

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE
SÃO PAULO

PEF 2602
ESTRUTURAS NA ARQUITETURA II
Sistemas Reticulados

EXERCÍCIO 1: Estudo de treliça

ARENA CORINTHIANS

(CDA – Coutinho, Diegues, Cordeiro Arquitetos)

Professor Ruy Marcelo Pulleti
Professor Dimas Ribeiro Bettioli

São Paulo
2014

Componentes do Grupo 13

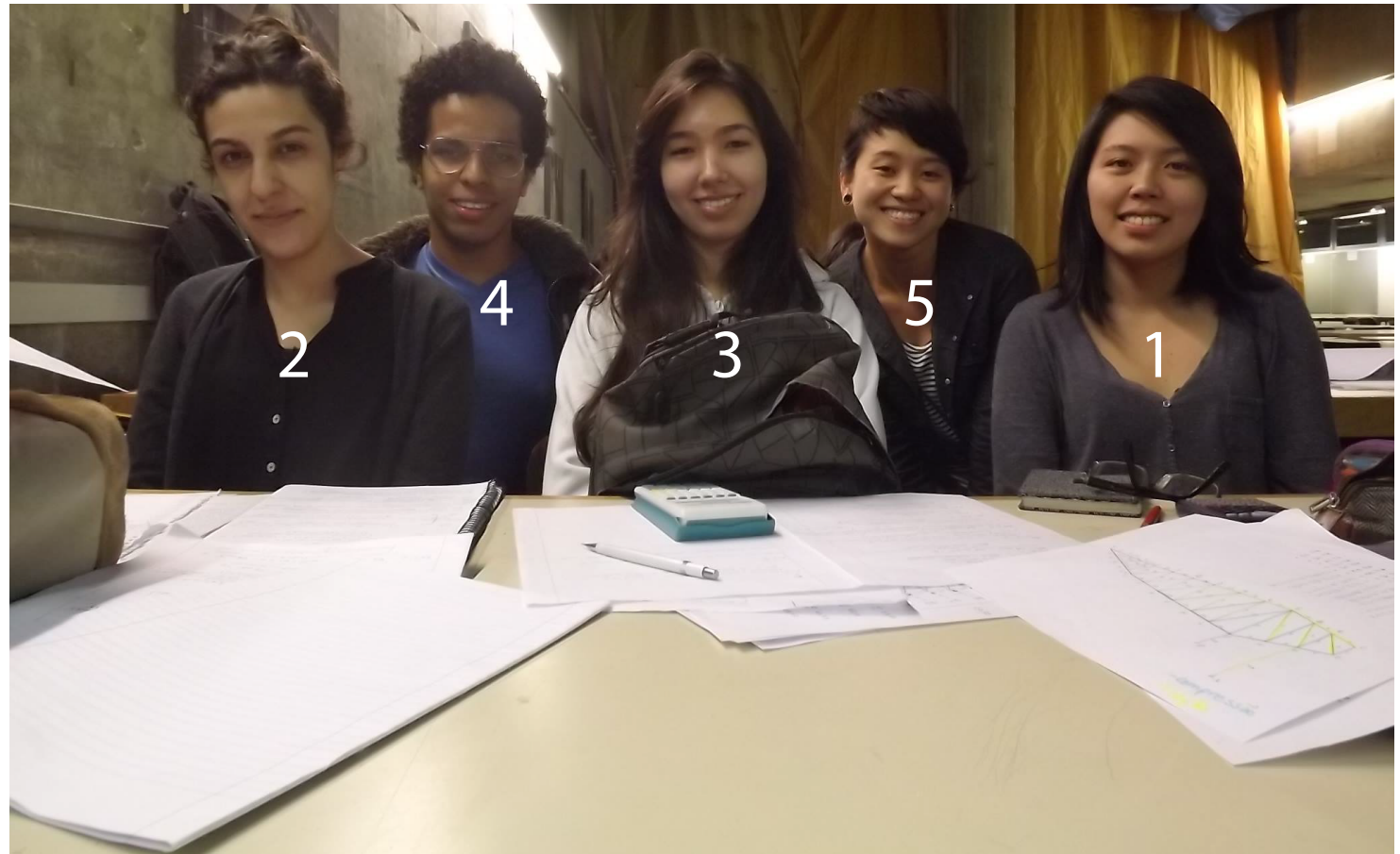
1 Evelyn Harumi Tomoyose
8010614

2 Fabiana R. Nascimento
8010660

3 Gabriela Mieko Y. O. Alves
7578731

4 Henrique Santos Rocha
8011192

5 Julia Kaori Hirakawa
8011038



Índice

Introdução 3

Interpretação dos dados recebidos 4

Análise estrutural 6

Área de influência (Ai) 6

Carregamentos 8

Reações de apoio 9

Reações nas barras 10

Esquema de tração e compressão da treliça 24

Reações nas barras — Tabela 25

Dimensionamento 27

Peso próprio 33

F-Tool 35

Cargas pontuais 34

Reações 36

Comparação entre os resultados das reações 38

Deformadas 40

Redimensionamento 42

Conclusão 46

Bibliografia 47

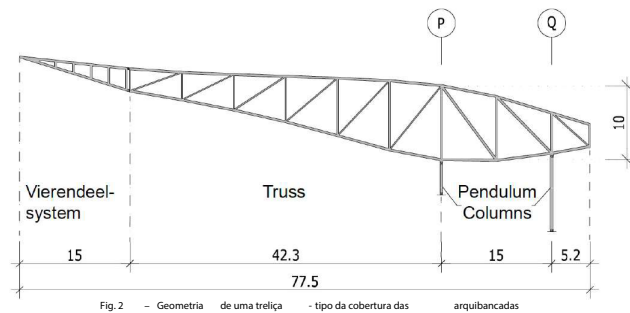
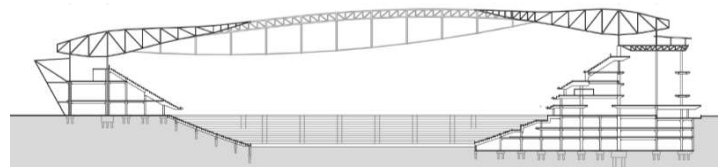
O projeto arena Corinthians

“O equilíbrio vertical e o equilíbrio de rotação da treliça-tipo são garantidos pelas colunas pendulares indicados na Figura 2. O equilíbrio horizontal é garantido por elementos transversais à treliça, conforme se descreve no artigo de referência. O trecho interno da treliça-tipo é constituído por um sistema ‘Vierendeel’ (no qual se removem as diagonais da treliça e se eliminam as articulações dos nós, para evitar a hipostaticidade). A escolha decorre da intenção do arquiteto de obter uma vista menos congestionada no trecho de interno, cuja cobertura é transparente.”

Objetivo do exercício

O exercício consiste na possibilidade de aproximação dos alunos com a estrutura de um projeto construído, a Arena Corinthians (CDA – Coutinho, Diegues, Cordeiro Arquitetos), a partir do estudo, cálculo e análise de uma treliça do mesmo. A determinação dos esforços solicitantes e do dimensionamento dos membros da treliça, bem como a execução do modelo da treliça no FTool são um exercício do cálculo de treliças, um dos conteúdos da disciplina. A pesquisa e a análise a partir do exercício proposto consistem na construção de um maior repertório de discussão crítica no âmbito das estruturas de edificações.

Interpretação dos dados recebidos



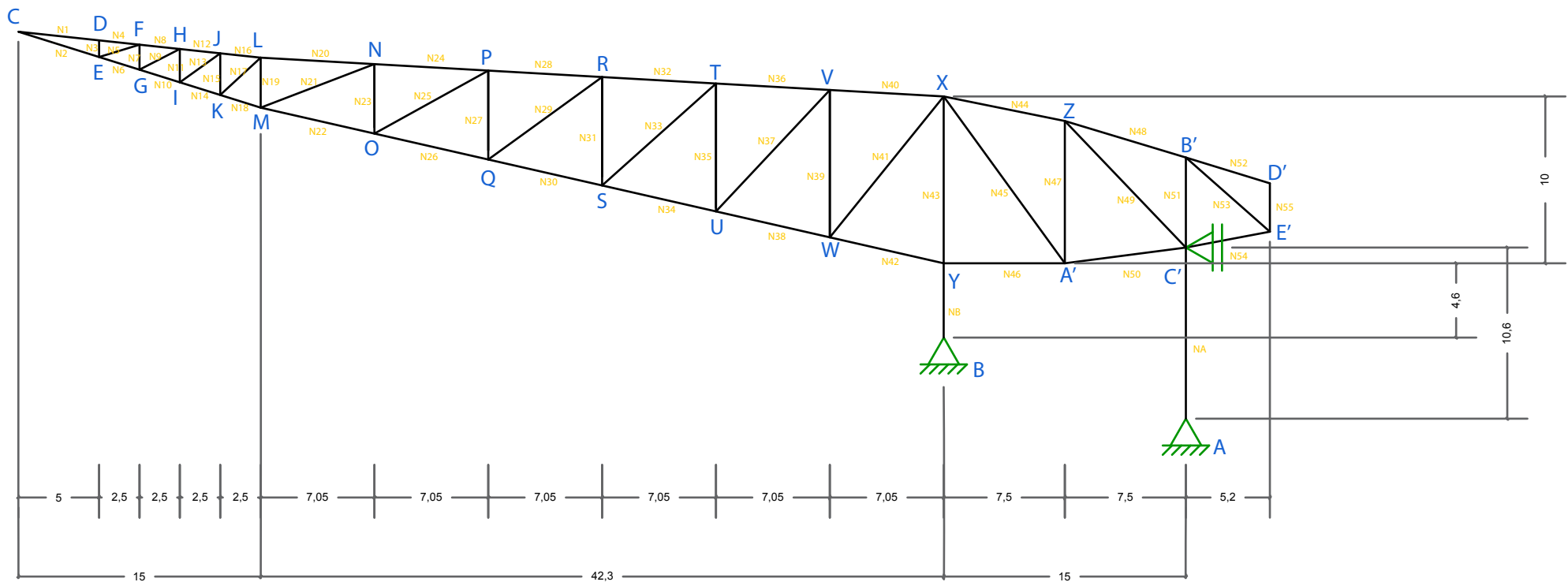
Os dados fornecidos para a execução do Exercício 1 sobre a Arena Corinthians consistem-se em: o artigo “New Corinthians Stadium in São Paulo” (W. Sobek et al., IASS 2013), um corte do projeto da Arena Corinthians (CDA – Coutinho, Diegues, Cordeiro Arquitetos) e um detalhe cotado da treliça (fora de escala) do mesmo projeto.

Para a elaboração dos cálculos, necessitou-se das medidas dos comprimentos e ângulos da treliça estudada. Dessa forma, adaptou-se o desenho do detalhe apresentado com o auxílio do programa Autocad.

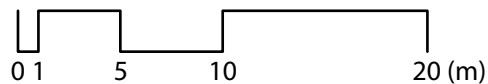


Foto da estrutura da cobertura

Primeiramente, a elaboração dos cálculos exigiu a prévia interpretação dos dados fornecidos, a realização de uma pesquisa complementar e adaptação de alguns elementos segundo a necessidade de informações para responder a cada item da atividade.



ESCALA GRÁFICA



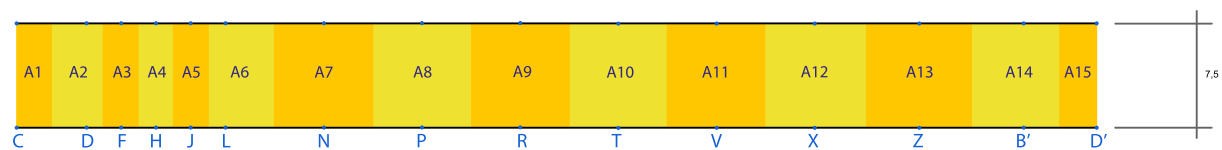
Durante a realização desse redesenho, tentou-se deformar minimamente a estrutura, através da retificação dos banzos inferior e superior para a simplificação dos ângulos desse trecho (segundo o indicado no e-mail enviado pelo professor Ruy Marcelo Pulleti).

