nodal \perp

a) Nó 3 e Nó 7

$$(6,658 \text{ t} \times 1,4) \times 0,003 = 0,028 \text{ t}$$

b) Nó 4, Nó 5 e Nó 6

$$(7,497 \text{ t} \times 1,4) \times 0,003 = 0,0315 \text{ t}$$

c) Nó 8 e Nó 12

$$(0,847 \text{ t} \times 1,4) \times 0,003 = 0,0036 \text{ t}$$

d) Nó 9, Nó 10 e Nó 11

$$(0,417 \text{ t} \times 1,4) \times 0,003 = 0,0017 \text{ t}$$

e) Nó 13, Nó 14 e Nó 15

$$(0,937 \text{ t} \times 1,4) \times 0,003 = 0,0022 \text{ t}$$

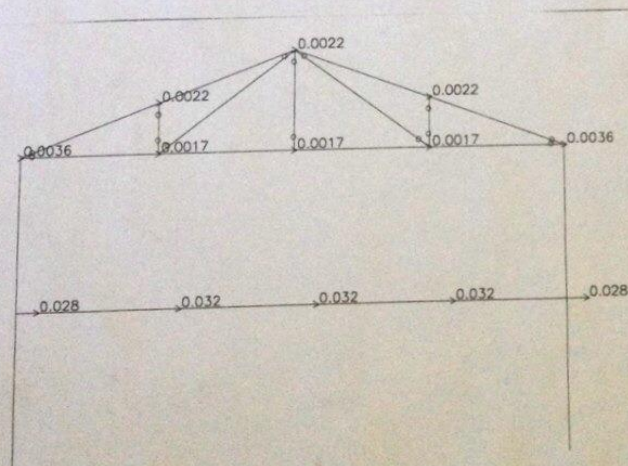


Figura 20 – Forças nodais 1

Forças nocionais 2

a) N° 3 e N° 7

$$[(6,658 \times 1,4) + (3,15 \times 1,4)] \times 0,003 = 0,041 \text{ t}$$

b) N° 4, N° 5 e N° 6

$$[(7,4977 \times 1,4) + (6,37 \times 1,4)] \times 0,003 = 0,067 \text{ t}$$

c) N° 8 e N° 12

$$[(0,847 \times 1,4) + (0,277 \times 1,4)] \times 0,003 = 0,0048 \text{ t}$$

d) N° 9, N° 10 e N° 11

$$[(0,417 \times 1,4) + (0)] \times 0,003 = 0,0017 \text{ t}$$

e) N° 13, N° 14 e N° 15

$$[(0,537 \times 1,4) + (0,557 \times 1,4)] \times 0,003 = 0,0047 \text{ t}$$

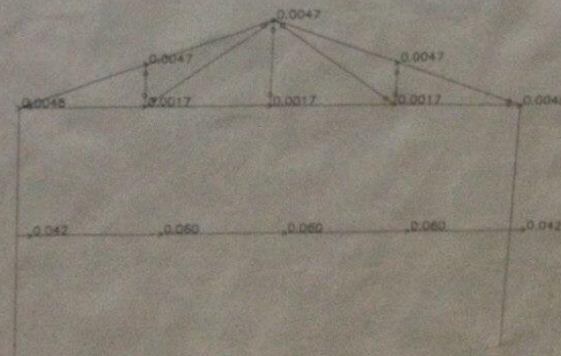


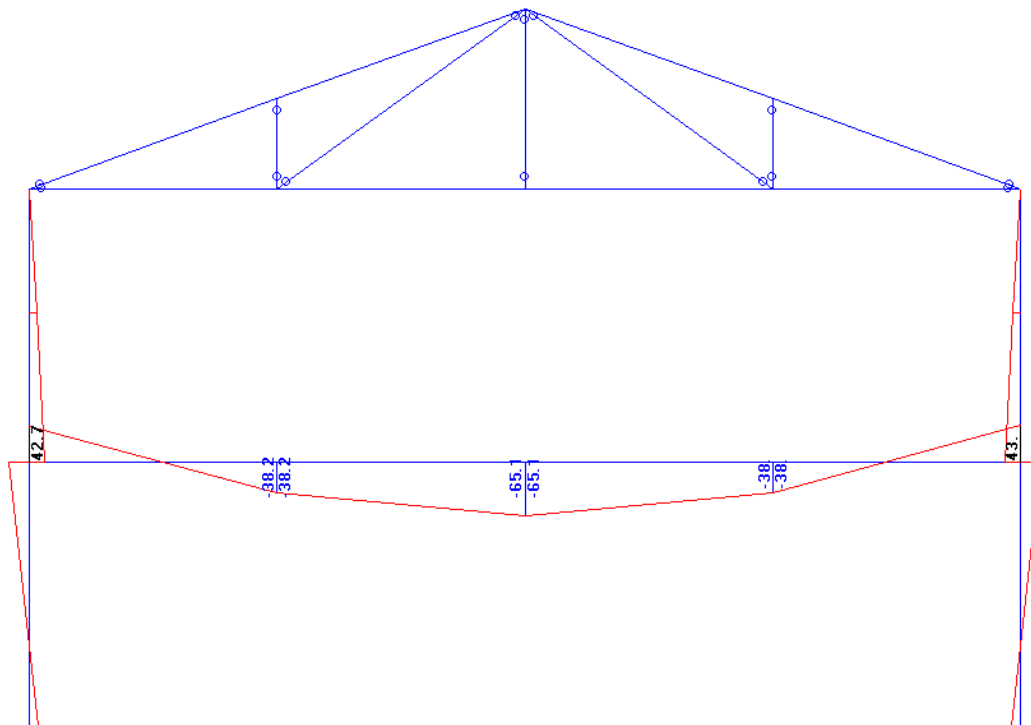
Figura 21 – Forças nocionais 2

Combinações:

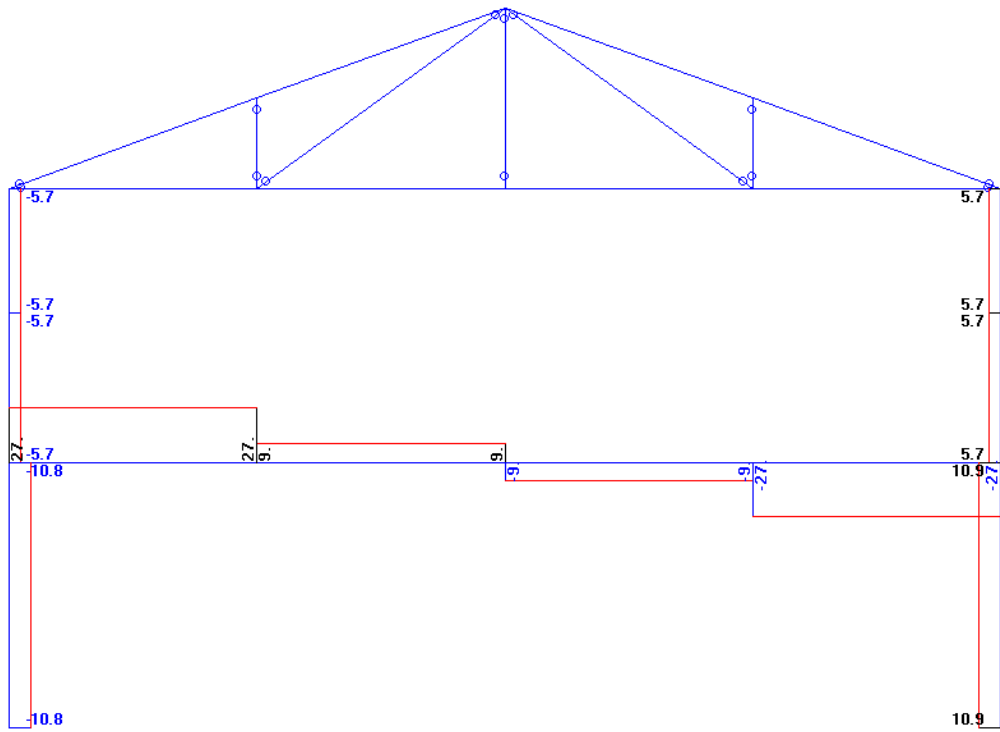
1. Combinação 1 = Carga permanente , com imperfeições geométricas e de material (1,4 x Permanente)
2. Combinação 2 = Carga permanente + Sobrecarga, com imperfeições geométricas e de material (1,4x permanente + 1,4 x Sobrecarga)
3. Combinação 3 = Carga permanente + Vento , com imperfeições de material (1,4xpermanente + 1,4x vento)
4. Combinação 4 = Carga permanente favorável a segurança + vento , com imperfeições de material (Ações permanentes + 1,4x vento)
5. Combinação 5 = Carga permanente mais sobrecarga (Variável principal) mais vento ,com imperfeições de material (1,4xpermanente+1,4xsobrecarga+0,84xvento)
6. Combinação 6 = Carga permanente+vento (variável principal)+ sobrecarga, com imperfeições de material (1,4xpermanente + 1,4x vento + 1,4x0,7Xsobrecarga)

Diagramas dos esforços solicitantes:

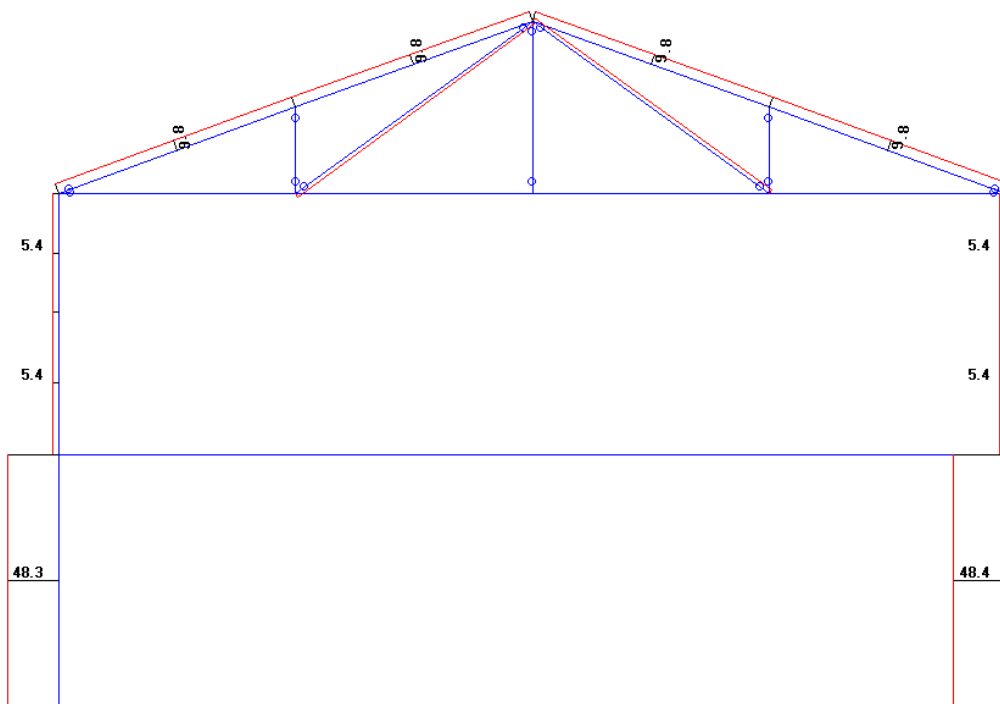
Combinação 1:



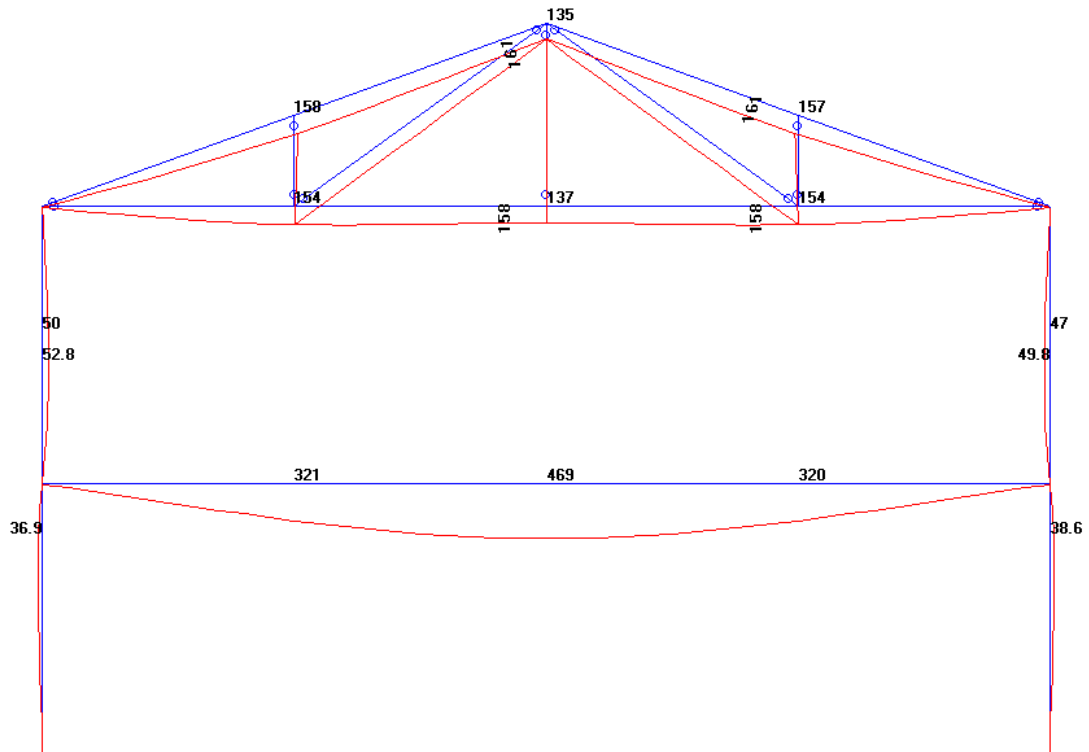
MOMENTO FLETOR



CORTANTE

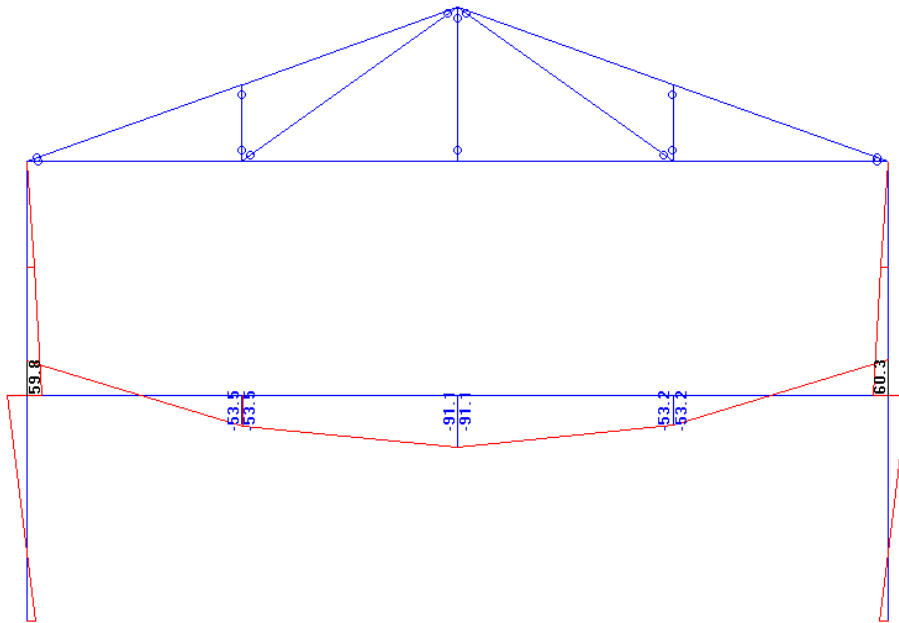


FORÇA AXIAL

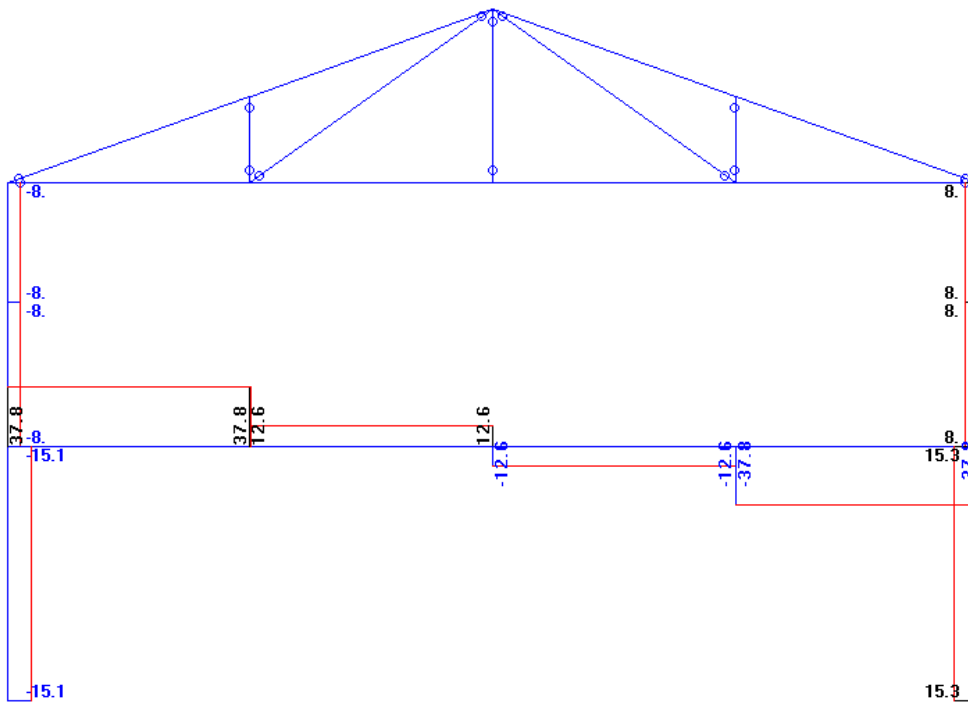


DESLOCAMENTOS

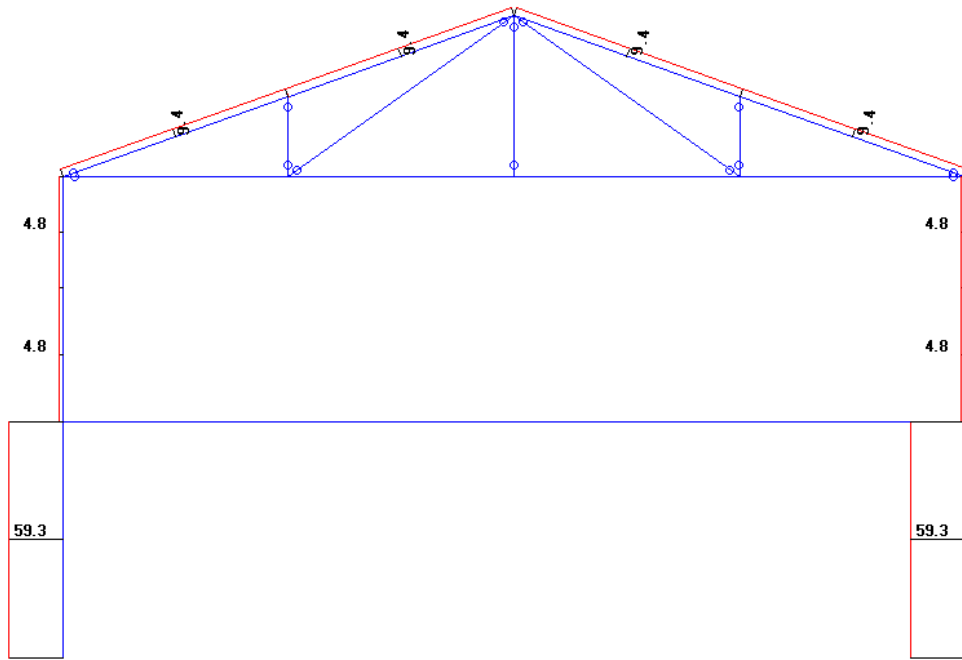
Combinação 2:



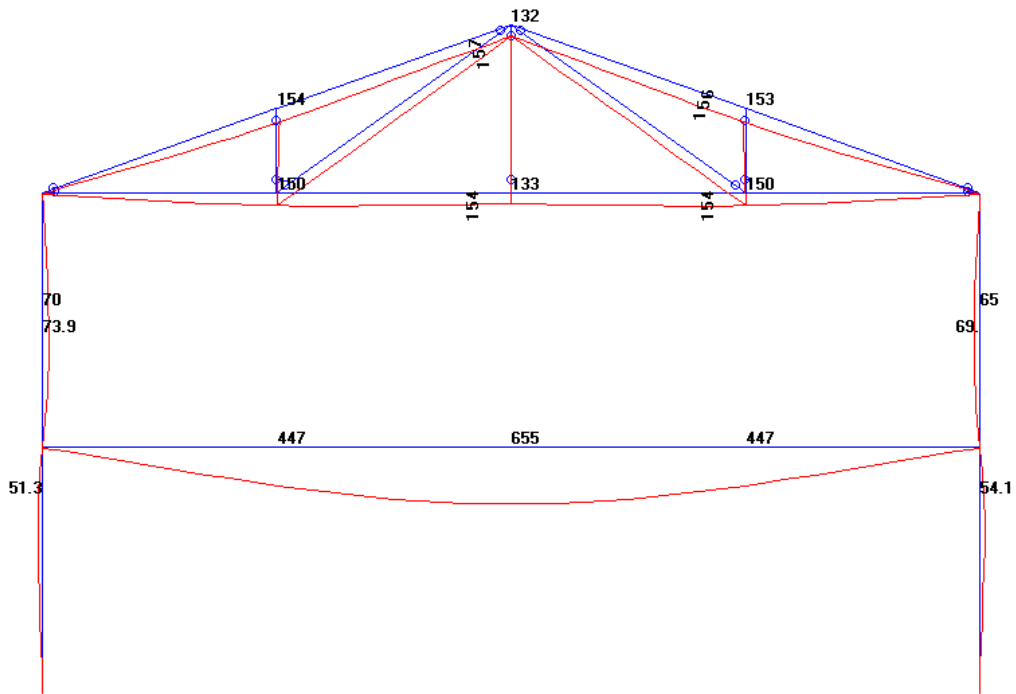
MOMENTO FLETOR (EM t x m)



CORTANTE (em t)

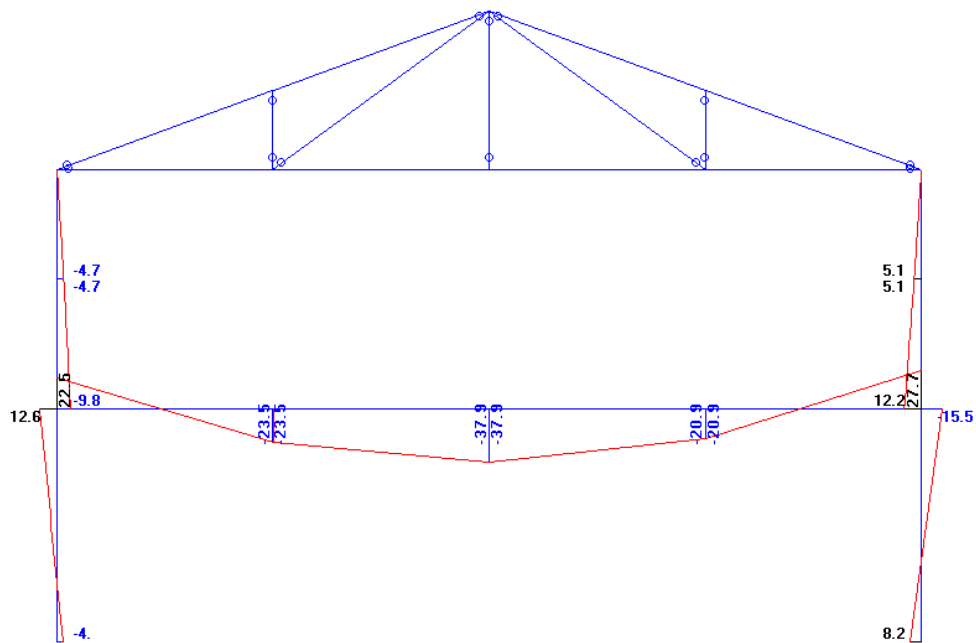


FORÇA AXIAL (em t)

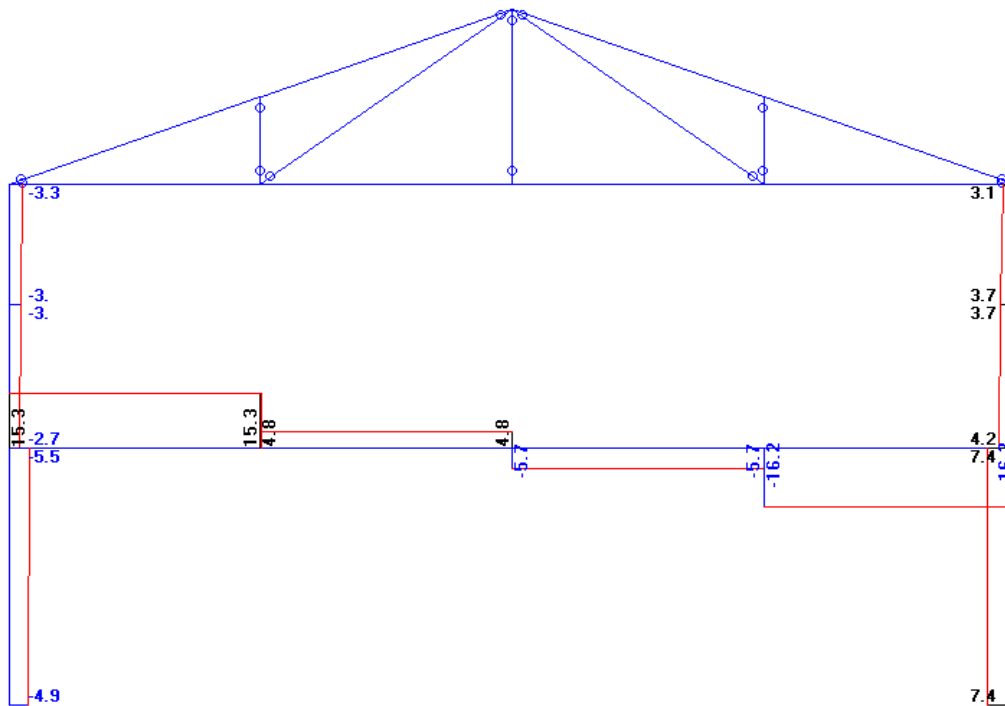


DESLOCAMENTOS (em cm x 10²)