Além disso, foram encontradas as seguintes medidas explicitadas no artigo "New Corinthians Stadium in São Paulo" (W. Sobek et al., IASS 2013), como visto acima:

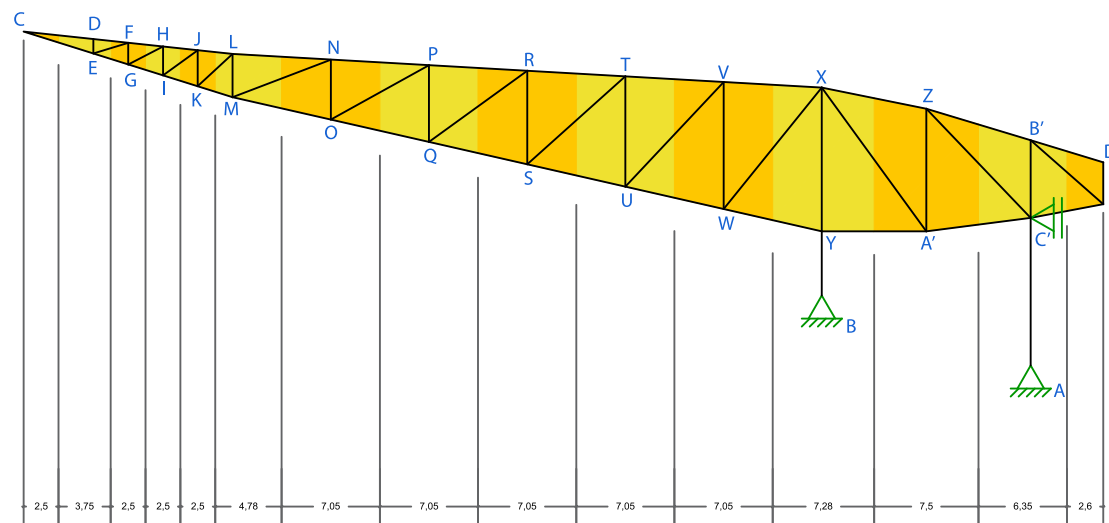
Análise estrutural

Área de influência (A_i)

Entende-se como área de influência a seguinte delimitação:

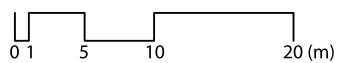


Vista Superior
(de duas treliças)



Vista Lateral

ESCALA GRÁFICA



Entende-se como área de influência a seguinte delimitação:

Portanto, para o cálculo das áreas de influência, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$A_{i n} = dt \times d_n$$

Onde,

$A_{i n}$ - área de influência (m^2)

n - número do setor

dt - distância entre treliças (7,5 m)

d_n - distância seção (m)

Setor	Distância do setor $d_n(m)$	Equação	Área de influência (m^2)
1	$d_1 = 2,50$	$A_{i 1} = 7,5 \times 2,50$	$A_{i 1} = 18,75$
2	$d_2 = 3,75$	$A_{i 2} = 7,5 \times 3,75$	$A_{i 2} = 28,13$
3	$d_3 = 2,50$	$A_{i 3} = 7,5 \times 2,50$	$A_{i 3} = 18,75$
4	$d_4 = 2,50$	$A_{i 4} = 7,5 \times 2,50$	$A_{i 4} = 18,75$
5	$d_5 = 2,50$	$A_{i 5} = 7,5 \times 2,50$	$A_{i 5} = 18,75$
6	$d_6 = 4,775$	$A_{i 6} = 7,5 \times 4,775$	$A_{i 6} = 35,81$
7	$d_7 = 7,05$	$A_{i 7} = 7,5 \times 7,05$	$A_{i 7} = 52,88$
8	$d_8 = 7,05$	$A_{i 8} = 7,5 \times 7,05$	$A_{i 8} = 52,88$
9	$d_9 = 7,05$	$A_{i 9} = 7,5 \times 7,05$	$A_{i 9} = 52,88$
10	$d_{10} = 7,05$	$A_{i 10} = 7,5 \times 7,05$	$A_{i 10} = 52,88$
11	$d_{11} = 7,05$	$A_{i 11} = 7,5 \times 7,05$	$A_{i 11} = 52,88$
12	$d_{12} = 7,28$	$A_{i 12} = 7,5 \times 7,28$	$A_{i 12} = 54,56$
13	$d_{13} = 7,50$	$A_{i 13} = 7,5 \times 7,50$	$A_{i 13} = 56,25$
14	$d_{14} = 6,35$	$A_{i 14} = 7,5 \times 6,35$	$A_{i 14} = 47,63$
15	$d_{15} = 2,60$	$A_{i 15} = 7,5 \times 2,60$	$A_{i 15} = 19,50$

Carregamentos

Carregamento Vertical (q)

$$q_1 = 0,02 \times n_g$$

$$q_1 = 0,02 \times 13$$

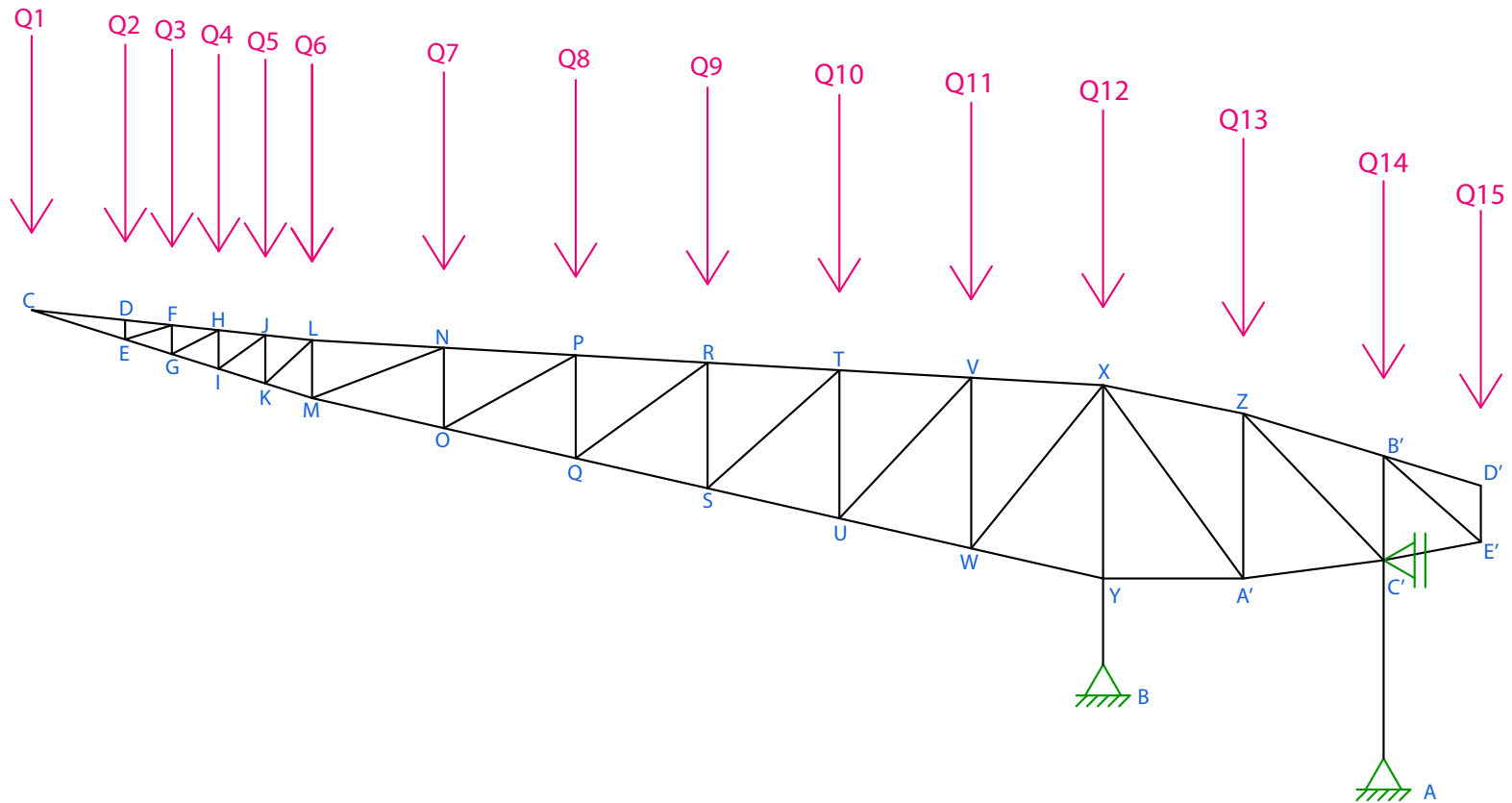
$$q_1 = 0,26$$

*ng(número do grupo) = 13

$$q = q_0 + q_1$$

$$q = 1,2 + 2,6$$

$$q = 1,46 \text{ kN/m}^2$$



Carregamento Pontual (Q)

$$Q_n = q \times A_i \times n$$

Onde,

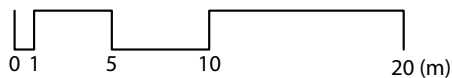
Q_n - carregamento pontual (kN)

A_i - área de influência (m²)

n - número do setor

q = carregamento distribuído do grupo (1,46 Kn/m²)

ESCALA GRÁFICA



Q_n	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15
kN	-27.38	-41.06	-27.38	-27.38	-27.38	-52.29	-77.20	-77.20	-77.20	-77.20	-77.20	-79.66	-82.12	-69.53	-28.47

Reações de apoio

Cálculo dos valores das reações de apoio

$$F_vA + F_vB - \sum Q_n = 0$$

$$F_vA + F_vB = 848,71 \text{ kN (I)}$$

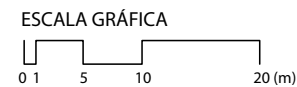
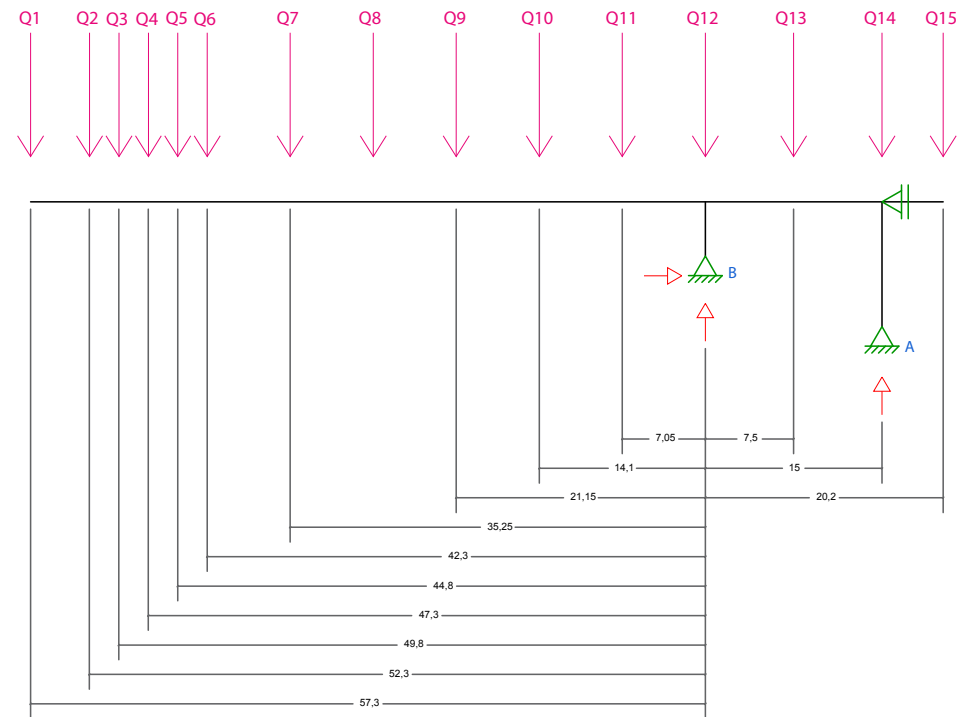
$M_B = 0$ (lado esquerdo)

$$\begin{aligned} & Q_1 \times 57,3 + Q_2 \times 52,3 + Q_3 \times 49,8 + Q_4 \times 47,3 + Q_5 \\ & \times 44,8 + Q_6 \times 42,3 + Q_7 \times 35,25 + \\ & + Q_8 \times 28,2 + Q_9 \times 21,15 + Q_{10} \times 14,1 + Q_{11} \times \\ & 7,05 = Q_{13} \times 7,05 + Q_{14} \times 15 + \\ & + Q_{15} \times 20,2 - F_vA \times 15 \\ & F_vA = - 1049,290467 \text{ kN(II)} \end{aligned}$$

Substituindo (I) em (II):

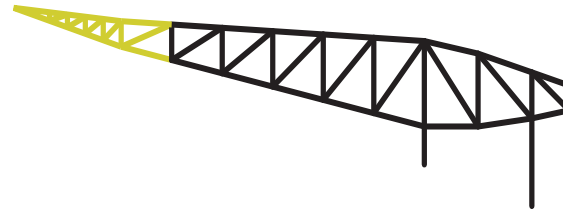
$$F_vB = 848,71 - (- 1049,290467)$$

$$F_vB = 1898,00067 \text{ kN}$$



Reações nas barras

TRECHO DOS NÓS C AO M



NÓ C

$$\Sigma FH = 0$$

$$N1 \times \cos 6^\circ + N2 \times \sin 73^\circ = 0$$

$$N2 = (N1 \times \cos 6^\circ) / \sin 73^\circ$$

$$\Sigma FV = 0$$

$$- Q1 - N1 \times \sin 6^\circ - N2 \times \cos 73^\circ = 0$$

$$N2 = (- 27,38 - N1 \times \sin 6^\circ) / \cos 73^\circ$$

$$\mathbf{N1 = 137,2242654kN}$$

$$\mathbf{N2 = - 142,7082064kN}$$

NÓ D

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N1 \times \cos 6^\circ + N4 \times \cos 6^\circ = 0$$

$$N4 = (137,2242654 \times \cos 6^\circ) / \cos 6^\circ$$

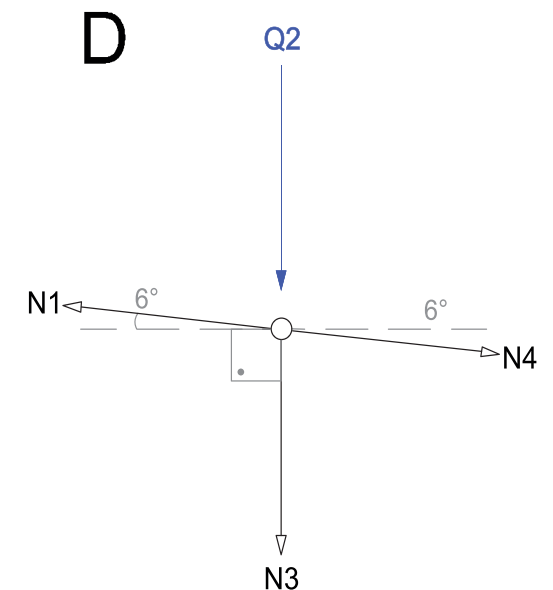
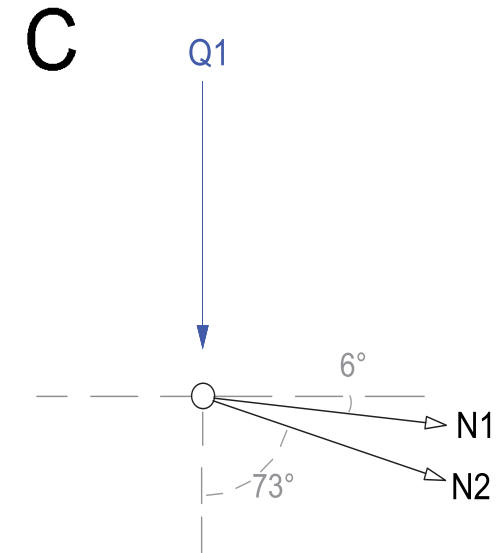
$$\mathbf{N4 = 137,2242654kN}$$

$$\Sigma FV = 0$$

$$- Q2 + N1 \times \sin 6^\circ - N3 - N4 \times \sin 6^\circ = 0$$

$$N3 = - 41,0625 + 137,2242654 \times \sin 6^\circ - 137,2242654 \times \sin 6^\circ$$

$$\mathbf{N3 = - 41,0625kN}$$



NÓ E

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N2 \times \cos 17^\circ + N5 \times \sin 73^\circ + N6 \times \cos 17^\circ = 0$$

$$N6 = (-142,7082064 \times \cos 17^\circ - N5 \times \sin 73^\circ) / \cos 17^\circ$$

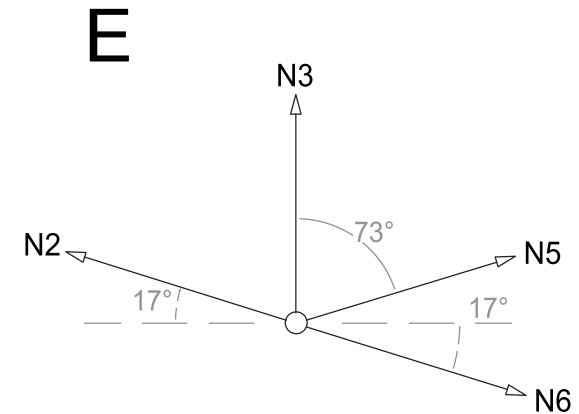
$$\Sigma FV = 0$$

$$N3 + N2 \times \sin 17^\circ + N5 \times \cos 73^\circ - N6 \times \sin 17^\circ = 0$$

$$N6 = (-41,0625 - 142,7082064 \times \sin 17^\circ + N51 \times \cos 73^\circ) / \sin 17^\circ$$

$$\mathbf{N5 = 70,2231087kN}$$

$$\mathbf{N6 = -212,9313151kN}$$



NÓ F

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N4 \times \cos 6^\circ - N5 \times \sin 73^\circ + N8 \times \cos 6^\circ = 0$$

$$N8 = (137,2242654 \times \cos 6^\circ + 70,2231087 \times \sin 73^\circ) / \cos 6^\circ$$

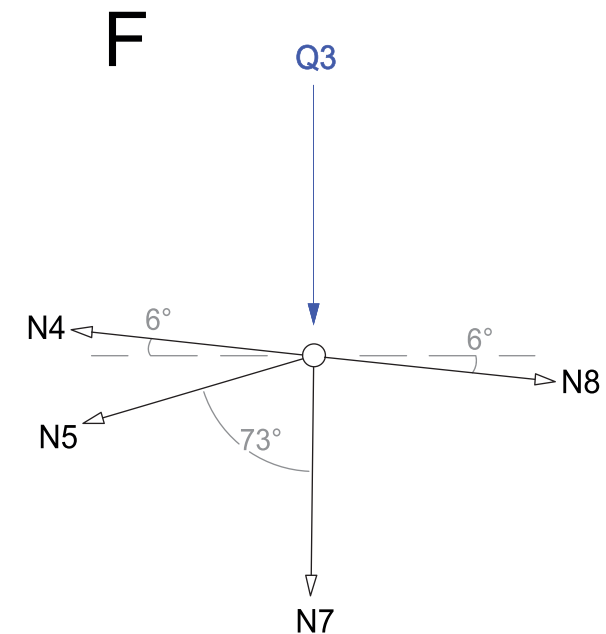
$$\mathbf{N8 = 204,7488651kN}$$

$$\Sigma FV = 0$$

$$- Q3 - N7 + N50 \times \sin 6^\circ - N5 \times \cos 73^\circ - N8 \times \sin 6^\circ = 0$$

$$N7 = -27,38 + 137,2242654 \times \sin 6^\circ - 70,2231087 \times \cos 73^\circ - 204,7488651 \times \sin 6^\circ$$

$$\mathbf{N7 = -54,96949264kN}$$



NÓ G

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N6 \times \cos 17^\circ + N9 \times \sin 63^\circ + N10 \times \cos 17^\circ = 0$$

$$N10 = (- 212,9313151 \times \cos 17^\circ - N9 \times \sin 63^\circ) / \cos 17^\circ$$

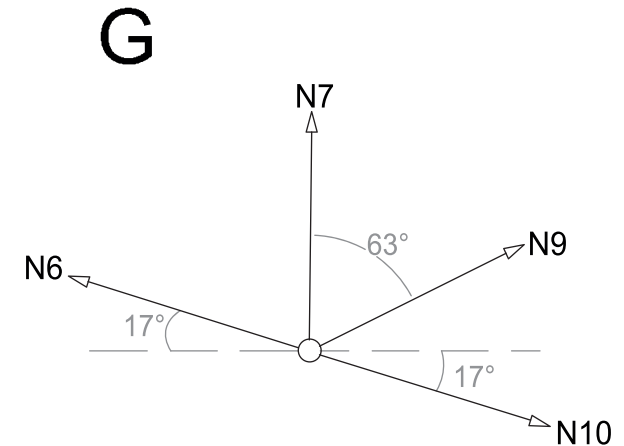
$$\Sigma FV = 0$$

$$N6 \times \sin 17^\circ + N7 + N47 \times \cos 63^\circ - N48 \times \sin 17^\circ = 0$$

$$N10 = (- 212,9313151 \times \sin 17^\circ - 54,96949264 + N47 \times \cos 63^\circ) / \sin 17^\circ$$

$$\mathbf{N9 = 75,67401401kN}$$

$$\mathbf{N10 = - 283,4381695kN}$$



NÓ H

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N8 \times \cos 6^\circ - N9 \times \sin 63^\circ + N12 \times \cos 6^\circ = 0$$

$$N12 = (204,7488651 \times \cos 6^\circ + 75,67401401 \times \sin 63^\circ) / \cos 6^\circ$$

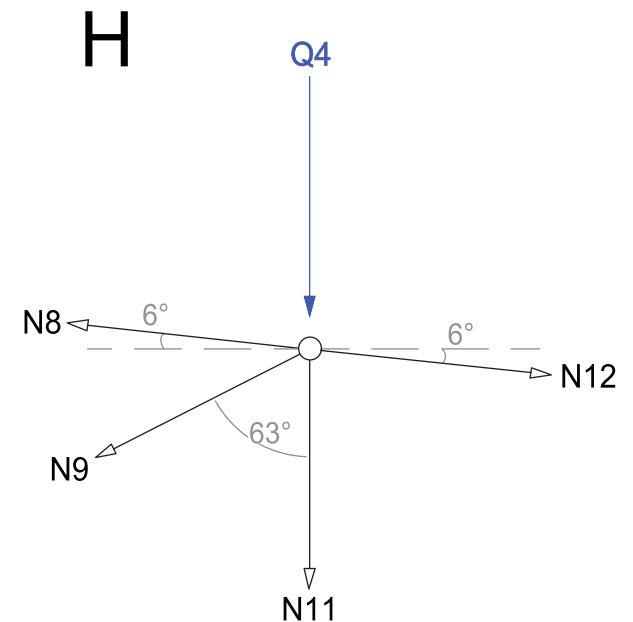
$$\mathbf{N12 = 272,5463068kN}$$

$$\Sigma FV = 0$$

$$- Q4 + N8 \times \sin 6^\circ - N9 \times \cos 63^\circ - N11 - N42 \times \sin 6^\circ = 0$$

$$N11 = - 27,38 + 204,7488651 \times \sin 6^\circ - 75,67401401 \times \cos 63^\circ - 272,5463068 \times \sin 6^\circ$$

$$\mathbf{N11 = - 68,82204583kN}$$



NÓ I

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N10 \times \cos 17^\circ + N13 \times \sin 54^\circ + N14 \times \cos 17^\circ = 0$$

$$N14 = (- 283,4381695 \times \cos 17^\circ - N13 \times \sin 54^\circ) / \cos 17^\circ$$

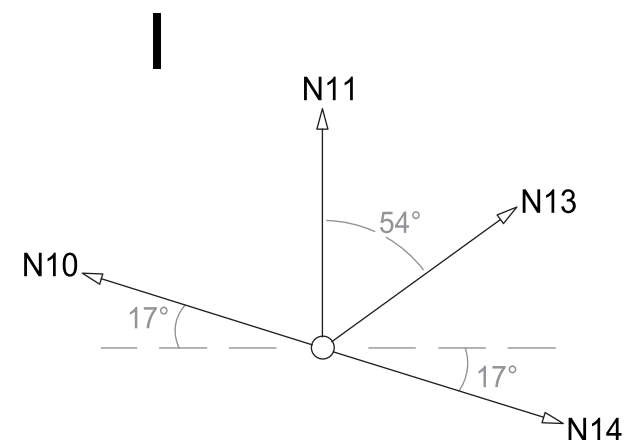
$$\Sigma FV = 0$$

$$N11 + N10 \times \sin 17^\circ + N13 \times \cos 54^\circ - N14 \times \sin 17^\circ = 0$$

$$N14 = (- 68,82204583 - 283,4381695 \times \sin 17^\circ + N13 \times \cos 54^\circ) / \sin 17^\circ$$

$$\mathbf{N13 = 82,40912021kN}$$

$$\mathbf{N14 = - 353,154835kN}$$



NÓ J

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N12 \times \cos 6^\circ - N13 \times \sin 54^\circ + N16 \times \cos 6^\circ = 0$$

$$N16 = (272,5463068 \times \cos 6^\circ + 82,40912021 \times \sin 54^\circ) / \cos 6^\circ$$

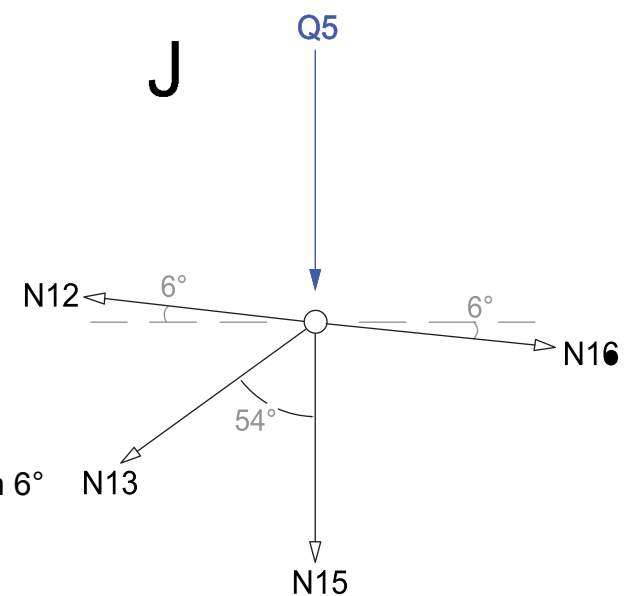
$$\mathbf{N16 = 339,5839246kN}$$

$$\Sigma FV = 0$$

$$- Q5 - N15 + N13 \times \sin 54^\circ - N16 \times \sin 6^\circ = 0$$

$$N15 = - 27,38 + 272,5463068 \times \sin 6^\circ - 82,40912021 \times \cos 54^\circ - 339,5839246 \times \sin 6^\circ$$

$$\mathbf{N15 = - 82,82620468kN}$$



NÓ K

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N14 \times \cos 17^\circ + N17 \times \sin 47^\circ + N18 \times \cos 17^\circ = 0$$

$$N18 = (- 353,154835 \times \cos 17^\circ - N17 \times \sin 47^\circ) / \cos 17^\circ$$

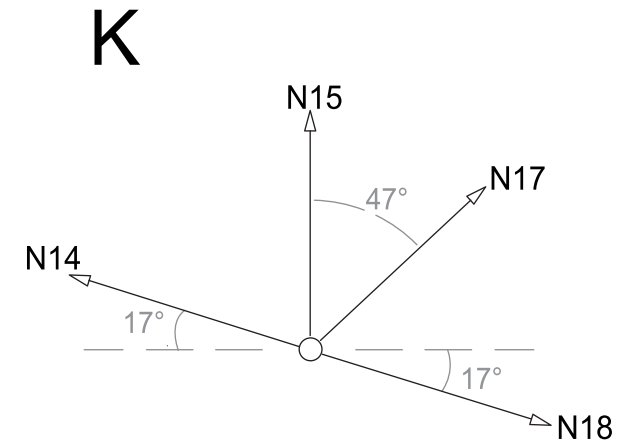
$$\Sigma FV = 0$$

$$N15 + N14 \times \sin 17^\circ + N17 \times \cos 47^\circ - N18 \times \sin 17^\circ = 0$$

$$N18 = (- 82,82620468 - 353,154835 \times \sin 17^\circ + N17 \times \cos 47^\circ) / \sin 17^\circ$$

$$\mathbf{N17 = 91,46047346kN}$$

$$\mathbf{N18 = - 423,1011104kN}$$



NÓ L

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N16 \times \cos 6^\circ - N17 \times \cos 43^\circ + N20 \times \cos 3^\circ = 0$$

$$N20 = (339,5839246 \times \cos 6^\circ + 91,46047346 \times \cos 43^\circ) / \cos 3^\circ$$