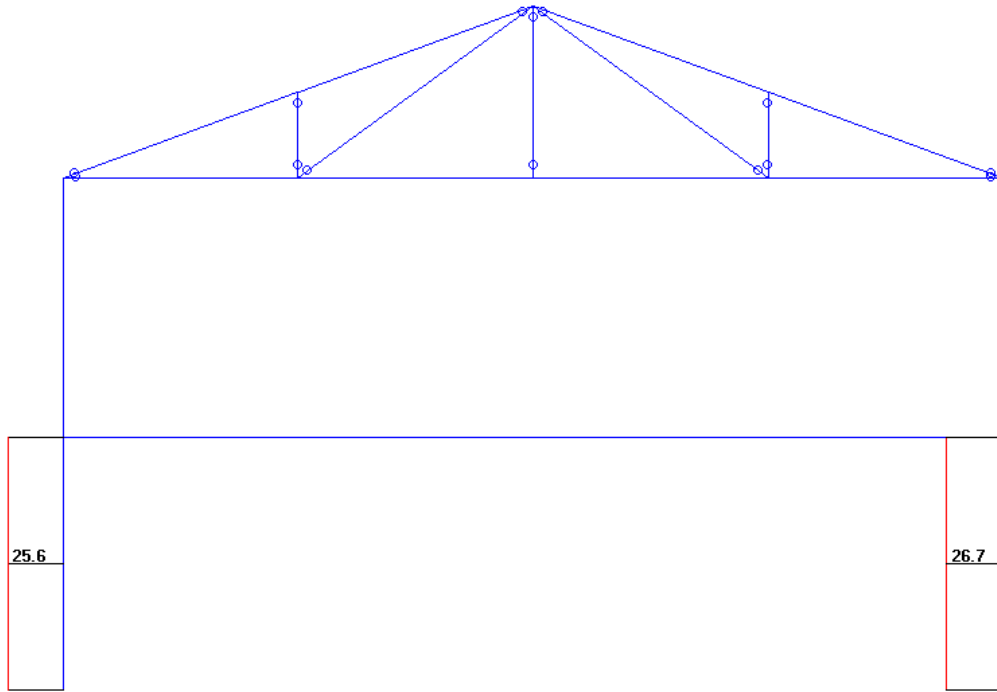
Combinação 3:



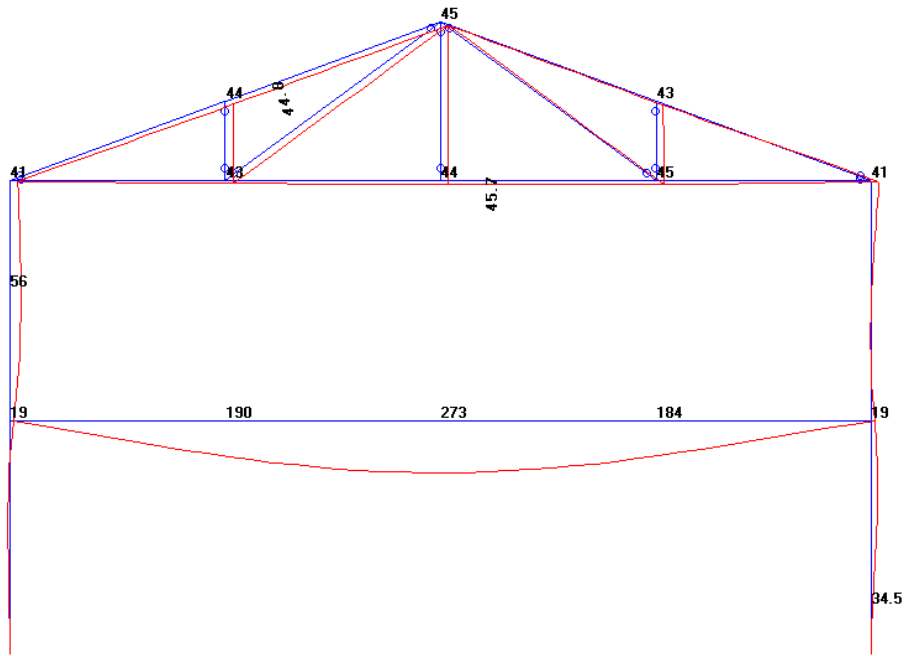
MOMENTO FLETOR (EM t x m)



CORTANTE (em t)

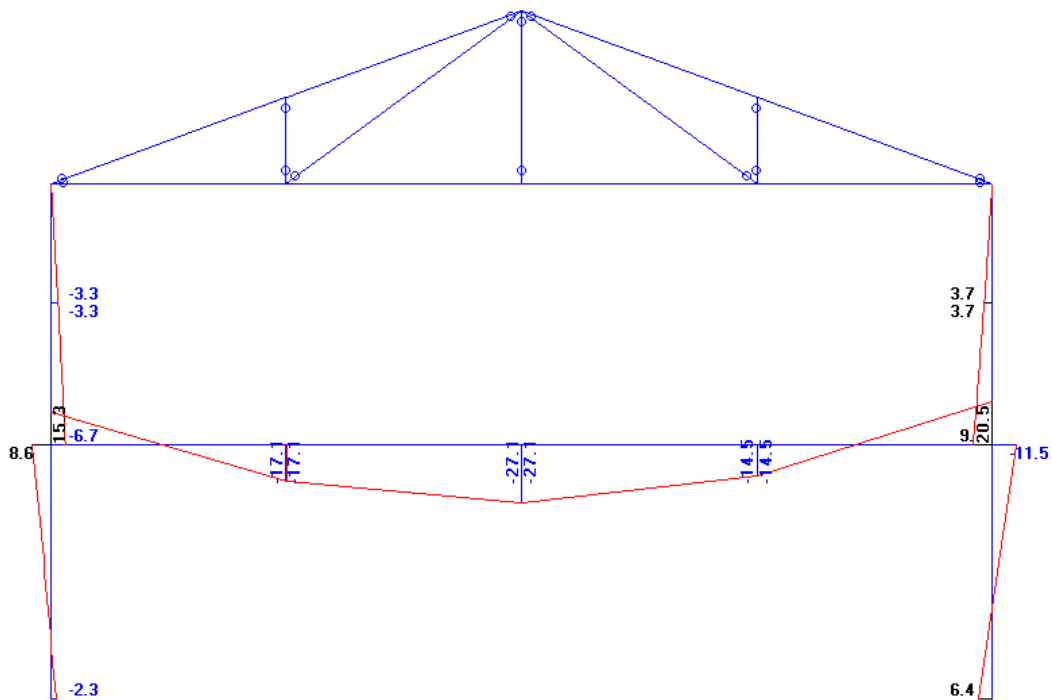


FORÇA AXIAL (em t)

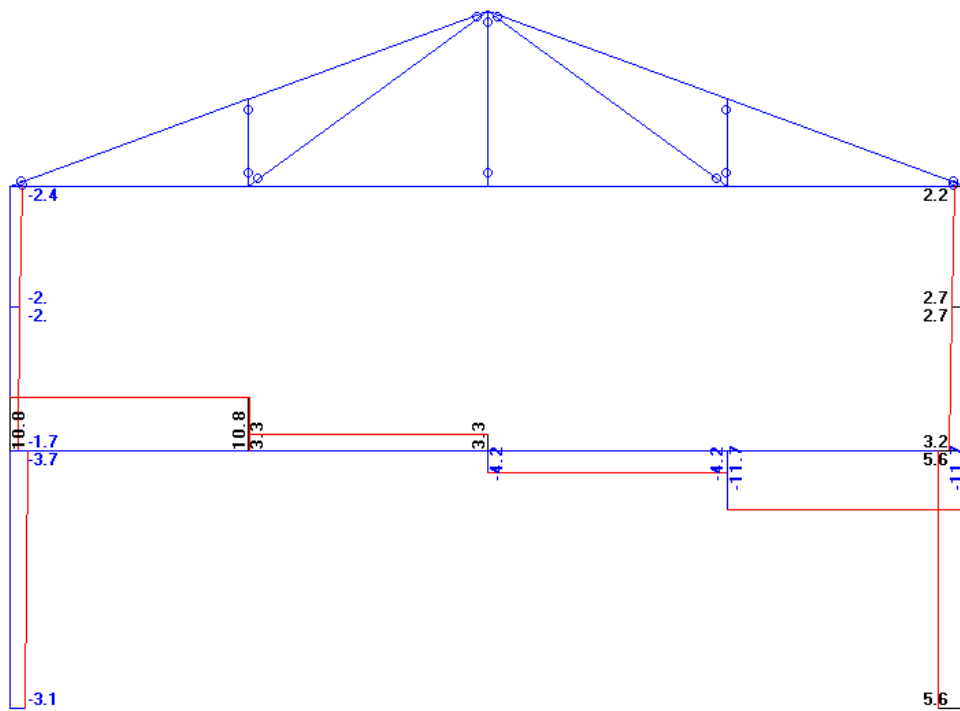


DESLOCAMENTOS (em cm x 10²)

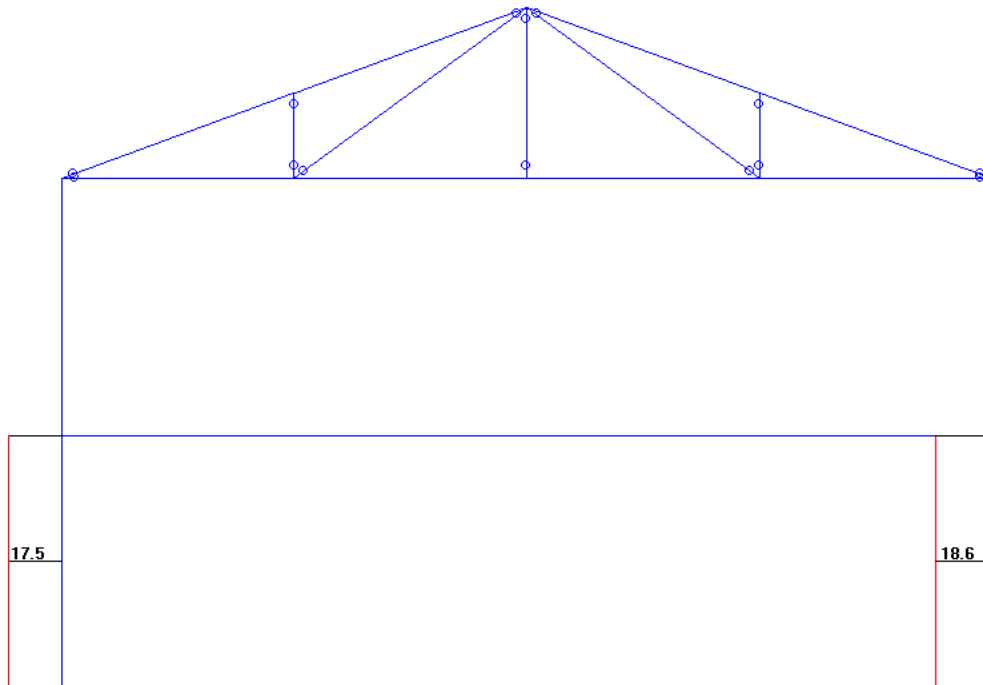
Combinação 4:



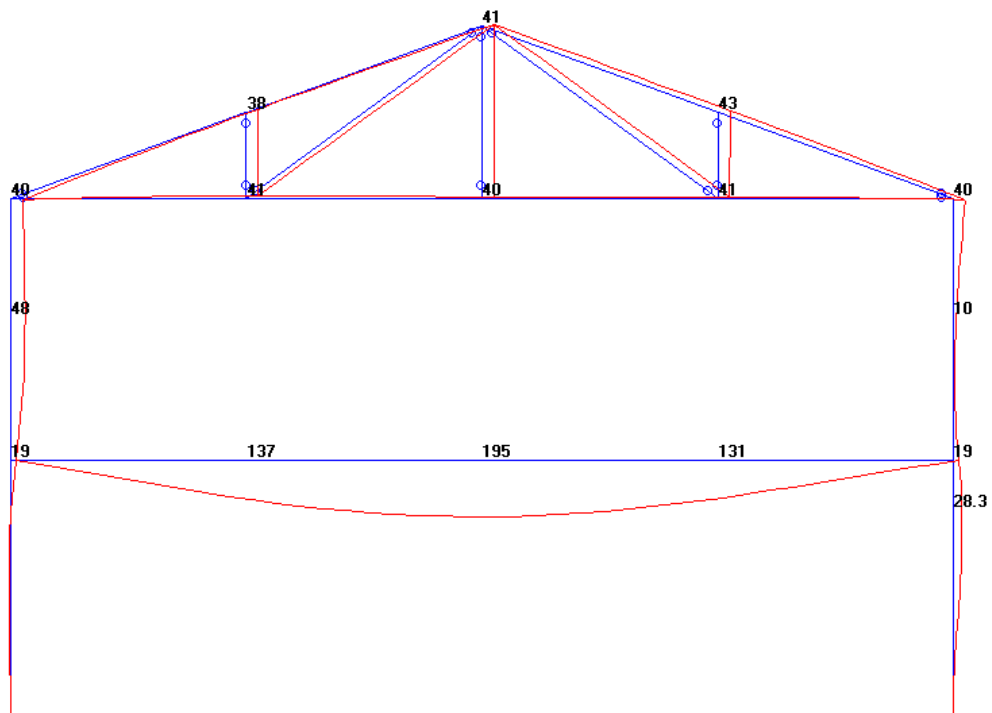
MOMENTO FLETOR (EM t x m)



CORTANTE (em t)

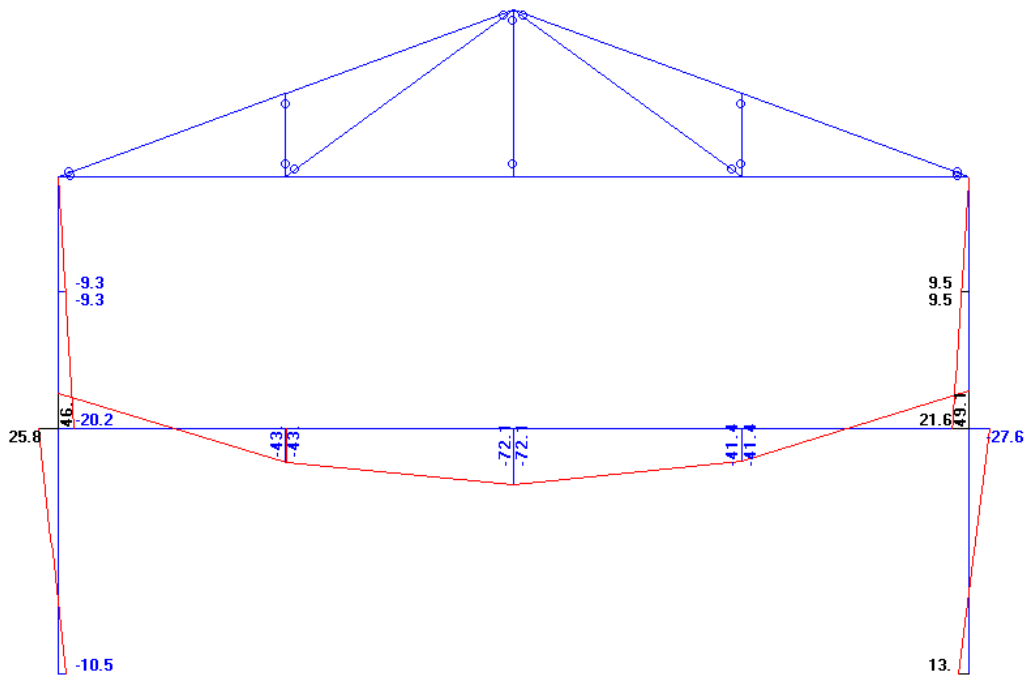


FORÇA AXIAL (em t)

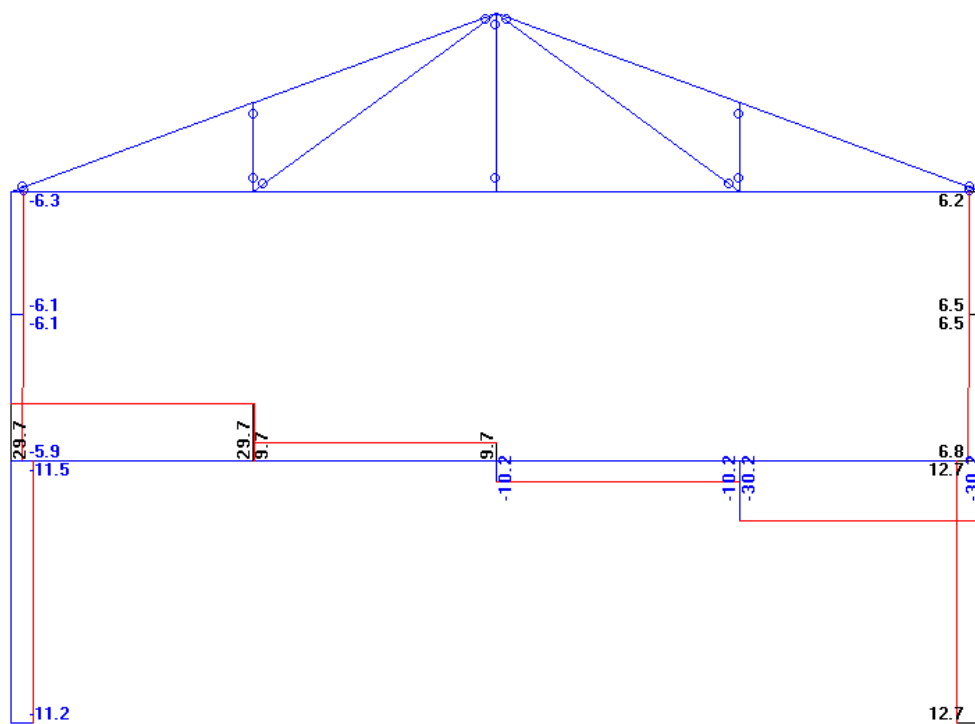


DESLOCAMENTOS (em cm x 10²)

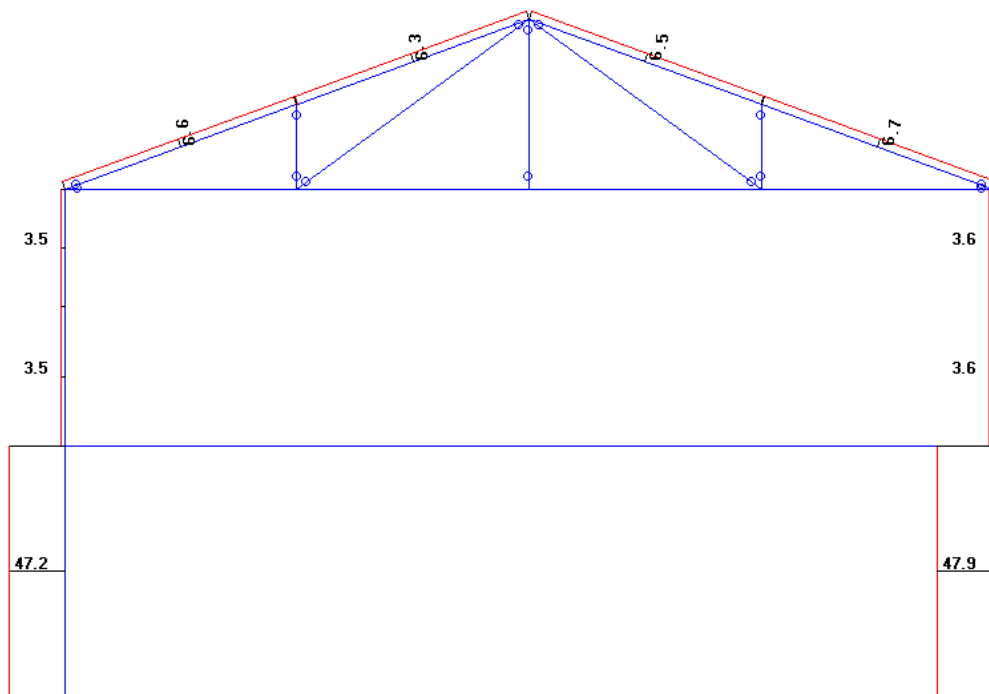
Combinação 5:



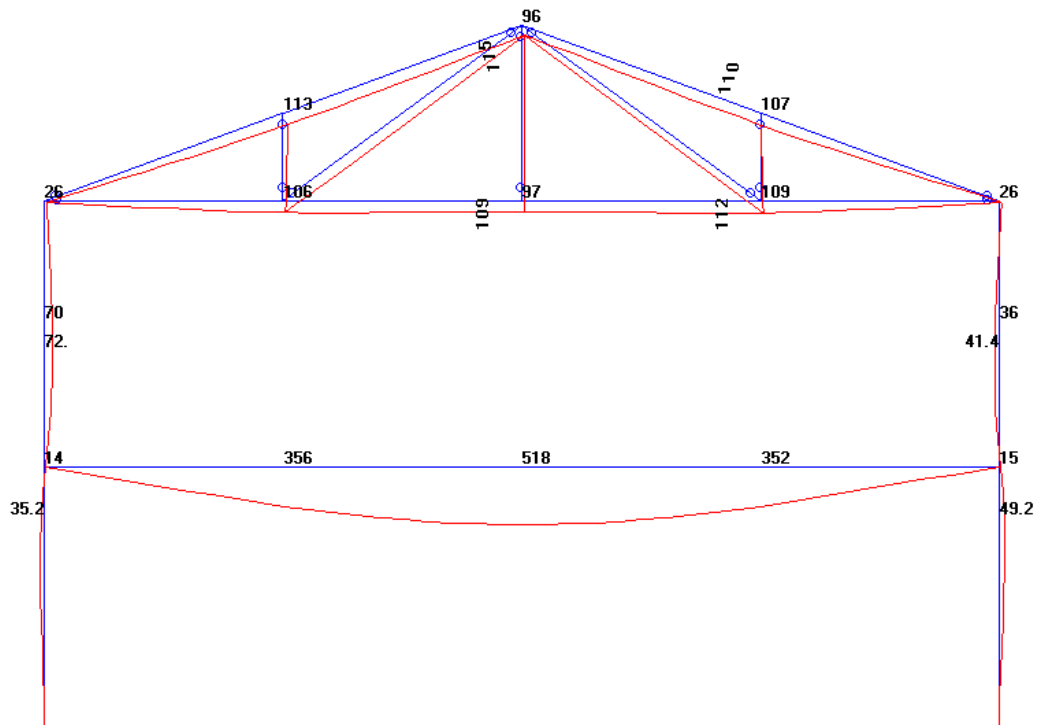
MOMENTO FLETOR (EM t x m)



CORTANTE (em t)

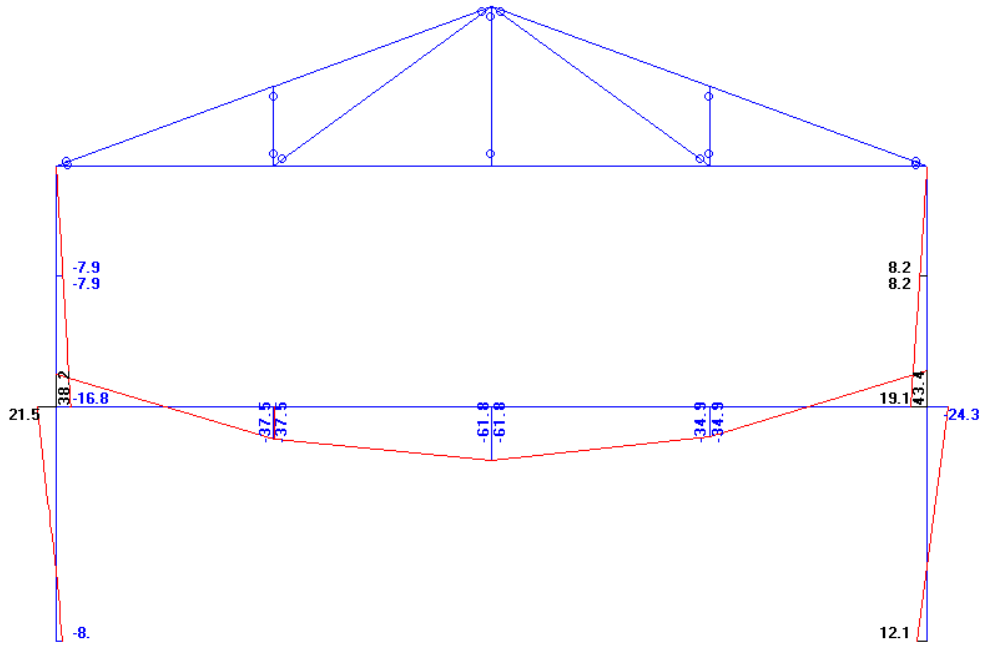


FORÇA AXIAL (em t)