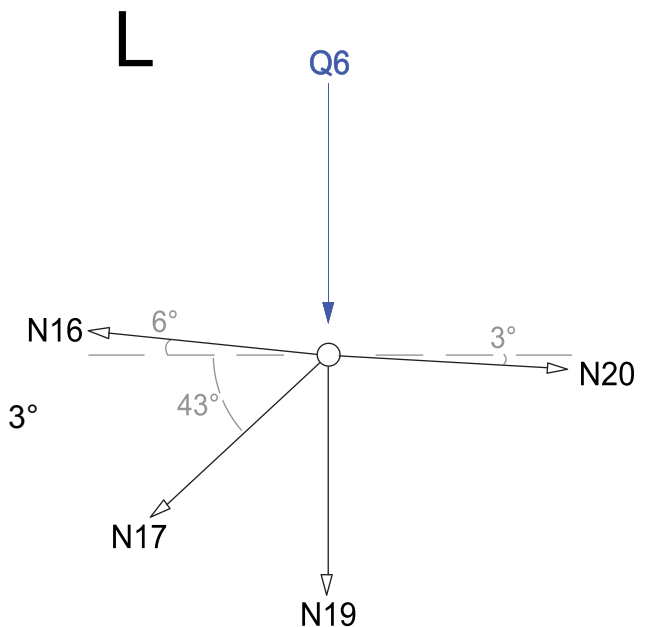
$$\mathbf{N20 = 405,168874kN}$$

$$\Sigma FV = 0$$

$$- Q6 + N16 \times \sin 6^\circ - N17 \times \sin 43^\circ - N19 - N20 \times \sin 3^\circ = 0$$

$$N19 = - 52,28625 + 339,5839246 \times \sin 6^\circ - 91,46047346 \times \sin 43^\circ - 405,168874 \times \sin 3^\circ$$

$$\mathbf{N19 = - 100,3708544kN}$$



NÓ M

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N18 \times \cos 17^\circ + N21 \times \sin 69^\circ + N22 \times \cos 13^\circ = 0$$

$$N22 = (- 423,1011104 \times \cos 17^\circ - N21 \times \sin 69^\circ) / \cos 13^\circ$$

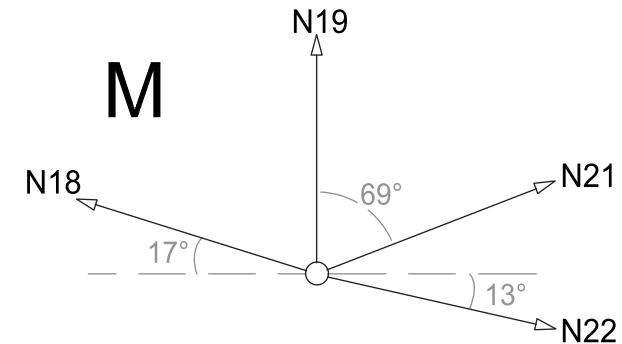
$$\Sigma FV = 0$$

$$N19 + N18 \times \sin 17^\circ + N21 \times \cos 69^\circ - N22 \times \sin 13^\circ = 0$$

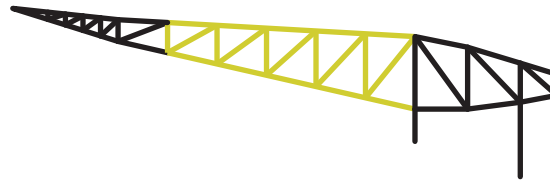
$$N22 = (- 100,3708544 - 423,1011104 \times \sin 17^\circ + N21 \times \cos 69^\circ) / \sin 13^\circ$$

$$\mathbf{N21 = 227,6716972kN}$$

$$\mathbf{N22 = - 633,3973781kN}$$



TRECHO DOS NÓS N AO Y



NÓ N

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N20 \times \cos 3^\circ - N21 \times \sin 69^\circ + N24 \times \cos 3^\circ = 0$$

$$N24 = (405,168874 \times \cos 3^\circ + 227,6716972 \times \sin 69^\circ) / \cos 3^\circ$$

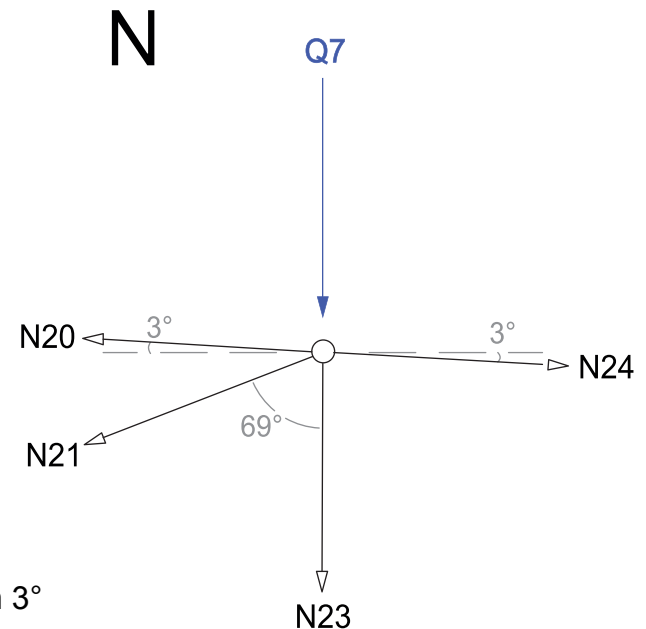
$$\mathbf{N24 = 618,0104061kN}$$

$$\Sigma FV = 0$$

$$- Q7 + N20 \times \sin 3^\circ - N21 \times \cos 69^\circ - N23 - N24 \times \sin 3^\circ = 0$$

$$N23 = - 77,1975 + 405,168874 \times \sin 3^\circ - 227,6716972 \times \cos 69^\circ - 618,0104061 \times \sin 3^\circ$$

$$\mathbf{N23 = - 169,9270044kN}$$



NÓ O

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N22 \times \cos 13^\circ + N25 \times \sin 61^\circ + N26 \times \cos 13^\circ = 0$$

$$N26 = (- 633,3973781 \times \cos 13^\circ - N25 \times \sin 61^\circ) / \sin 13^\circ$$

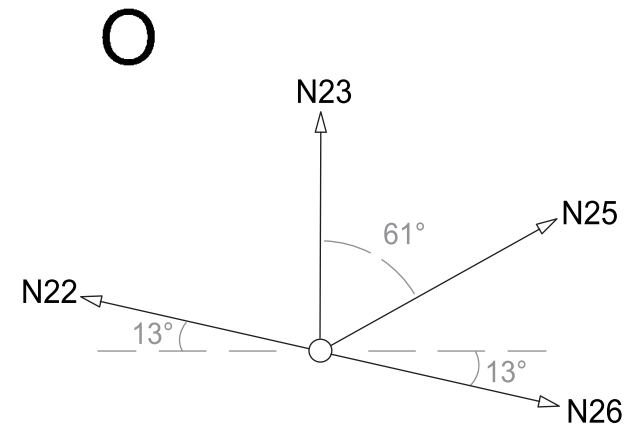
$$\Sigma FV = 0$$

$$N22 \times \sin 13^\circ + N23 + N25 \times \cos 61^\circ - N26 \times \sin 13^\circ = 0$$

$$N26 = (- 633,3973781 \times \sin 13^\circ - 169,9270044 + N25 \times \cos 61^\circ) / \sin 13^\circ$$

$$\mathbf{N25 = 247,443152kN}$$

$$\mathbf{N26 = - 855,087349kN}$$



NÓ P

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N24 \times \cos 3^\circ - N25 \times \sin 61^\circ + N28 \times \cos 3^\circ = 0$$

$$N28 = (618,010406 \times \cos 3^\circ + 247,443152 \times \sin 61^\circ) / \cos 3^\circ$$

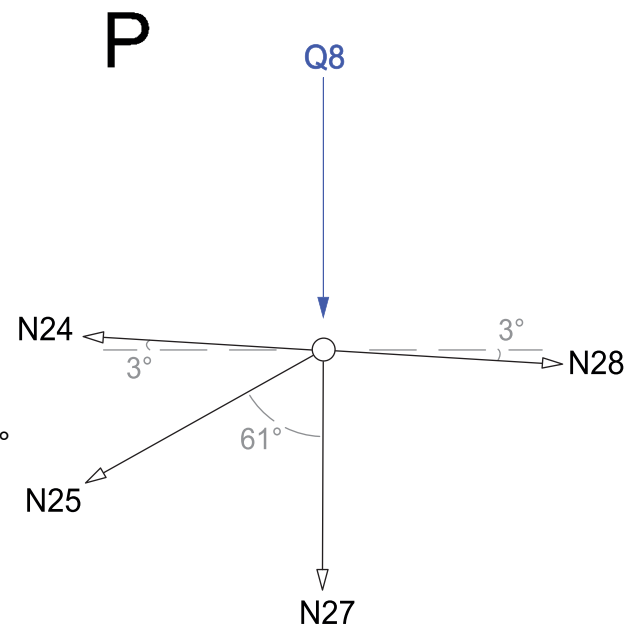
$$\mathbf{N28 = 834,7260644kN}$$

$$\Sigma FV = 0$$

$$- Q8 + N24 \times \sin 3^\circ - N25 \times \cos 61^\circ - N27 - N28 \times \sin 3^\circ = 0$$

$$N27 = - 77,1975 + 618,0104061 \times \sin 3^\circ - 247,443152 \times \cos 61^\circ - 834,7260644 \times \sin 3^\circ$$

$$\mathbf{N27 = - 208,5023418kN}$$



NÓ Q

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N26 \times \cos 13^\circ + N29 \times \sin 54^\circ + N30 \times \cos 13^\circ = 0$$

$$N30 = (- 855,087349 \times \cos 13^\circ - N29 \times \sin 54^\circ) / \cos 13^\circ$$

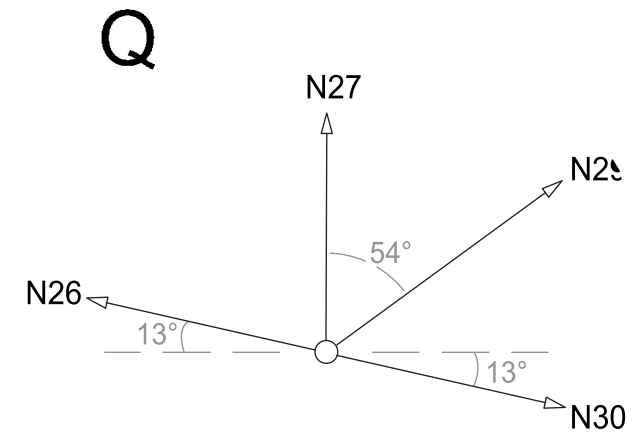
$$\Sigma FV = 0$$

$$N26 \times \sin 13^\circ + N27 + N29 \times \cos 54^\circ - N30 \times \sin 13^\circ = 0$$

$$N30 = (- 855,087349 \times \sin 13^\circ - 208,5023418 + N29 \times \cos 54^\circ) / \sin 13^\circ$$

$$\mathbf{N29 = 269,187573kN}$$

$$\mathbf{N30 = - 1078,593108kN}$$



NÓ R

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N28 \times \cos 3^\circ - N29 \times \sin 54^\circ + N32 \times \cos 3^\circ = 0$$

$$N32 = (834,7260644 \times \cos 3^\circ + 269,187573 \times \sin 54^\circ) / \cos 3^\circ$$

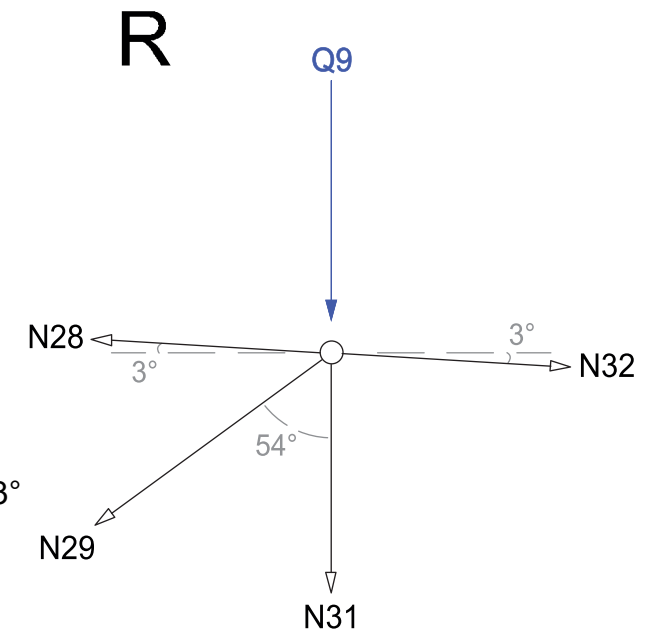
$$\mathbf{N32 = 1052,802251kN}$$

$$\Sigma FV = 0$$

$$- Q9 + N28 \times \sin 3^\circ - N29 \times \cos 54^\circ - N31 - N32 \times \sin 3^\circ = 0$$

$$N31 = - 77,1975 + 834,7260644 \times \sin 3^\circ - 269,187573 \times \cos 54^\circ - 1052,80225 \times \sin 3^\circ$$

$$\mathbf{N31 = - 246,8352112kN}$$



NÓ S

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N30 \times \cos 13^\circ + N33 \times \sin 48^\circ + N34 \times \cos 13^\circ = 0$$

$$N34 = (- 1078,5931108 \times \cos 13^\circ - N33 \times \sin 48^\circ) / \cos 13^\circ$$

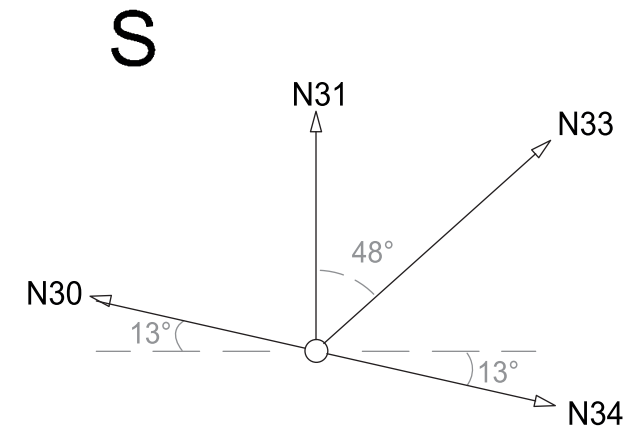
$$\Sigma FV = 0$$

$$N30 \times \sin 13^\circ + N31 + N33 \times \cos 48^\circ - N34 \times \sin 13^\circ = 0$$

$$N34 = (- 1078,593108 \times \sin 13^\circ - 246,8352112 + N33 \times \cos 48^\circ) / \sin 13^\circ$$

$$\mathbf{N33 = 293,6070811kN}$$

$$\mathbf{N34 = - 1302,525052kN}$$



NÓ T

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N32 \times \cos 3^\circ - N33 \times \sin 48^\circ + N36 \times \cos 3^\circ = 0$$

$$N36 = (1052,802251 \times \cos 3^\circ + 293,6070811 \times \sin 48^\circ) / \cos 3^\circ$$

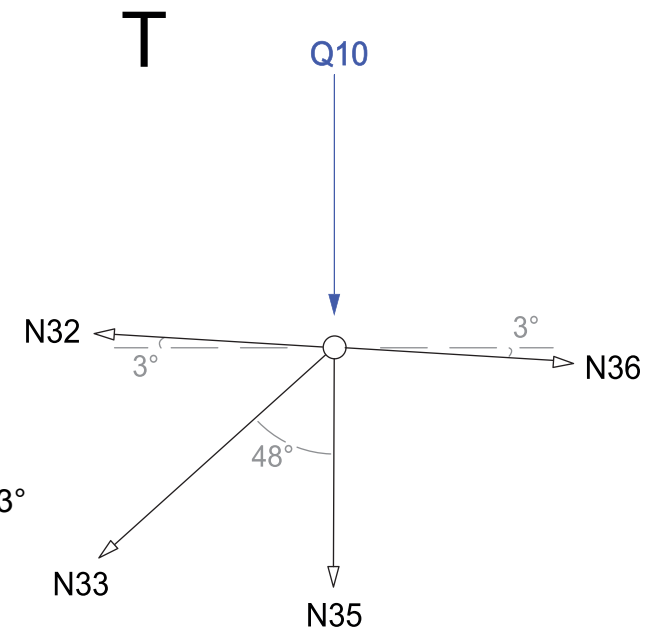
$$\mathbf{N36 = 1271,29427kN}$$

$$\Sigma FV = 0$$

$$- Q10 + N32 \times \sin 3^\circ - N33 \times \cos 48^\circ - N35 - N36 \times \sin 3^\circ = 0$$

$$N35 = - 77,1975 + 1052,802251 \times \sin 3^\circ - 293,6070811 \times \cos 48^\circ - 1271,29427 \times \sin 3^\circ$$

$$\mathbf{N35 = - 285,093973kN}$$



NÓ U

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N34 \times \cos 13^\circ + N37 \times \sin 43^\circ + N38 \times \cos 13^\circ = 0$$

$$N38 = (- 1302,525052 \times \cos 13^\circ - N37 \times \sin 43^\circ) / \cos 13^\circ$$

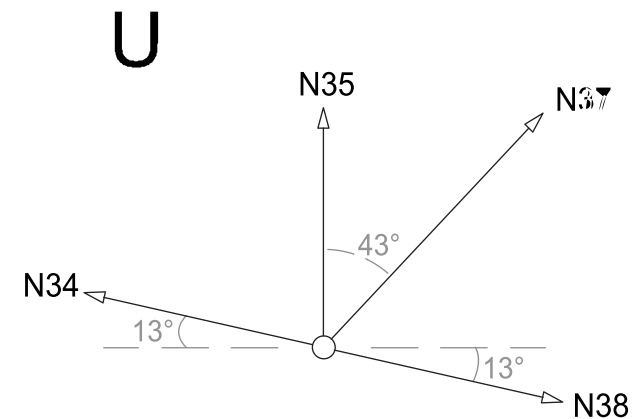
$$\Sigma FV = 0$$

$$N34 \times \sin 13^\circ + N35 + N37 \times \cos 43^\circ - N38 \times \sin 13^\circ = 0$$

$$N38 = (- 1302,525052 \times \sin 13^\circ - 285,0939 + N37 \times \cos 43^\circ) / \sin 13^\circ$$

$$\mathbf{N37 = 320,7607544kN}$$

$$\mathbf{N38 = - 1527,037603kN}$$



NÓ V

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N36 \times \cos 3^\circ - N37 \times \sin 43^\circ + N40 \times \cos 3^\circ = 0$$

$$N40 = (1271,29427 \times \cos 3^\circ + 320,7607544 \times \sin 43^\circ) / \cos 3^\circ$$

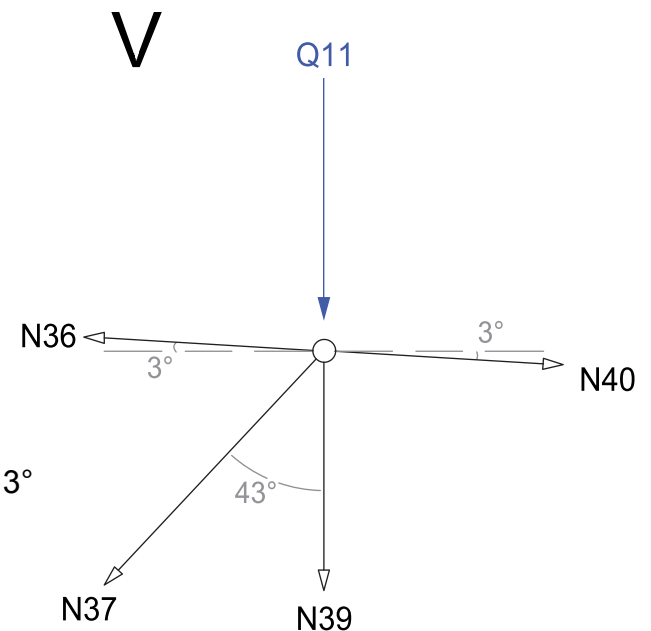
$$\mathbf{N40 = 1490,352791kN}$$

$$\Sigma FV = 0$$

$$- Q11 + N36 \times \sin 3^\circ - N37 \times \cos 43^\circ - N39 - N40 \times \sin 3^\circ = 0$$

$$N39 = - 77,1975 + 1271,29427 \times \sin 3^\circ - 320,7607544 \times \cos 43^\circ - 1490,352791 \times \sin 3^\circ$$

$$\mathbf{N39 = - 323,2517022kN}$$



NÓ W

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N38 \times \cos 13^\circ + N41 \times \sin 39^\circ + N42 \times \cos 13^\circ = 0$$

$$N42 = (- 1527,037603 \times \cos 13^\circ - N41 \times \sin 39^\circ) / \cos 13^\circ$$

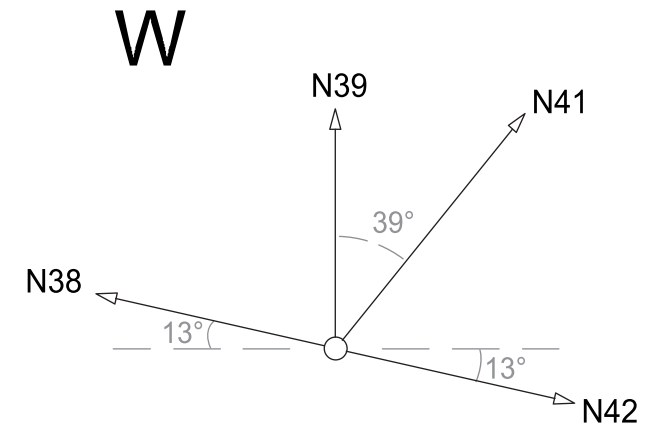
$$\Sigma FV = 0$$

$$N38 \times \sin 13^\circ + N39 + N41 \times \cos 39^\circ - N42 \times \sin 13^\circ = 0$$

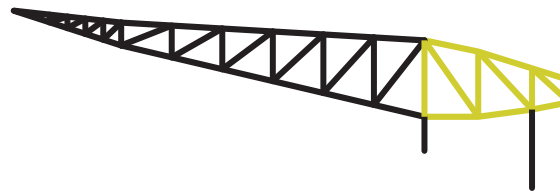
$$N16 = (- 1527,037603 \times \sin 13^\circ - 323,2517022 + N41 \times \cos 39^\circ) / \sin 13^\circ$$

$$\mathbf{N41 = 350,4326529kN}$$

$$\mathbf{N42 = - 1753,372978kN}$$



TRECHO DOS NÓS D' AO X



NÓ D'

$$\Sigma FH = 0$$

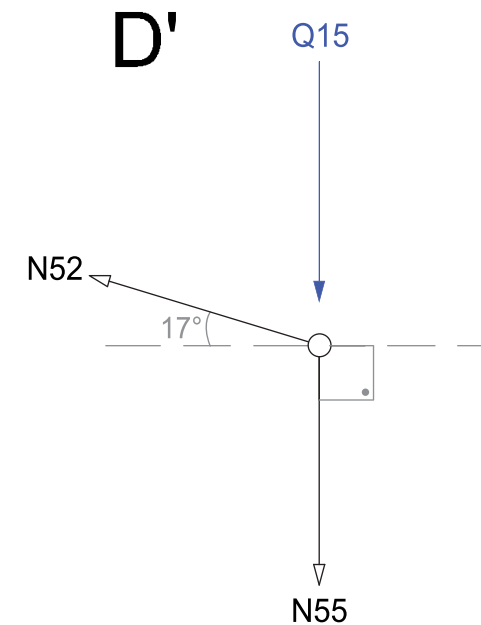
$$\mathbf{N52 = 0}$$

$$\Sigma FV = 0$$

$$- Q15 - N55 + N52 \times \sin 17^\circ = 0$$

$$N55 = - 28,47 + 0$$

$$\mathbf{N55 = - 28,47kN}$$



NÓ E'

$$\Sigma FH = 0$$

$$- N53 \times \text{sen } 49^\circ - N54 \times \text{cos } 11^\circ = 0$$

$$N54 = (- 35,46515804 \times \text{sen } 49^\circ) / \text{cos } 11^\circ$$

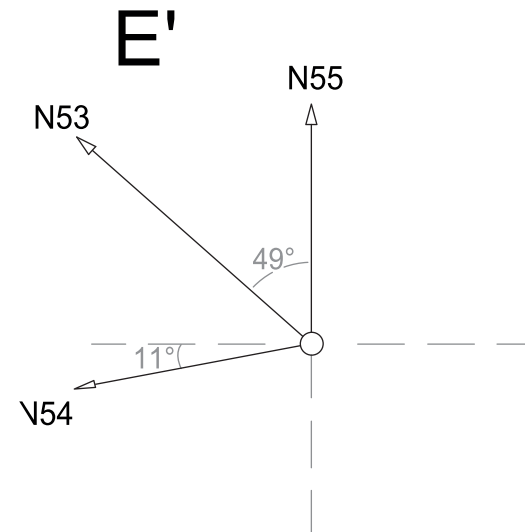
$$\Sigma FV = 0$$

$$N55 + N53 \times \text{cos } 49^\circ - N54 \times \text{sen } 11^\circ = 0$$

$$N54 = (- 28,47 + 35,46515804 \times \text{cos } 49^\circ) / \text{sen } 11^\circ$$

$$\mathbf{N53 = 35,46515804kN}$$

$$\mathbf{N54 = - 27,26686362kN}$$



NÓ B'

$$\Sigma FH = 0$$

$$N52 \times \text{cos } 17^\circ + N53 \times \text{sen } 49^\circ - N48 \times \text{cos } 17^\circ = 0$$

$$N48 = (0 + 35,46515804 \times \text{sen } 49^\circ) / \text{cos } 17^\circ$$

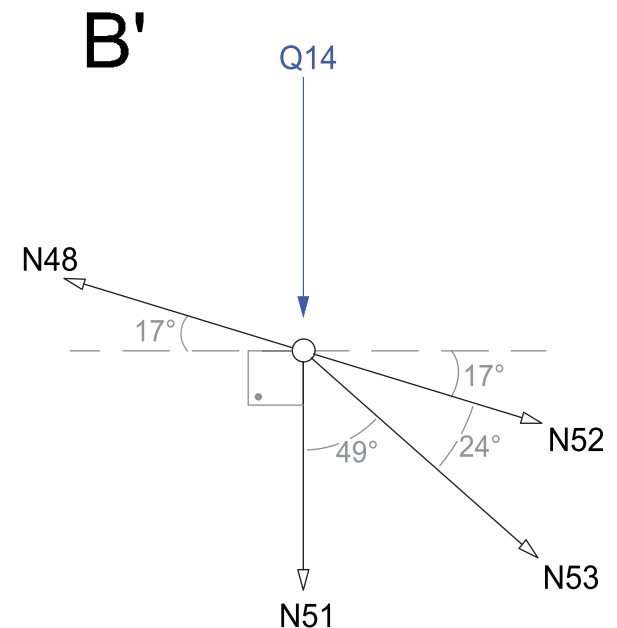
$$\mathbf{N48 = 27,98887527kN}$$

$$\Sigma FV = 0$$

$$- Q14 - N51 - N53 \times \text{cos } 49^\circ - N52 \times \text{sen } 17^\circ + N48 \times \text{sen } 17^\circ = 0$$

$$N51 = - 69,5325 - 35,46515804 \times \text{cos } 49^\circ - 0 + 27,98887527 \times \text{sen } 17^\circ$$

$$\mathbf{N51 = - 84,61408197kN}$$



NÓ C'

$$\Sigma FH = 0$$

$$N54 \times \cos 11^\circ - N49 \times \sin 44^\circ - N50 \times \cos 7^\circ = 0$$

$$N50 = (-27,26686362 \times \cos 11^\circ - 1411,60094 \times \sin 44^\circ) / \cos 7^\circ$$