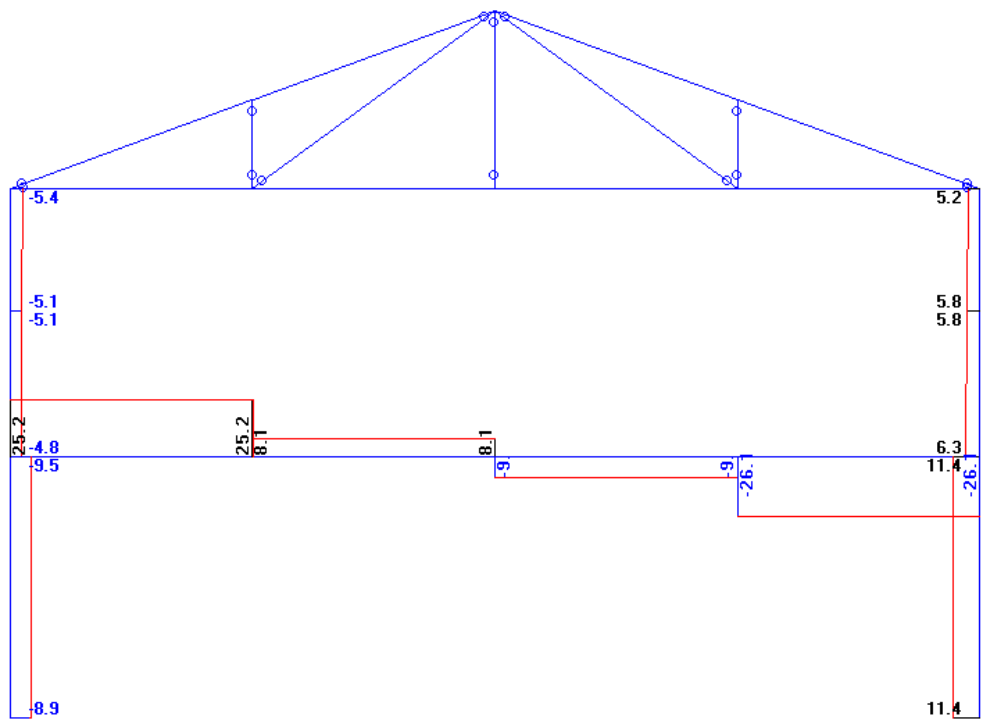


DESLOCAMENTOS (em cm x 10²)

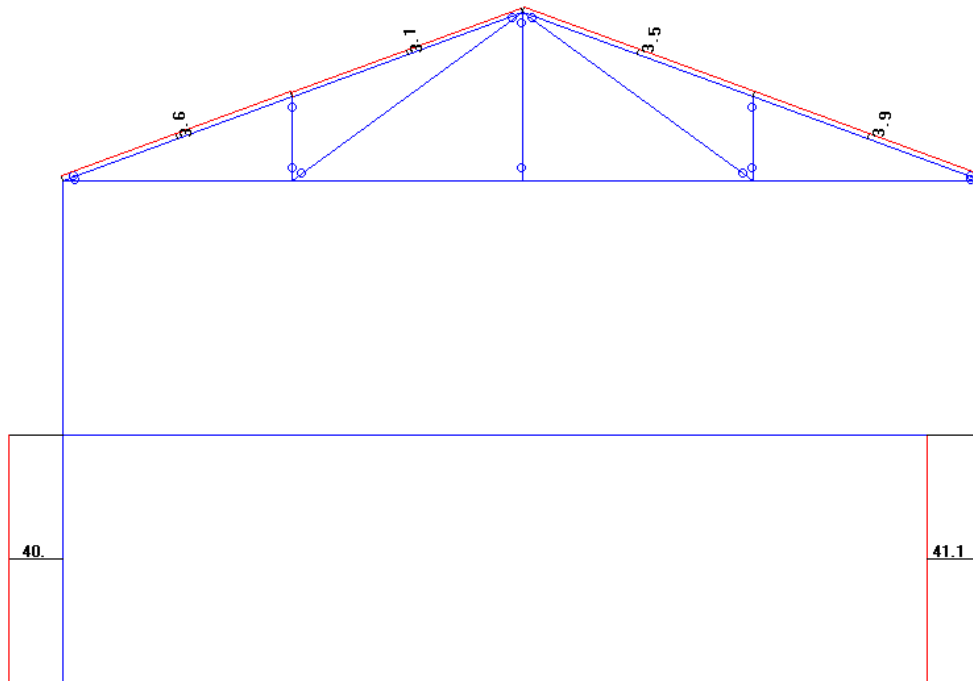
Combinação 6:



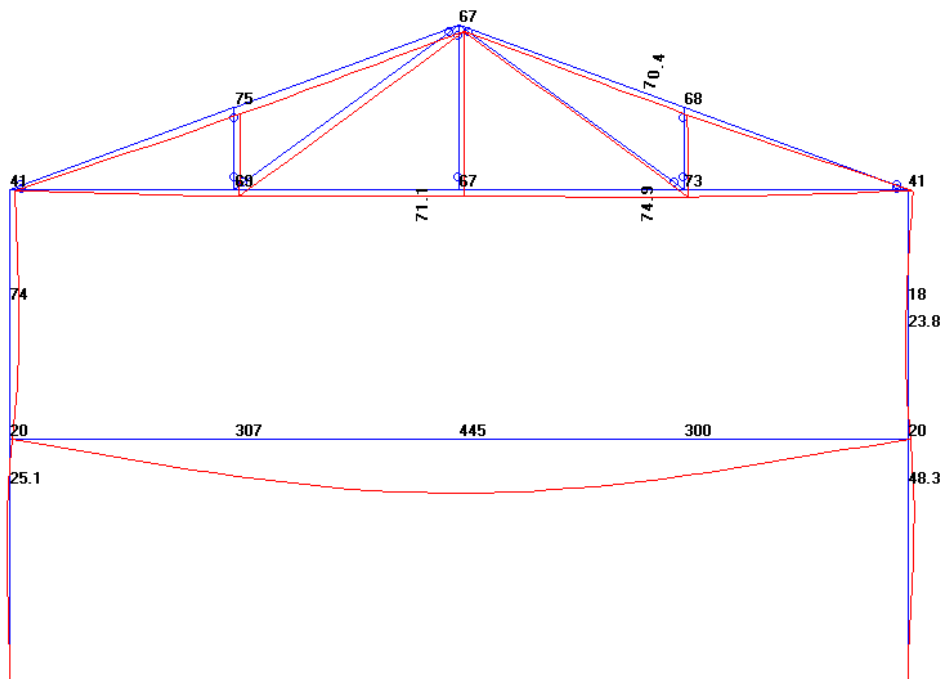
MOMENTO FLETOR (EM t x m)



CORTANTE (em t)



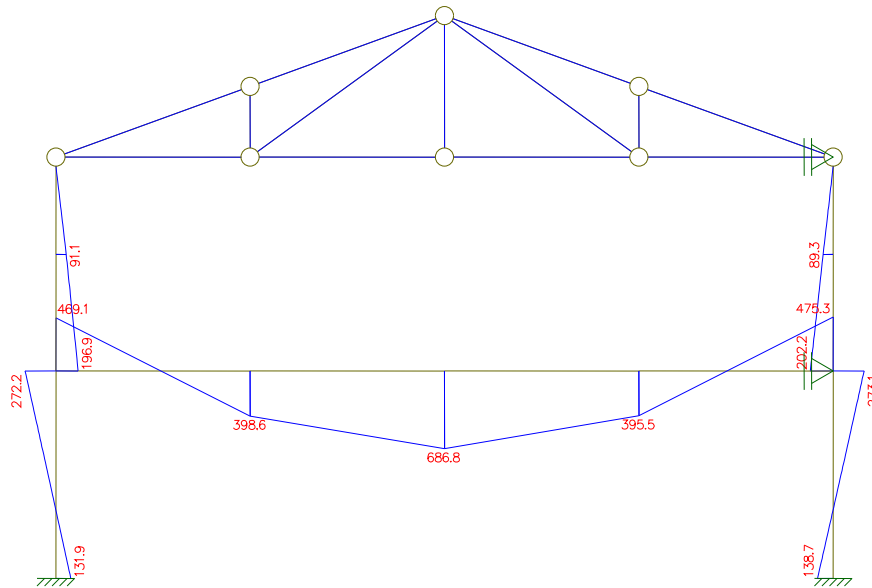
FORÇA AXIAL (em t)



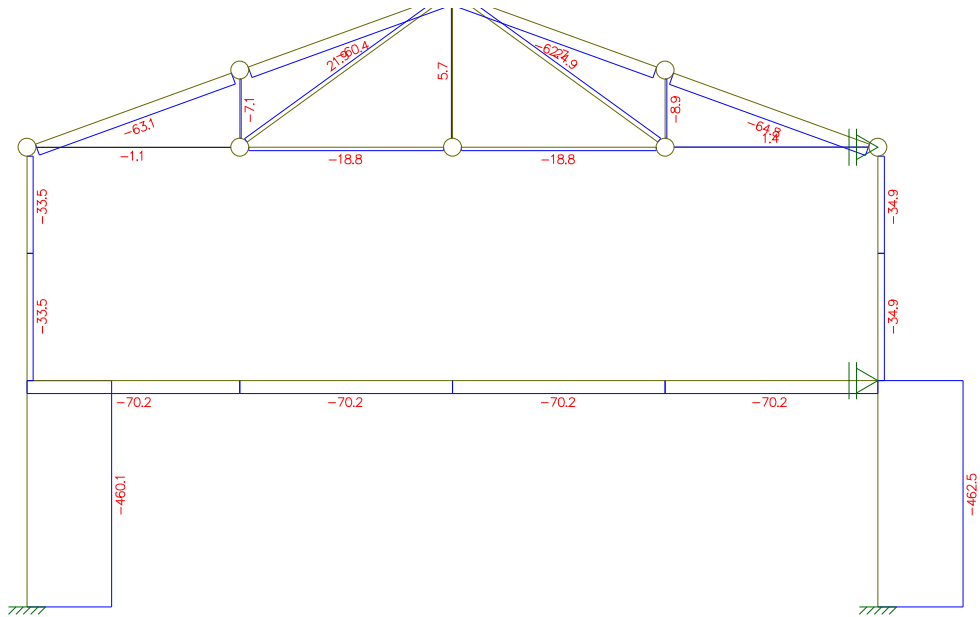
DESLOCAMENTOS (em cm x 10²)

3.3.4 QUESTÃO 4

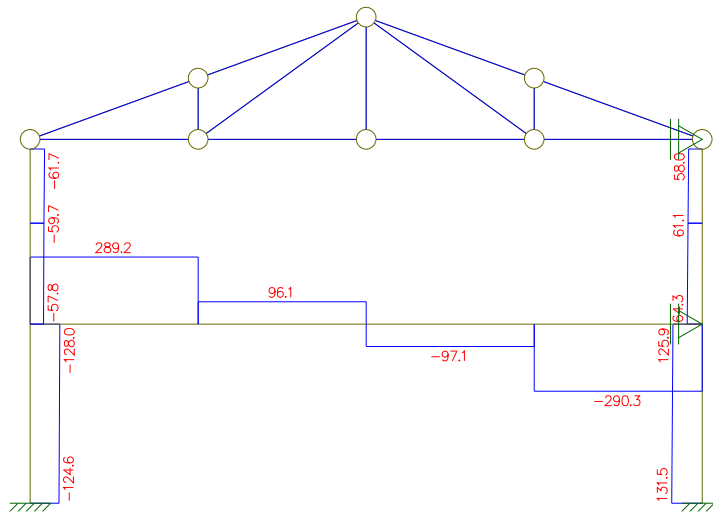
GRÁFICOS DA ESTRUTURA NT (“NO TRANSLATION”)