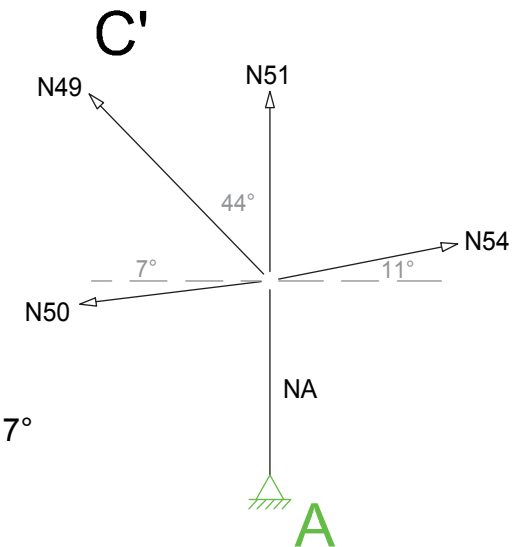
$$\Sigma FV = 0$$

$$N51 - N_A + N54 \times \sin 11^\circ + N49 \times \cos 44^\circ - N50 \times \sin 7^\circ = 0$$

$$N50 = (-84,61408197 - 1049,290467 - 27,26686362 \times \sin 11^\circ + 1411,60094 \times \cos 44^\circ) / \sin 7^\circ$$

$$\mathbf{N49 = 1411,60094kN}$$

$$\mathbf{N50 = -1014,911298kN}$$



NÓ Z

$$\Sigma FH = 0$$

$$N48 \times \cos 17^\circ + N49 \times \sin 44^\circ - N44 \times \cos 11^\circ = 0$$

$$N44 = (1026,200497 \times \cos 17^\circ + 1411,60094 \times \sin 44^\circ) / \cos 11^\circ$$

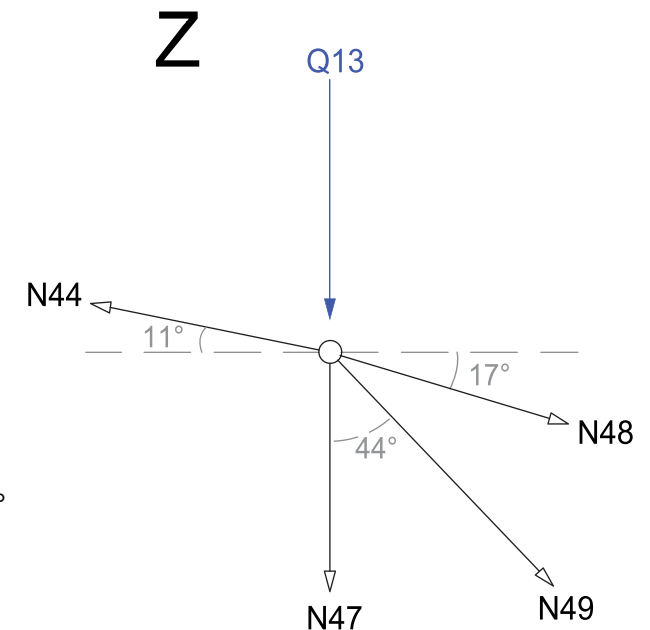
$$\mathbf{N44 = 1026,200497kN}$$

$$\Sigma FV = 0$$

$$-Q13 - N47 - N49 \times \cos 44^\circ - N48 \times \sin 17^\circ + N44 \times \sin 11^\circ = 0$$

$$N47 = -82,125 - 1411,60094 \times \cos 44^\circ - 27,98887527 \times \sin 17^\circ + 1026,200497 \times \sin 11^\circ$$

$$\mathbf{N47 = -894,1663591kN}$$



NÓ A'

$$\Sigma FH = 0$$

$$N50 \times \cos 7^\circ - N45 \times \cos 54^\circ - N46 = 0$$

$$N46 = -1014,911298 \times \cos 7^\circ - 1258,135416 \times \cos 54^\circ$$

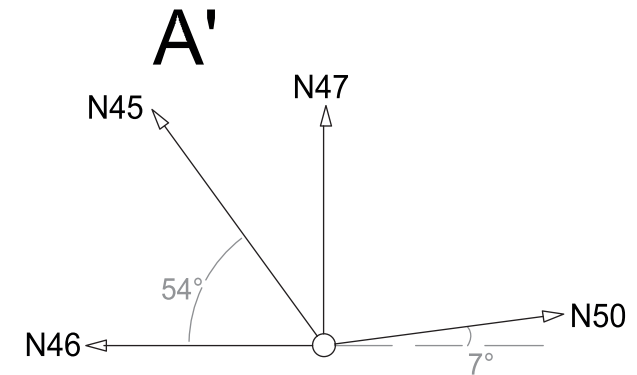
$$\mathbf{N46 = -1746,859746kN}$$

$$\Sigma FV = 0$$

$$N47 + N45 \times \sin 54^\circ + N50 \times \sin 7^\circ = 0$$

$$N45 = (894,1663591 + 1014,911298 \times \sin 7^\circ) / \sin 54^\circ$$

$$\mathbf{N45 = 1258,135416kN}$$



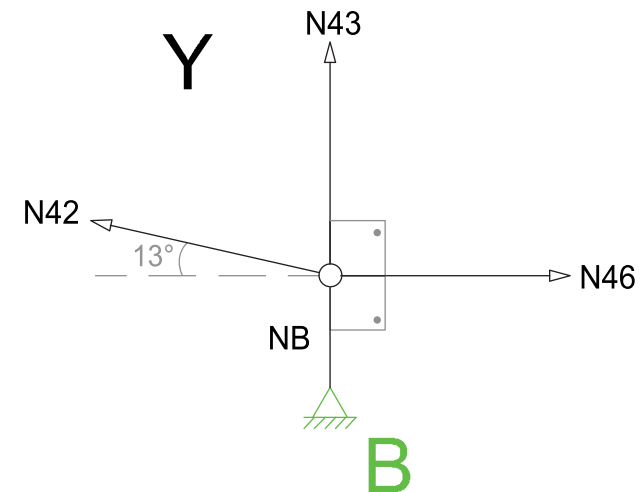
NÓ Y

$$\Sigma FV = 0$$

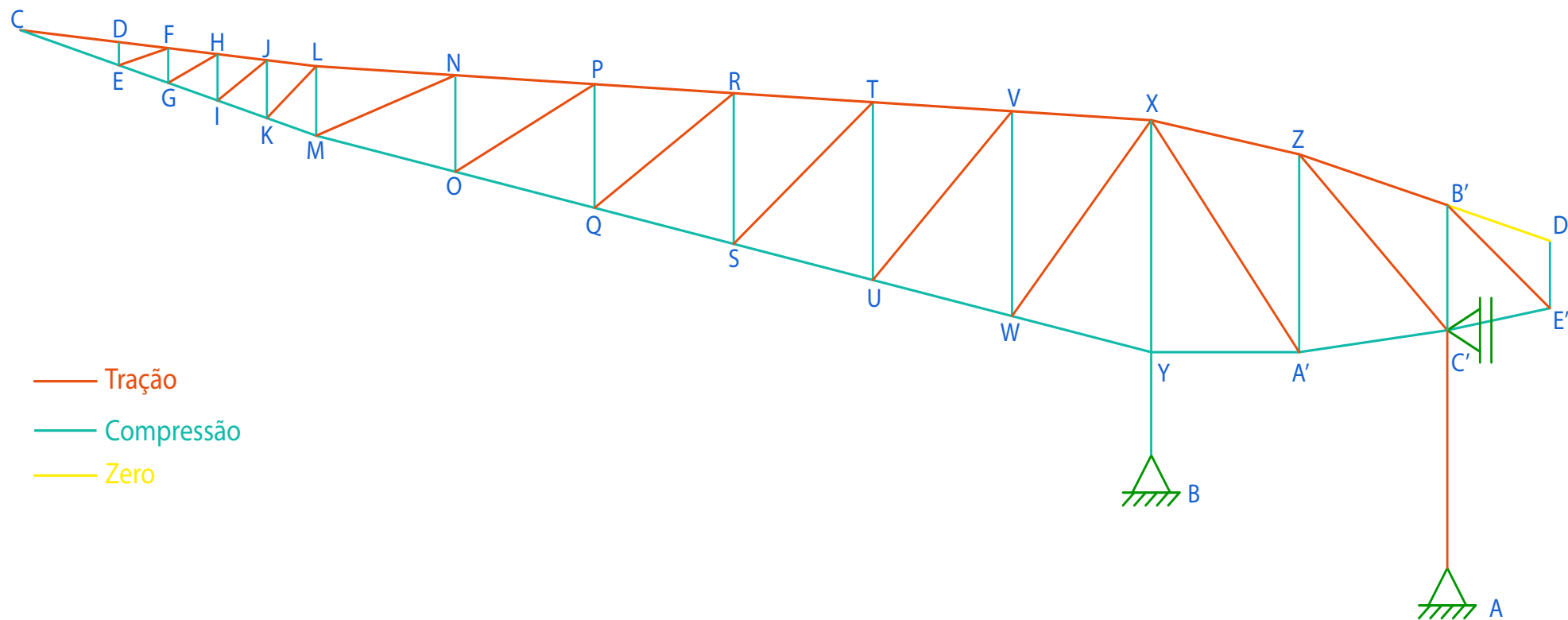
$$N43 - NB + N42 \times \sin 13^\circ = 0$$

$$N43 = -1898,00067 + 1792,809333 \times \sin 13^\circ$$

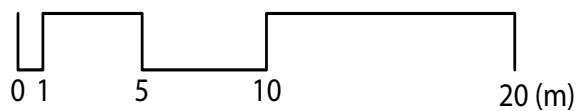
$$\mathbf{N43 = -1494,70632kN}$$



Esquema de tração e compressão da treliça



ESCALA GRÁFICA



Reações nas barras — Tabela

Barra	Reação da barra nos cálculos
N1	137,2242654kN
N2	- 142,7082064kN
N3	- 41,0625kN
N4	137,2242654kN
N5	70,2231087kN
N6	- 212,9313151kN
N7	- 54,96949264kN
N8	204,7488651kN
N9	75,67401401kN
N10	- 283,4381695kN
N11	- 68,82204583kN
N12	272,5463068kN
N13	82,40912021kN
N14	- 353,154835kN
N15	- 82,82620468kN
N16	339,5839246kN
N17	91,46047346kN
N18	- 423,1011104kN
N19	- 100,3708544kN
N20	405,168874kN
N21	227,6716972kN

N22	- 633,3973781kN
N23	- 169,9270044kN
N24	618,0104061kN
N25	247,443152kN
N26	- 855,087349kN
N27	- 208,5023418kN
N28	834,7260644kN
N29	269,187573kN
N30	- 1078,593108kN
N31	- 246,8352112kN
N32	1052,802251kN
N33	293,6070811kN
N34	- 1302,525052kN
N35	- 285,093973kN
N36	1271,29427kN
N37	320,7607544kN
N38	- 1527,037603kN
N39	- 323,2517022kN
N40	1490,352791kN
N41	361,5887414kN
N42	- 1753,372978kN
N43	- 1494,70632kN

N44	1026,200497kN
N45	1258,135416kN
N46	- 1746,859746kN
N47	- 894,1663591kN
N48	27,98887527kN
N49	1411,60094kN
N50	- 1014,911298kN
N51	- 84,61408197kN
N52	0
N53	35,46515804kN
N54	- 27,26686362kN
N55	- 28,47kN

Dimensionamento

Dados para os cálculos do dimensionamento dos perfis:

Material: Aço de alta resistência (Aço ASTM A 572)

Tensão de escoamento $\sigma_e = 345 \text{ MPa} = 34,5 \text{ kN/cm}^2$

Coefficiente de elasticidade $E = 220 \text{ GPa} = 22000 \text{ kN/cm}^2$

Coefficiente de segurança $S = 1,5$

Fórmulas utilizadas para o cálculo do dimensionamento:

$$\left| \frac{\sigma_e}{S} \right| \geq \left| \frac{N}{A} \right| \Rightarrow \left| \frac{\sigma_e}{S} \right| = \left| \frac{N}{A} \right| \quad |N| = \left| \frac{\pi^2 \times E \times I}{S \times l^2} \right|$$

Cálculos do dimensionamento:

Treliça

Banzos superior e inferior

Tração (barras do banzo superior)

Maior esforço normal: $|N_{40}| = 1490,352791 \text{ kN}$

$\sigma_e / S = N_{40} / A \rightarrow 34,5 / 1,5 = 1490,352791 / A \rightarrow A = 64,79794743 \text{ cm}^2$

Compressão (barras do banzo inferior)

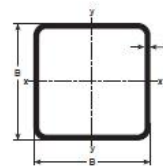
Maior esforço normal: $|N_{42}| = 1753,372978 \text{ kN}$

$\sigma_e / S = N_{42} / A \rightarrow 34,5 / 1,5 = 1753,372978 / A \rightarrow A = 76,23360774 \text{ cm}^2$

Flambagem:

$N_{40} = (\pi^2 \times E \times I) / S \times l_f^2 \rightarrow 1490,352791 = (\pi^2 \times 22000 \times I) / (1,5 \times (706,1)^2)$