Momento fletor

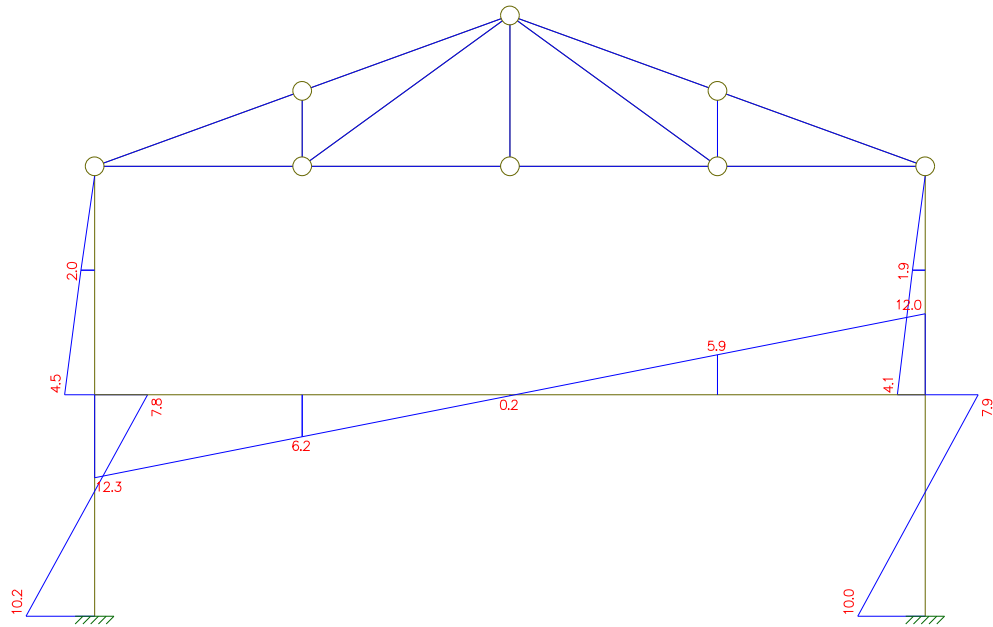


Força axial

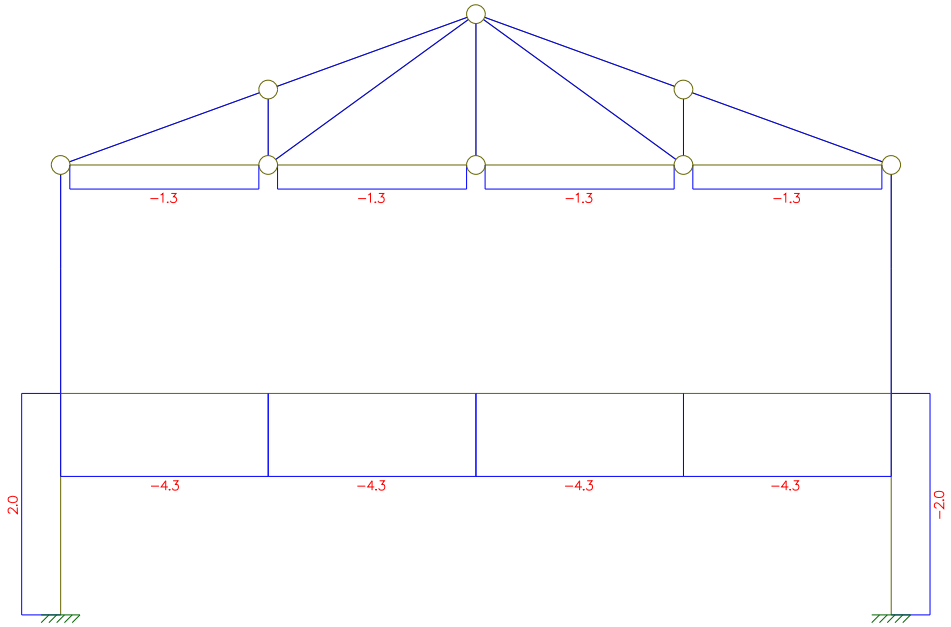


Força cortante

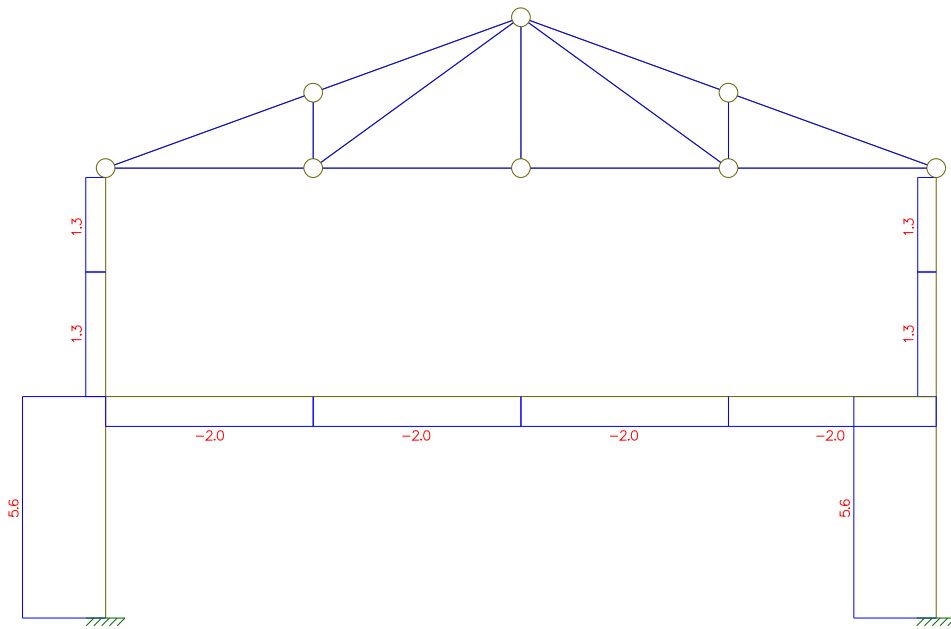
GRÁFICOS DA ESTRUTURA LT (“ LATERAL TRANSLATION”)



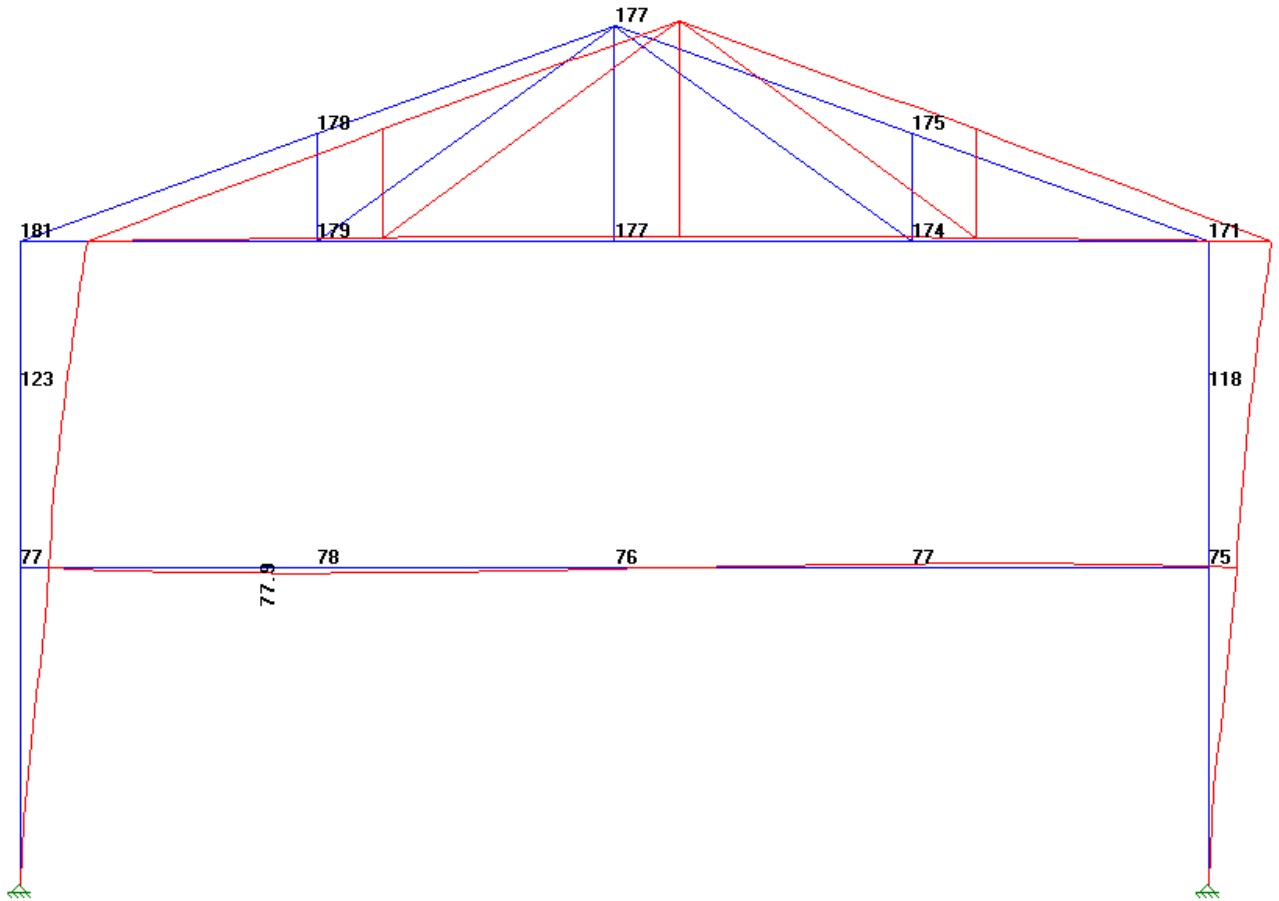
Momento fletor



Força axial



Força cortante



DESLOCAMENTO

TABELA COM VALORES DE B1

| Barra | M1(menor momento fletor solicitante) | M2 (maior momento fletor solicitante) | Cm | Nsd (Kn) | Ix (cm4) | L (cm) | Ne (Kn) | B1 | Como B1 >= 1 | B1 corrigido |
|--------------------------|---------------------------------------|--|---------|-----------|----------|--------|---------|---------------|--------------|--------------|
| Pilar esquerda. 1º andar | 131,9 | 272,2 | 0,40617 | -458,1 | 16316 | 320 | 25161,4 | 0,3989 | | 1 |
| Viga 1ºAndar | 475,3 | 686 | 1 | -74,5 | 112225 | 1200 | 12306,9 | 0,994 | | 1 |
| Pilar dir. 1º andar | 138,7 | 273,1 | 0,39685 | -464,5 | 16316 | 320 | 25161,4 | 0,3897 | | 1 |
| Pilar esquerda. 2º andar | 0 | 196,9 | 0,6 | -33,5 | 16316 | 300 | 28628,1 | 0,5993 | | 1 |
| Pilar dir. 2º andar | 0 | 202,2 | 0,6 | -34,9 | 16316 | 300 | 28628,1 | 0,5993 | | 1 |

TABELA COM VALORES DE B2

| Andar | delta i (cm) | Delta h | h | Nsd | Hsd | B2 |
|-------|---------------|---------|-----|-------|------|--------|
| 1 | 0,79 | 0,79 | 320 | 922,5 | 11,2 | 1,3144 |
| 2 | 1,794 | 1,004 | 300 | 68,3 | 2,6 | 1,1154 |

Como B2 está entre 1,13 e 1,55 a estrutura é de pequena deslocabilidade.

VALORES CORRIGIDOS DOS ESFORÇOS

PILARES E VIGA

| Barra | $N_{sd} = N_{nt} + B2$ N_{lt} | $V_{sd} = V_{nt} + V_{lt}$ | $M_{sd} = B1 M_{nt} + B2 M_{lt}$ |
|--------------------------|------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Pilar esquerda. 1º andar | -457,4711019 | -122,4 | -261,9472973 |
| Viga 1º Andar | -75,85213095 | -292,3 | -682,6674645 |
| Pilar dir. 1º andar | -465,1288981 | 137,1 | 283,4841476 |
| Pilar esquerda. 2º andar | -33,5 | -60,4 | 191,8808791 |
| Pilar dir. 2º andar | -34,9 | 65,6 | -206,7729769 |

Treliças

Somente o coeficiente B2 é importante pois a treliça não tem momento .

| Barra | $N_{sd} = N_{nt} + B2 N_{lt}$ |
|-------|-------------------------------|
| 9 | -2,55002 |
| 10 | -20,25002 |
| 11 | -20,25002 |
| 12 | -0,05002 |
| 13 | -63,1 |
| 14 | -60,4 |
| 15 | -62,7 |
| 16 | -64,8 |
| 17 | -7,1 |
| 18 | 21,9 |
| 19 | 5,7 |
| 20 | 24,9 |
| 21 | -8,9 |

3.3.5 QUESTÃO 5

| Cantoneira Dupla submetida a compressão | | |
|--|---------------|-----------|
| MATERIAL | | |
| Módulo de Elasticidade (E) | 20000 | Mpa |
| Módulo de Rigidez (G) | 7700 | Mpa |
| Material | ASTM A36 | |
| Resistência ao escoamento(f_y) | 25 | Mpa |
| Resistência a ruptura (f_u) | 40 | Mpa |
| CARGA DE COMPRESSÃO | | |
| Carga Axial de Compressão: | 6,48 | TONELADAS |
| DADOS | | |
| PERFIL DUPLO DE | L 50,8 X 4,76 | |
| COMPRIMENTO (Lx) | 31,9 | cm |
| Kx | 1 | |
| Comprimento (Ly) | 31,9 | cm |
| Ky | 1 | |

| | | | |
|-----------------------------|--|--|------------------------|
| Largura aba | 5,08 | | cm |
| ÁREA (Ag) | 9,16 | | cm ² |
| ÁREA CANTONEIRA SIMPLES | 4,58 | | cm ² |
| ESPESSURA (t) | 0,476 | | cm |
| Raio de giração mínimo | 1,02 | | cm |
| Xg = Yg | 1,45 | | cm |
| Ix | 23,4 | | cm ⁴ |
| Ix Cantoneira Simples | 11,7 | | cm ⁴ |
| Iy | $2 \cdot [I_x + A_g \cdot (X_g + t/2)^2] =$ | 49,499991 | cm ⁴ |
| rx | 1,58 | | cm |
| ry | $(I_y / A_g)^{(1/2)} =$ | 2,3246353 | cm |
| FLAMBAGEM LOCAL | | | |
| b/t = | 10,67 | | |
| b/t LIM = | $0,45 \cdot ((E / F_y)^{(1/2)})$ | 12,73 | |
| b/t SUP = | $0,91 \cdot ((E / F_y)^{(1/2)})$ | 25,74 | |
| De acordo com a tabela ; | | | |
| QS | | | |
| b/t < (b/t)lim | (b/t)lim < b/t < (b/t)sup | b/t > (b/t)sup | |
| 1 | $1,340 - 0,76 \cdot \frac{b}{t} \cdot \frac{E}{F_y}^{(1/2)}$ | $\frac{0,52 \cdot E}{F_y \cdot (b/t)^2}$ | |
| Logo; | | | |
| Qs= | 1,00 | | |
| INSTABILIDADE GLOBAL | | | |
| Nex= | $\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_x}{(K_x \cdot L_x)^2}$ | 4539,06 | KN |
| λ x = | $\frac{k_x \cdot L_x}{r_x}$ | 20,19 | Verificar se λ x < 200 |
| | | | Correto |
| FLEXO - TORÇÃO | | | |
| Ney= | $\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{(K_y \cdot L_y)^2}$ | 9601,86 | KN |
| yo= | $\gamma_G \cdot \frac{t}{2}$ | 1,21 | cm |

| | | | |
|---|--|-------------------------------|--|
| ro= | $\sqrt{rx^2 + ry^2 + xo^2 + yo^2}$ | 3,06 | cm |
| J= | $\frac{1}{3} \sum b \cdot t^3 =$ $\frac{1}{3} \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot Cw}{(KzLz)^2 + Gj} \right] =$ | 0,70 | cm ⁴ |
| Nez= | | 572,23 | KN |
| Neyz= | $\frac{Ney + Nez}{2 \cdot \left[1 - \left(\frac{yo}{ro} \right)^2 \right]} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4Ney \cdot Nez \left[1 - \left(\frac{yo}{ro} \right)^2 \right]}{(Ney + Nez)^2}} \right]$ | 566,66 | KN |
| $\lambda_{yz} =$ | $\pi \cdot \sqrt{\frac{E \cdot Ag}{Neyz}} =$ | 56,49 | Verificar se $\lambda_{yz} < 200$ Correto |
| FORÇA AXIAL DE COMPRESSÃO RESISTENTE DE CÁLCULO | | | |
| Ne (Menor valor entre Neyz e Nex) = | | 566,66 | KN |
| $\lambda_0 =$ | $\sqrt{\frac{Q \cdot Ag \cdot fy}{Ne}}$ | 0,64 | |
| Para valor de χ ; | | | |
| Valor de χ | | | |
| Para $\lambda_0 < 1,5$; | | Para $\lambda_0 > 1,5$; | |
| $0,658 \lambda_0^2 =$ | | $\frac{0,877}{\lambda_0^2} =$ | |
| Logo $\chi =$ | | 0,844 | |
| Nc,Rd = | $\frac{\chi \cdot Q \cdot Ag \cdot fy}{1,1} =$ | 175,79 | KN |
| VERIFICAÇÃO | | | |
| Como; | | | |
| 17,58 | > | 6,48 | Valores em Ton. |
| Logo; | | | |
| Verificação está | OK | | |
| Resistência | 36,86 | % | |
| CHAPAS ESPAÇADORAS | | | |
| $\left(\frac{l}{r \text{ min}} \right)_{1 \text{ perfil}} < \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{KL}{r} \right)_{\text{máximo da barra composta}}$ | | | |
| Distância mínima dos = espaçadores | 10,30 | cm | |

3.3.6 QUESTÃO 7

| Verificação das barras tracionadas | | | |
|--|--------------------------------|-------------|---------|
| Força de tração (t): | 2,5 | | |
| Material: | ASTM A36 | | |
| Perfil duplo Verificado: | L 44,45 X 4,76 | | |
| Parafuso adotado (mm) | 1/2" | | |
| Furo feito por: | BROCA | | |
| Número de parafusos da seção | 0 | | |
| Comprimento da barra (cm) | 371 | | |
| Dados | | | |
| Área Cantoneira Simples (cm ²) | 4,00 | | |
| Área Cantoneira Dupla (cm ²) | 8,00 | | |
| Espessura da cantoneira(mm) | 4,76 | | |
| r x1 = ry1 (cm) | 1,37 | | |
| r min (cm) | 0,89 | | |
| Diâmetro do parafuso (mm) | 12,70 | | |
| Diâmetro do furo (mm) | 14,20 | | |
| Fy (Mpa) | 25,00 | | |
| Fu (Mpa) | 40,00 | | |
| RESISTÊNCIA AO ESCOAMENTO | | | |
| Nt , Rd (t)= | $\frac{A_g \cdot F_y}{1,1} =$ | 18,18 | ton |
| RESISTÊNCIA A RUPTURA | | | |
| A n = | Área - Furos= | 8,00 | |
| Ae= | CT . An = | 7,13 | |
| Nt,Rd (t) = | $\frac{A_e \cdot F_u}{1,35} =$ | 21,14 | ton |
| Verificação da resitência | | | |
| Nt,Rd(t)= | 18,18 | | |
| Como | 18,18 | > | 2,5 |
| OK | | | |
| Resistência= | 13,75 | % | |
| ESBELTEZ | | | |
| Esbeltez = | L /r min | 416,8539326 | Errado |
| Esbeltez Com uma chapa espessadora no centro | | | |
| Esbeltez = | L /r min | 208,4269663 | Correto |

3.3.7 QUESTÃO 8

| Dados | |
|------------------|--------------|
| Perfil Adotado | VS 650 X 114 |
| Material Adotado | ASTM A36 |

| | | | | | |
|---------|-----|-------------------------|--------|------------------------|------|
| d(mm) | 650 | d' (mm) | 618 | Zx (cm ³) | 3807 |
| bf (mm) | 300 | Área (cm ²) | 145,4 | Iy (cm ⁴) | 7203 |
| tw (mm) | 8 | Ix (cm ⁴) | 112225 | Wy(cm ³) | 480 |
| tf (mm) | 16 | Wx (cm ³) | 3453 | ry(cm) | 7,04 |
| h (mm) | 618 | rx (cm) | 27,78 | Zy (cm ³) | 730 |

| | | | | | |
|------------------------|------|------------------------|------------|-----------------------|-------|
| Zx (cm ³) | 3807 | rt (cm) | 93 | U (m ² /m) | 0 |
| Iy (cm ⁴) | 7203 | It (cm ⁴) | 8 | Cb= | 4,413 |
| Wy(cm ³) | 480 | λf (bf/tw) | 9,375 | Lb= | 1200 |
| ry(cm) | 7,04 | λw (d'/tw) | 77,25 | E(Mpa) | 20000 |
| Zy (cm ³) | 730 | Cw (cm ⁶) | 6141565,92 | fy(Mpa) | 30 |

| | |
|------|---------|
| Vsd= | 292,3 |
| Msd= | 7000,00 |

FLM

| | |
|-----|-------|
| λ= | 9,38 |
| λp= | 9,81 |
| λr= | 25,61 |

| Momentos | |
|-------------|-------------|
| λ < λp | 114210 |
| λp < λ < λr | 115361,8942 |
| λr < λ | 542167,04 |

| | |
|------|-----------|
| Mpl= | 114210 |
| Mr= | 72513 |
| Mcr= | 542167,04 |

| | |
|---------------------|-----------|
| Momento resistente= | 103827,27 |
|---------------------|-----------|

Resultado= OK

FLA

| | |
|---------------|--------|
| $\lambda =$ | 77,25 |
| $\lambda_p =$ | 97,08 |
| $\lambda_r =$ | 147,17 |

| | |
|------|----------|
| Mpl= | 114210 |
| Mr= | 103590 |
| Mcr= | Ñ EXISTE |

| Momentos | |
|-----------------------------------|-------------|
| $\lambda < \lambda_p$ | 114210 |
| $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ | 118414,8651 |
| $\lambda_r < \lambda$ | Ñ EXISTE |

| | |
|---------------------|-----------|
| Momento resistente= | 103827,27 |
|---------------------|-----------|

Resultado= OK

FLT

| | |
|---------------|--------|
| $\lambda =$ | 170,45 |
| $\lambda_p =$ | 45,44 |
| $\lambda_r =$ | 399,06 |

| | |
|-------------|------------|
| Mpl= | 114210,00 |
| Mr= | 72513,00 |
| Mcr= | 3728765,41 |
| $\beta_1 =$ | 0,04 |

| Momentos | | $\leq Mpl$ |
|-----------------------------------|------------|------------|
| $\lambda < \lambda_p$ | 114210,00 | |
| $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ | 438958,16 | 114210,00 |
| $\lambda_r < \lambda$ | 3728765,41 | 114210,00 |

| | |
|---------------------|-----------|
| Momento resistente= | 103827,27 |
|---------------------|-----------|

Resultado OK

CORTANTE

| | |
|---------|---|
| Caso n° | |
| = | 1 |

| | |
|---------------|-------|
| $\lambda =$ | 77,25 |
| $\lambda_p =$ | 63,51 |
| $\lambda_r =$ | 79,10 |

| | |
|--------------|--------|
| Kv= | 5,00 |
| Vpl= | 936,00 |
| Aw (cm²)= | 52,00 |

| | |
|-----------------------------------|--------|
| $\lambda < \lambda_p$ | 936,00 |
| $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ | 769,50 |
| $\lambda_r < \lambda$ | 784,45 |

| | | |
|---------------------|--|--------|
| Momento resistente= | | 699,55 |
|---------------------|--|--------|

| Enrigeedor | |
|---------------------|--------|
| a (dist.enri)cm= | 100,00 |
| h= | 650,00 |

| | | Valor de kS |
|---|-------------------|----------------|
| 1 | Sem enrigeedor | 5,00 |
| 2 | Com enrigeedor | 216,25 |

Resultado OK

Estado limite de serviço

Hipótese 4 :

Flecha obtida = 28,4mm

Flecha permitida = $L/350 = 34,28\text{mm}$

Portanto flecha “ok”

3.3.8 QUESTÃO 9

V1

| Dados | |
|------------------|---------------|
| Perfil Adotado | W 410 X 46,1 |
| Material Adotado | A 572 - Gr 50 |

| | | | | | |
|-----------------------|-------|-------------------------|--------|-----------------------|-------|
| d(mm) | 403 | d' (mm) | 357 | | |
| bf (mm) | 140 | Área (cm ²) | 59,2 | | |
| tw (mm) | 7 | Ix (cm ⁴) | 15690 | | |
| tf (mm) | 11,2 | Wx (cm ³) | 778,7 | | |
| h (mm) | 381 | rx (cm) | 16,27 | | |
| Zx (cm ³) | 891,1 | rt (cm) | 3,55 | U (m ² /m) | 0 |
| Iy (cm ⁴) | 514 | It (cm ⁴) | 20,06 | Cb= | 4,413 |
| Wy(cm ³) | 73,4 | λf (bf/tw) | 6,25 | Lb= | 1200 |
| ry(cm) | 2,95 | λw (d'/tw) | 51 | E(Mpa) | 20000 |
| Zy (cm ³) | 115,2 | Cw (cm ⁶) | 196571 | fy(Mpa) | 34,5 |

| | |
|------|----------|
| Vsd= | 66 |
| Msd= | 11560,00 |

FLM

| | |
|-----|-------|
| λ= | 6,25 |
| λp= | 9,15 |
| λr= | 23,89 |

| Momentos | |
|-----------------|-------------|
| λ < λp | 30742,95 |
| λp < λ < λr | 33091,60672 |
| λr < λ | 275099,136 |

| | |
|------|------------|
| Mpl= | 30742,95 |
| Mr= | 18805,605 |
| Mcr= | 275099,136 |

| | |
|---------------------|----------|
| Momento resistente= | 27948,14 |
|---------------------|----------|

Resultado= OK

FLA

| | |
|-----|--------|
| λ= | 51,00 |
| λp= | 90,53 |
| λr= | 137,24 |

| Momentos | |
|-----------------|-------------|
| λ < λp | 30742,95 |
| λp < λ < λr | 34024,70998 |
| λr < λ | Ñ EXISTE |

| | |
|------|----------|
| Mpl= | 30742,95 |
| Mr= | 26865,15 |
| Mcr= | Ñ EXISTE |

| | |
|---------------------|----------|
| Momento resistente= | 27948,14 |
|---------------------|----------|

Resultado= OK

CORTANTE

Caso n° = 1

| | |
|---------------|-------|
| $\lambda =$ | 54,43 |
| $\lambda_p =$ | 59,22 |
| $\lambda_r =$ | 73,76 |

| | |
|----------------------------|--------|
| $K_v =$ | 5,00 |
| $V_{pl} =$ | 583,95 |
| A_w (cm ²) = | 28,21 |

| | |
|-----------------------------------|--------|
| $\lambda < \lambda_p$ | 583,95 |
| $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ | 635,37 |
| $\lambda_r < \lambda$ | 857,25 |

Momento resistente= 530,86

| Enrigeedor | |
|------------------|--------|
| a (dist.enri)cm= | 100,00 |
| h= | 403,00 |

| | | Valor de kS |
|---|----------------|-------------|
| 1 | Sem enrigeedor | 5,00 |
| 2 | Com enrigeedor | 86,20 |

Resultado OK

Vigas V2

| Dados | |
|------------------|---------------|
| Perfil Adotado | w 460 x 52 |
| Material Adotado | A 572 - Gr 50 |

| | | | | | |
|------------------------|-------------|-------------------------|-------|------------------------|--------|
| d(mm) | 450 | d' (mm) | 404 | Zx (cm ³) | 1095,9 |
| bf (mm) | 152 | Área (cm ²) | 66,6 | ly (cm ⁴) | 634 |
| tw (mm) | 7,6 | Ix (cm ⁴) | 21370 | Wy(cm ³) | 83,5 |
| tf (mm) | 10,8 | Wx (cm ³) | 949,8 | ry(cm) | 3,09 |
| h (mm) | 428 | rx (cm) | 17,91 | Zy (cm ³) | 131,7 |
| rt (cm) | 3,79 | U (m2/m) | 0 | | |
| It (cm ⁴) | 21,79 | Cb= | 4,413 | | |
| λ_f (bf/tw) | 7,037037037 | Lb= | 1200 | | |
| λ_w (d'/tw) | 53,15789474 | E(Mpa) | 20000 | | |
| Cw (cm ⁶) | 304837 | fy(Mpa) | 34,5 | | |

| | |
|------|----------|
| Vsd= | 96 |
| Msd= | 16900,00 |

FLM

| | |
|---------------|-------|
| λ = | 7,04 |
| λ_p = | 9,15 |
| λ_r = | 23,89 |

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| Momentos | |
| $\lambda < \lambda_p$ | 37808,55 |
| $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ | 39940,14495 |
| $\lambda_r < \lambda$ | 264686,3701 |

| | |
|------|-------------|
| Mpl= | 37808,55 |
| Mr= | 22937,67 |
| Mcr= | 264686,3701 |

| | |
|---------------------|----------|
| Momento resistente= | 34371,41 |
|---------------------|----------|

Resultado= OK

FLA

| | |
|---------------|--------|
| λ = | 53,16 |
| λ_p = | 90,53 |
| λ_r = | 137,24 |

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| Momentos | |
| $\lambda < \lambda_p$ | 37808,55 |
| $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ | 41841,39538 |
| $\lambda_r < \lambda$ | Ñ EXISTE |

| | |
|------|----------|
| Mpl= | 37808,55 |
| Mr= | 32768,1 |
| Mcr= | Ñ EXISTE |

| | |
|---------------------|----------|
| Momento resistente= | 34371,41 |
|---------------------|----------|

Resultado= OK

CORTANTE

| | |
|---------------|-------|
| λ = | 56,32 |
| λ_p = | 59,22 |
| λ_r = | 73,76 |

| | |
|-----------------------------------|--------|
| $\lambda < \lambda_p$ | 707,94 |
| $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ | 744,47 |
| $\lambda_r < \lambda$ | 970,79 |

| | |
|---------|---|
| Caso n° | |
| = | 1 |

| | |
|-----------|--------|
| Kv= | 5,00 |
| Vpl= | 707,94 |
| Aw (cm²)= | 34,20 |

| | | |
|---------------------|--|--------|
| Momento resistente= | | 643,58 |
|---------------------|--|--------|

| Enrigeedor | |
|---------------------|--------|
| a (dist.enri)cm= | 100,00 |
| h= | 450,00 |

| | | Valor de kS |
|---|-------------------|----------------|
| 1 | Sem enrigeedor | 5,00 |
| 2 | Com enrigeedor | 106,25 |

Resultado OK

Estados limites de serviço

Hipótese utilizada : Hipótese 4

- Vigas V1

Flecha obtida: 15,1mm

Flecha permitida: $L/350 = 20\text{mm}$

Flecha “ok”

- Vigas V2

Flecha obtida: 34,1mm

Flecha permitida: 20mm

Necessário contra-flecha cujo valor máximo é 75% das ações permanentes=17mm

Flecha-contraflecha = $34,1 - 17 = 17\text{mm}$

Flecha “ok”

3.3.9 QUESTÃO 10

| Dados do perfil I laminado e do carregamento | | | | | | | |
|--|-----|-----------|-------|----------|-------|------------|------|
| h (mm) | 277 | Ix (cm4) | 16316 | E(Mpa) | 20000 | Lx (m) | 3,2 |
| tw (mm) | 11 | rx (cm) | 12,77 | fy(Mpa) | 345 | Ky | 1 |
| bf (mm) | 306 | Iy (cm4) | 5258 | Ag (cm²) | 100 | Ly(m) | 3,2 |
| tf (mm) | 11 | ry (cm) | 7,25 | Kx | 1 | Nc,sd (Kn) | 46,5 |

A) FLAMBAGEM LOCAL

Flambagem Local (AL)

| | | |
|--------------|--------------------|-------|
| relação b/t= | 13,91 | |
| (b/t)lim = | $0,56(E/fy)^{1/2}$ | 13,48 |
| (b/t)sup= | $1,03(E/fy)^{1/2}$ | 24,80 |

Qs= 0,98751093

| Fórmulas Qs | |
|------------------------|------|
| (b/t) < (b/t) < (b/t)s | |
| = | 0,99 |
| (b/t) > (b/t)s = | 2,07 |

Flambagem Local (AA)

| | | |
|--------------|--------------------|-------|
| relação b/t= | 25,18 | |
| (b/t)lim = | $1,49(E/fy)^{1/2}$ | 35,87 |

Qa= 1

Q= 0,98751093

| Fórmulas Qa | |
|--------------|--------|
| bef= | 27,70 |
| calculo bef= | 34,32 |
| Aef= | 100,00 |

B) INSTABILIDADE GLOBAL

Força de flambagem por flexão e esbeltez em relação ao eixo x:

| | | |
|---------------|----------|----|
| Nex= | 31451,80 | |
| λ_x = | 25,06 | OK |

Força de flambagem por flexão e esbeltez em relação ao eixo Y:

| | | |
|---------------|----------|----|
| Ney= | 10135,67 | |
| λ_y = | 44,14 | OK |

| Fórmulas de χ | |
|-----------------------------|-------------|
| Para $\lambda_o \leq 1,5$ = | 0,868760531 |
| Para $\lambda_o > 1,5$ = | 2,609101559 |

| | |
|---------------|----------|
| Ne= | 10135,67 |
| λ_o = | 0,58 |
| χ = | 0,869 |

Valor de Nc,rd= 2690,72 OK

| Dados | |
|------------------|--------------|
| Perfil Adotado | hp 310X79 |
| Material Adotado | A 572 - Gr50 |

| | | | | | |
|------------------------|-------------|-------------------------|--------|------------------------|--------|
| d(mm) | 299 | d' (mm) | 277 | Zx (cm ³) | 1210,1 |
| bf (mm) | 306 | Área (cm ²) | 100 | Iy (cm ⁴) | 5258 |
| tw (mm) | 11 | Ix (cm ⁴) | 16316 | Wy(cm ³) | 343,7 |
| tf (mm) | 11 | Wx (cm ³) | 1091,3 | ry(cm) | 7,25 |
| h (mm) | 277 | rx (cm) | 12,77 | Zy (cm ³) | 525,4 |
| rt (cm) | 8,2 | U (m ² /m) | | 0 | |
| It (cm ⁴) | 46,72 | Cb= | | 2,172 | |
| λf (bf/tw) | 13,90909091 | Lb= | | 320 | |
| λw (d'/tw) | 25,18181818 | E(Mpa) | | 20000 | |
| Cw (cm ⁶) | 1089258 | fy(Mpa) | | 34,5 | |

| | |
|------|---------|
| Vsd= | 0 |
| Msd= | 2728,00 |

FLM

| | |
|-----|-------|
| λ= | 13,91 |
| λp= | 9,15 |
| λr= | 23,89 |

| | |
|------|-------------|
| Mpl= | 41748,45 |
| Mr= | 26354,895 |
| Mcr= | 77844,10868 |

| | |
|-----------------|-------------|
| Momentos | |
| λ<λp | 41748,45 |
| λp<λ<λr | 36776,35451 |
| λr<λ | 77844,10868 |

| | |
|---------------------|----------|
| Momento resistente= | 33433,05 |
|---------------------|----------|

Resultado= OK

FLA

| | |
|-----|--------|
| λ= | 25,18 |
| λp= | 90,53 |
| λr= | 137,24 |

| | |
|------|----------|
| Mpl= | 41748,45 |
| Mr= | 37649,85 |
| Mcr= | Ñ EXISTE |

| | |
|-----------------|------------|
| Momentos | |
| λ<λp | 41748,45 |
| λp<λ<λr | 47482,5193 |
| λr<λ | Ñ EXISTE |

| | |
|---------------------|----------|
| Momento resistente= | 37953,14 |
|---------------------|----------|

Resultado= OK

FLT

| | |
|--------------|--------|
| $\lambda=$ | 44,14 |
| $\lambda_p=$ | 42,38 |
| $\lambda_r=$ | 130,73 |

| | |
|------------|------------|
| Mpl= | 41748,45 |
| Mr= | 26354,90 |
| Mcr= | 4599498,19 |
| $\beta_1=$ | 0,03 |

| Momentos | <=Mpl | |
|-----------------------------------|------------|----------|
| $\lambda < \lambda_p$ | 41748,45 | |
| $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ | 90010,84 | 41748,45 |
| $\lambda_r < \lambda$ | 4599498,19 | 41748,45 |

Momento resistente= 37953,14

Resultado OK

CORTANTE

Caso nº = 1

| | |
|--------------|-------|
| $\lambda=$ | 25,18 |
| $\lambda_p=$ | 59,22 |
| $\lambda_r=$ | 73,76 |

| | |
|-----------|--------|
| Kv= | 5,00 |
| Vpl= | 680,82 |
| Aw (cm²)= | 32,89 |

| | |
|-----------------------------------|---------|
| $\lambda < \lambda_p$ | 680,82 |
| $\lambda_p < \lambda < \lambda_r$ | 1601,14 |
| $\lambda_r < \lambda$ | 4669,26 |

Momento resistente= 618,93

| Enrigeedor | |
|------------------|--------|
| a (dist.enri)cm= | 100,00 |
| h= | 299,00 |

| | | Valor de kS |
|---|----------------|-------------|
| 1 | Sem enrigeedor | 5,00 |
| 2 | Com enrigeedor | 49,70 |

Resultado OK

Esforços combinados

Como: $N_{sd}/N_{rd} = 0,17 < 0,2$

$N_{sd}/(2N_{rd}) + M_{x,sd}/M_{x,rd} = 0,902 < 1$

Resultado OK

Flecha Obtida: 2,85mm

Flecha permitida: 10,66

Resultado OK

3.3.10 QUESTÃO 11

Estados limites de serviço

Combinações frequentes

1. Combinação 1: Forças gravitacionais
2. Combinação 2 :Forças gravitacionais + 0,7 x Sobrecarga
3. Combinação 3 : Cargas permanentes + 0,3 x Vento
4. Combinação 4: Cargas permanentes + 0,6xSobrecarga + 0,3x Vento]

Deslocamento no topo do galpão:

Obtido: 0,92mm

Permitido: $L/300 : 21\text{mm}$

Resultado OK

4 CONCLUSÃO

Os perfis dimensionados são ideais para o galpão pois além de resistirem a todas as cargas, incluindo o efeito de segunda ordem, os deslocamentos para o mesmo estão dentro do limite estabelecido por norma

5 NORMAS / BIBLIOGRAFIA ADOTADAS

- NBR-8800 – Projeto de Estruturas de Aço.

- NBR-6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações

- NBR-6123 – Ações de vento

- Apostila do Curso de Especialização em Estruturas – Dimensionamento básico de elementos de estruturas de aço do Professor: Ricardo Hallal Fakury