$I = 5133,225477 \text{ cm}^4$



Tamanho	Espessura da parede	Massa linear	Superfície de corte transversal	Segundo momento da superfície	Raio de inércia	Momento elástico de resistência	Momento plástico de resistência	Constante de inércia à torção	Constante do módulo de torção	Superfície por metro linear
B x B	T	M	A	I	i	W_{el}	W_{pl}	I_t	C_t	A_s
mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m
220 x 220	6,3	41,9	53,4	4050	8,71	368	427	6240	544	0,864
	7,1	47,0	59,9	4500	8,67	409	477	6970	604	0,862
	8,0	52,7	67,2	5000	8,63	455	532	7760	669	0,859
	8,8	57,7	73,5	5430	8,59	494	580	8460	726	0,857
	10,0	65,1	82,9	6050	8,54	550	650	9470	807	0,854
	11,0	71,2	90,7	6550	8,50	595	707	10290	871	0,852
	12,5	80,1	102	7250	8,43	659	789	11480	963	0,848
	14,2	90,1	115	8010	8,35	728	879	12770	1060	0,843
	16,0	100	128	8750	8,27	795	969	14050	1160	0,839

Perfil escolhido:

Tamanho (B x B) = 220mm x 220mm

Espessura T = 10,0 mm

Massa linear M = 65,1 kg/m

Área da superfície de corte A = 82,9 cm²

Momento de inércia I = 6050 cm⁴

Diagonais e montantes

Tração (diagonais)

Maior esforço normal: $|N_{49}| = 1411,60094 \text{ kN}$

$\sigma_e / S = N_{49} / A \rightarrow 34,5 / 1,5 = 1411,60094 / A \rightarrow A = 61,37395391 \text{ cm}^2$

Compressão (montantes)

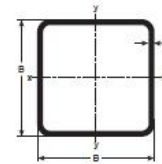
Maior esforço normal: $|N_{43}| = 1494,70632 \text{ kN}$

$\sigma_e / S = N_{43} / A \rightarrow 34,5 / 1,5 = 1494,70632 / A \rightarrow A = 64,9872313 \text{ cm}^2$

Flambagem:

$N_{43} = (\pi^2 \times E \times I) / S \times l_f^2 \rightarrow 1494,70632 = (\pi^2 \times 22000 \times I) / (1,5 \times (1033,1)^2)$

$I = 11020,70625 \text{ cm}^4$



Tamanho	Espessura da parede	Massa linear	Superfície de corte transversal	Segundo momento da superfície	Raio de inércia	Momento elástico de resistência	Momento plástico de resistência	Constante de inércia à torção	Constante do módulo de torção	Superfície por metro linear
B x B	T	M	A	I	i	W_{el}	W_{pl}	I_t	C_t	A_s
mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m
300 x 300	6,3	57,8	73,6	10550	12,0	703	809	16140	1040	1,18
	7,1	64,9	82,6	11780	11,9	785	906	18060	1160	1,18
	8,0	72,8	92,8	13130	11,9	875	1010	20190	1290	1,18
	8,8	79,8	102	14310	11,9	954	1110	22060	1410	1,18
	10,0	90,2	115	16030	11,8	1070	1250	24810	1580	1,17
	11,0	98,8	126	17420	11,8	1160	1360	27050	1710	1,17
	12,5	112	142	19440	11,7	1300	1520	30330	1900	1,17
	14,2	126	160	21640	11,6	1440	1710	33940	2110	1,16
	16,0	141	179	23850	11,5	1590	1890	37620	2330	1,16

Perfil escolhido:

Tamanho (B x B) = 300mm x 300mm

Espessura T = 7,1 mm

Massa linear M = 64,9 kg/m

Área da superfície de corte A = 82,6 cm²

Momento de inércia I = 11780 cm⁴

Viga Sistema Vierendeel

Banzos superior e inferior

Tração (barras do banzo superior)

$$\text{Maior esforço normal: } |N16| = 339,5839246 \text{ kN}$$

$$\sigma_e / S = N16 / A \rightarrow 34,5 / 1,5 = 339,5839246 / A \rightarrow A = 14,76451846 \text{ cm}^2$$

Compressão (barras do banzo inferior)

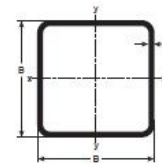
$$\text{Maior esforço normal: } |N18| = 423,1011104 \text{ kN}$$

$$\sigma_e / S = N18 / A \rightarrow 34,5 / 1,5 = 423,1011104 / A \rightarrow A = 18,39570045 \text{ cm}^2$$

Flambagem:

$$N18 = (\pi^2 \times E \times I) / S \times I f^2 \rightarrow 423,1011104 = (\pi^2 \times 22000 \times I) / (1,5 \times (262)^2)$$

$$I = 200,6391044 \text{ cm}^4$$



Tamanho	Espessura da parede	Massa linear	Superfície de corte transversal	Segundo momento da superfície	Raio de inércia	Momento elástico de resistência	Momento plástico de resistência	Constante de inércia à torção	Constante do módulo de torção	Superfície por metro linear
B x B	T	M	A	I	i	W _{el}	W _{pl}	I _t	C _t	A _s
mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m
	12,5	25,2	32,1	234	2,70	58,6	78,9	404	83,8	0,288
90 x 90	3,6	9,66	12,3	152	3,52	33,8	39,7	237	49,7	0,351
	4,0	10,7	13,6	166	3,50	37,0	43,6	260	54,2	0,350
	4,5	11,9	15,2	183	3,48	40,7	48,4	288	49,7	0,348
	5,0	13,1	16,7	200	3,45	44,4	53,0	316	64,8	0,347
	5,6	14,6	18,6	218	3,43	48,5	58,3	347	70,7	0,346
	6,3	16,2	20,7	238	3,40	53,0	64,3	382	77,0	0,344
	7,1	18,1	23,0	260	3,36	57,7	70,8	419	83,7	0,342
	8,0	20,1	25,6	281	3,32	62,6	77,6	459	90,5	0,339

Perfil escolhido:

Tamanho (B x B) = 90mm x 90mm

Espessura T = 5,6 mm

Massa linear M = 14,6 kg/m

Área da superfície de corte A = 18,6 cm²

Momento de inércia I = 218 cm⁴

Diagonais e montantes

Tração (diagonais)

Maior esforço normal: $|N17| = 91,46047346 \text{ kN}$

$\sigma_e / S = N17 / A \rightarrow 34,5 / 1,5 = 91,46047346 / A \rightarrow A = 3,976542324 \text{ cm}^2$

Compressão (montantes)

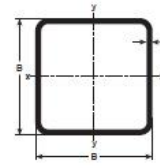
Maior esforço normal: $|N19| = 100,3708544 \text{ kN}$

$\sigma_e / S = N19 / A \rightarrow 34,5 / 1,5 = 100,3708544 / A \rightarrow A = 4,363950191 \text{ cm}^2$

Flambagem:

$N19 = (\pi^2 \times E \times I) / S \times l f^2 \rightarrow 100,3708544 = (\pi^2 \times 22000 \times I) / (1,5 \times (309,4)^2)$

$I = 66,37691635 \text{ cm}^4$



Tamanho	Espessura da parede	Massa linear	Superfície de corte transversal	Segundo momento da superfície	Raio de inércia	Momento elástico de resistência	Momento plástico de resistência	Constante de inércia à torção	Constante do módulo de torção	Superfície por metro linear
B x B	T	M	A	I	i	W_{el}	W_{pl}	I_t	C_t	A_s
mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m
70 x 70	3,2	6,63	8,44	62,3	2,72	17,8	21,0	97,6	26,1	0,272
	3,6	7,40	9,42	68,6	2,70	19,6	23,3	108	28,7	0,271
	4,0	8,15	10,4	74,7	2,68	21,3	25,5	118	31,2	0,270
	4,5	9,08	11,6	81,8	2,66	23,4	28,2	130	34,1	0,268
	5,0	9,99	12,7	88,5	2,64	25,3	30,8	142	36,8	0,267
	5,6	11,1	14,1	95,9	2,61	27,4	33,7	155	39,8	0,266
	6,3	12,3	15,6	104	2,58	29,7	36,9	169	42,9	0,264
	7,1	13,6	17,3	112	2,54	32,0	40,3	185	46,1	0,262
	8,0	15,0	19,2	120	2,50	34,2	43,8	200	49,2	0,259

Perfil escolhido:

Tamanho (B x B) = 70mm x 70mm

Espessura T = 3,6 mm

Massa linear M = 7,40 kg/m

Área da superfície de corte A = 9,42 cm²

Momento de inércia I = 68,6 cm⁴

Apoios

Tração (NA)

Maior esforço normal: $|NA| = 1049,290467 \text{ kN}$

$$\sigma_e / S = NA / A \rightarrow 34,5 / 1,5 = 1049,290467 / A \rightarrow A = 45,62132465 \text{ cm}^2$$

Compressão (NB)

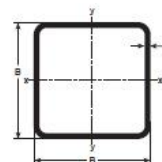
Maior esforço normal: $|NB| = 1898,00067 \text{ kN}$

$$\sigma_e / S = NB / A \rightarrow 34,5 / 1,5 = 1898,00067 / A \rightarrow A = 82,52176826 \text{ cm}^2$$

Flambagem:

$$NB = (\pi^2 \times E \times I) / S \times l_f^2 \rightarrow 1898,00067 = (\pi^2 \times 22000 \times I) / (1,5 \times (460)^2)$$

$$I = 2774,475267 \text{ cm}^4$$



Tamanho	Espessura da parede	Massa linear	Superfície de corte transversal	Segundo momento da superfície	Raio de inércia	Momento elástico de resistência	Momento plástico de resistência	Constante de inércia à torção	Constante do módulo de torção	Superfície por metro linear
B x B	T	M	A	I	i	W _{el}	W _{pl}	I _t	C _t	A _s
mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m
160 x 160	6,3	30,1	38,3	1500	6,26	187	220	2330	275	0,624
	7,1	33,7	42,9	1660	6,22	207	245	2590	304	0,622
	8,0	37,6	48,0	1830	6,18	229	272	2880	335	0,619
	8,8	41,1	52,4	1980	6,14	247	295	3120	361	0,617
	10,0	46,3	58,9	2190	6,09	273	329	3480	398	0,614
	11,0	50,4	64,3	2350	6,05	294	356	3760	427	0,612
	12,5	56,6	72,1	2580	5,98	322	395	4160	467	0,608
	14,2	63,3	80,7	2810	5,90	351	436	4580	508	0,603
	16,0	70,2	89,4	3030	5,82	379	476	4990	546	0,599

Perfil escolhido:

Tamanho (B x B) = 160mm x 160mm

Espessura T = 16,0 mm

Massa linear M = 70,2 kg/m

Área da superfície de corte A = 89,4 cm²

Momento de inércia I = 3030 cm⁴

Peso próprio

Utilizando os valores das massas lineares tiradas da tabela de onde foram escolhidos os perfis e multiplicando pelos comprimentos das barras tirados do arquivo cad, temos:

Banzos da treliça

Massa linear dos banzos da treliça $M = 65,1 \text{ kg/m}$

Comprimento do banzo superior = 63,292 m

Comprimento do banzo inferior = 63,74 m

Peso dos banzos = $(63,292 + 63,74) \times 65,1 = \mathbf{8269,7832 \text{ kg}}$

Diagonais e montantes da treliça

Massa linear das diagonais e montantes da treliça $M = 64,9 \text{ kg/m}$

Σ Comprimentos das diagonais = 85,847 m

Σ Comprimento das montantes = 61,335 m

Peso das diagonais e montantes = $(85,847 + 61,335) \times 64,9 = \mathbf{9552,1118 \text{ kg}}$

Banzos da Viga Vierendeel

Massa linear dos banzos $M = 14,6 \text{ kg/m}$

Comprimento do banzo superior = 15,086 m

Comprimento do banzo inferior = 15,72 m

Peso dos banzos = $(15,086 + 15,72) \times 14,6 = \mathbf{449,7676 \text{ kg}}$

Diagonais e montantes da Viga Vierendeel

Massa linear das diagonais e montantes $M = 7,40 \text{ kg/m}$

Σ Comprimentos das diagonais = 11,904 m

Σ Comprimento das montantes = 10,314 m

Peso das diagonais e montantes = $(11,904 + 10,314) \times 7,40 = \mathbf{164,4132 \text{ kg}}$

Apoios

Massa linear dos apoios $M = 70,2 \text{ kg/m}$

Σ Comprimento dos apoios = 4,6 + 10,6 = 15,2 m

Peso dos apoios = $15,2 \times 70,2 = \mathbf{1067,04 \text{ kg}}$

Para calcular o peso estimado da treliça, somamos o peso de cada parte:

Fora os apoios:

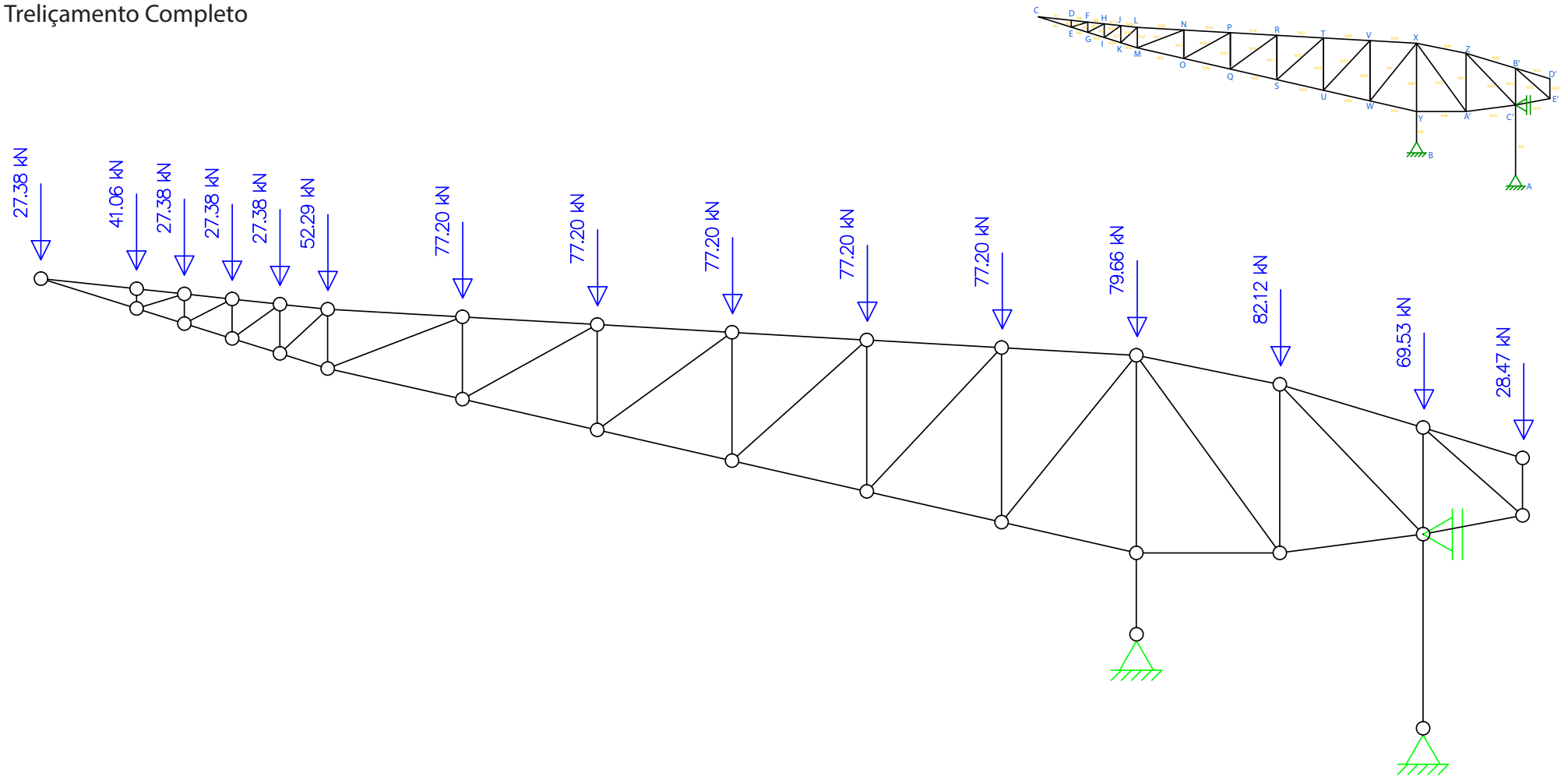
$8269,7832 + 9552,1118 + 449,7676 + 164,4132 = \mathbf{14436,0758 \text{ kg}}$

Somando os apoios:

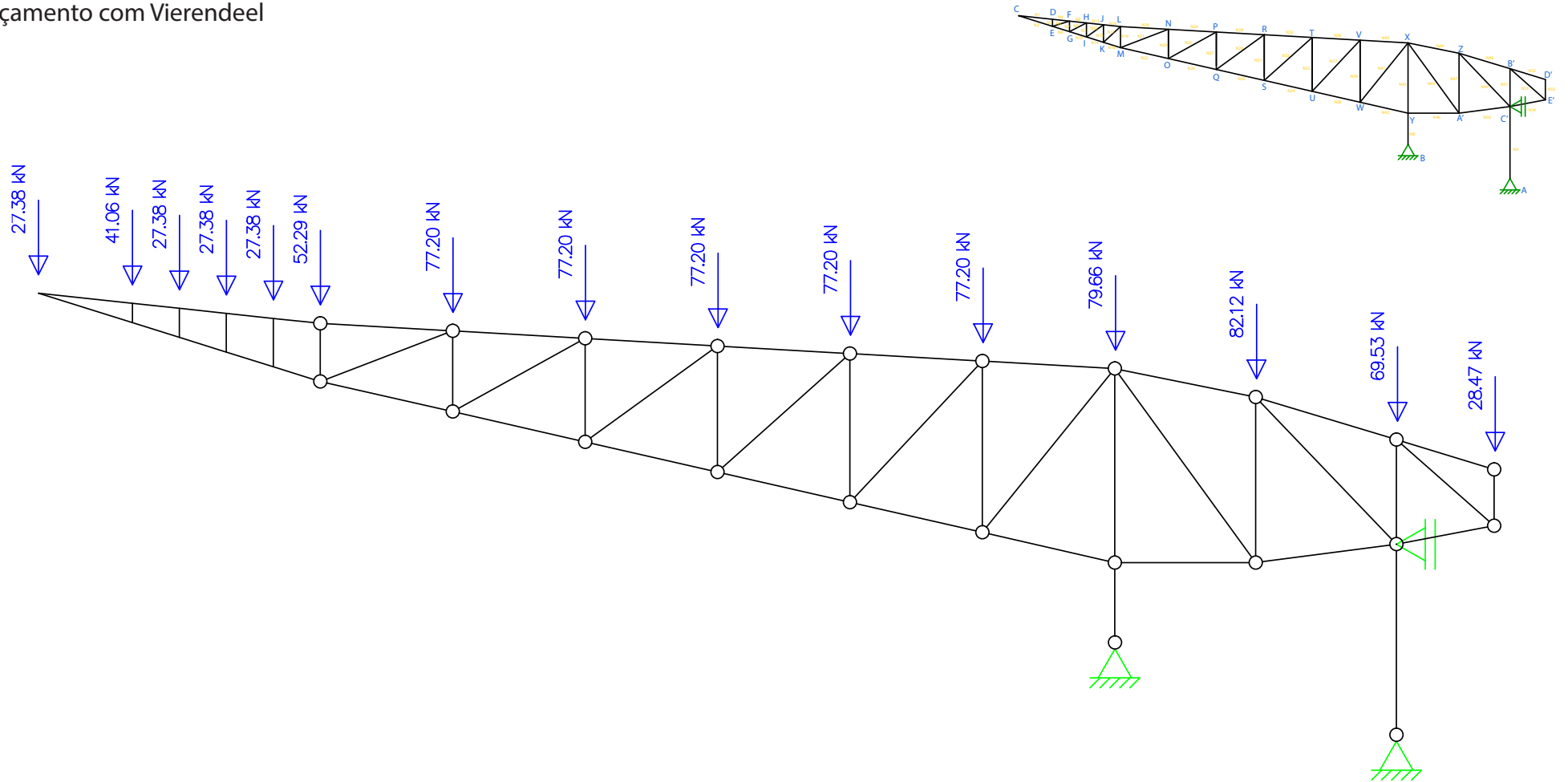
$14436,0758 + 1067,04 = \mathbf{15503,1158 \text{ kg}}$

Cargas Pontuais

Trelçamento Completo

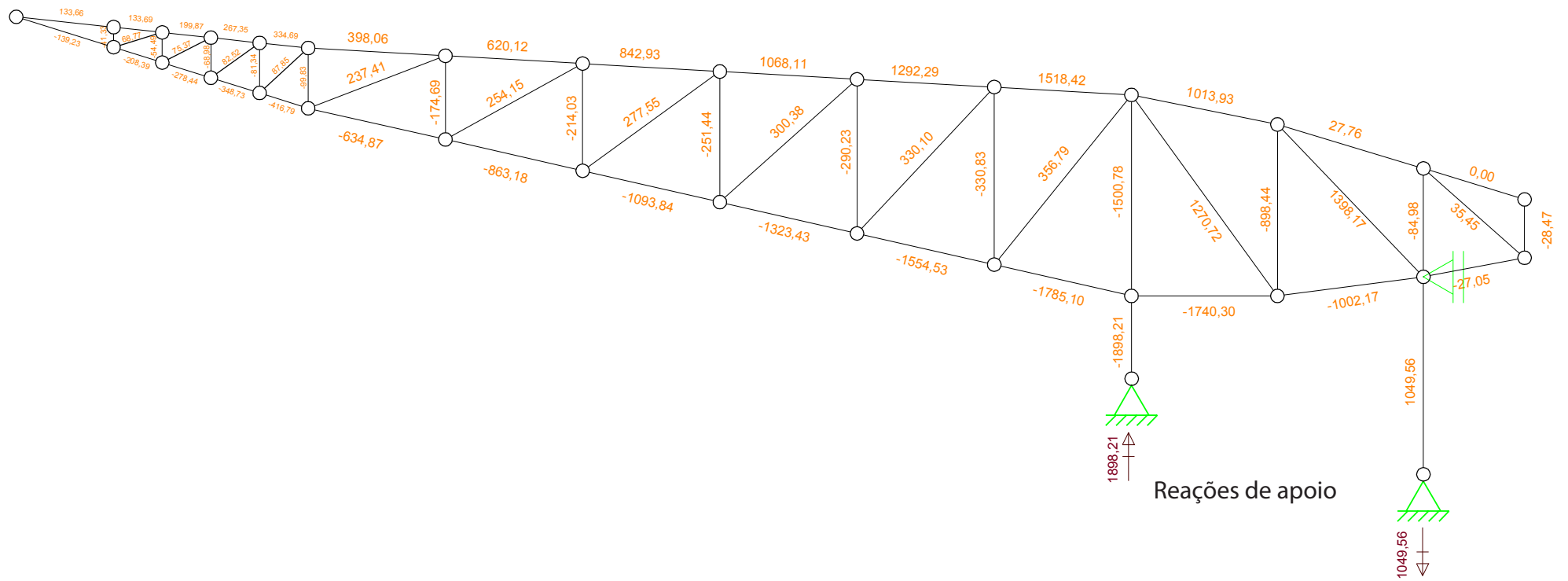
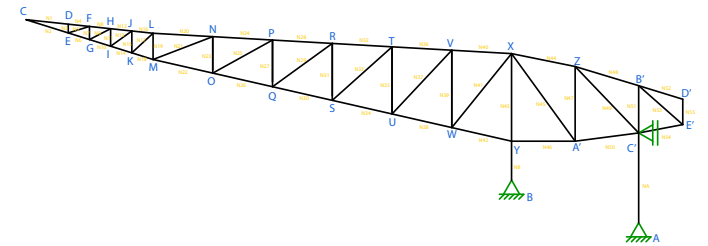


Treliçamento com Vierendeel



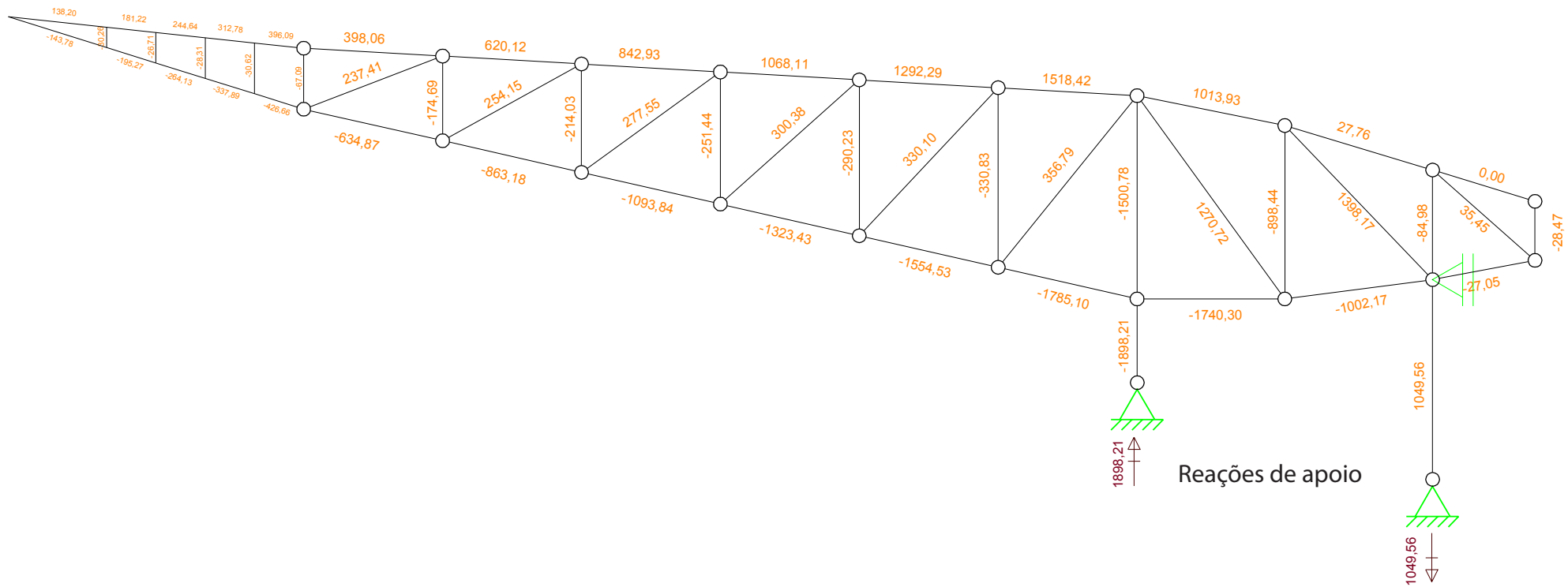
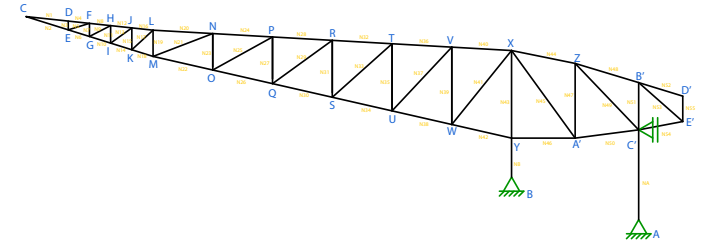
Reações

Trelçamento Completo



Reações de apoio

Trelçamento com Vienrendeel



Comparação entre os resultados das reações

Ao comparar os valores das reações resultantes nos dois métodos utilizados, contas manuais e gráfico do modelo com treliçamento completo no ftool, observa-se que as reações nas extremidades da treliça mostram poucas divergências entre os valores, com no máximo 5kN de diferença; entretanto quanto mais se aproxima do trecho intermediário da treliça, o desvio aumenta para até 32kN.

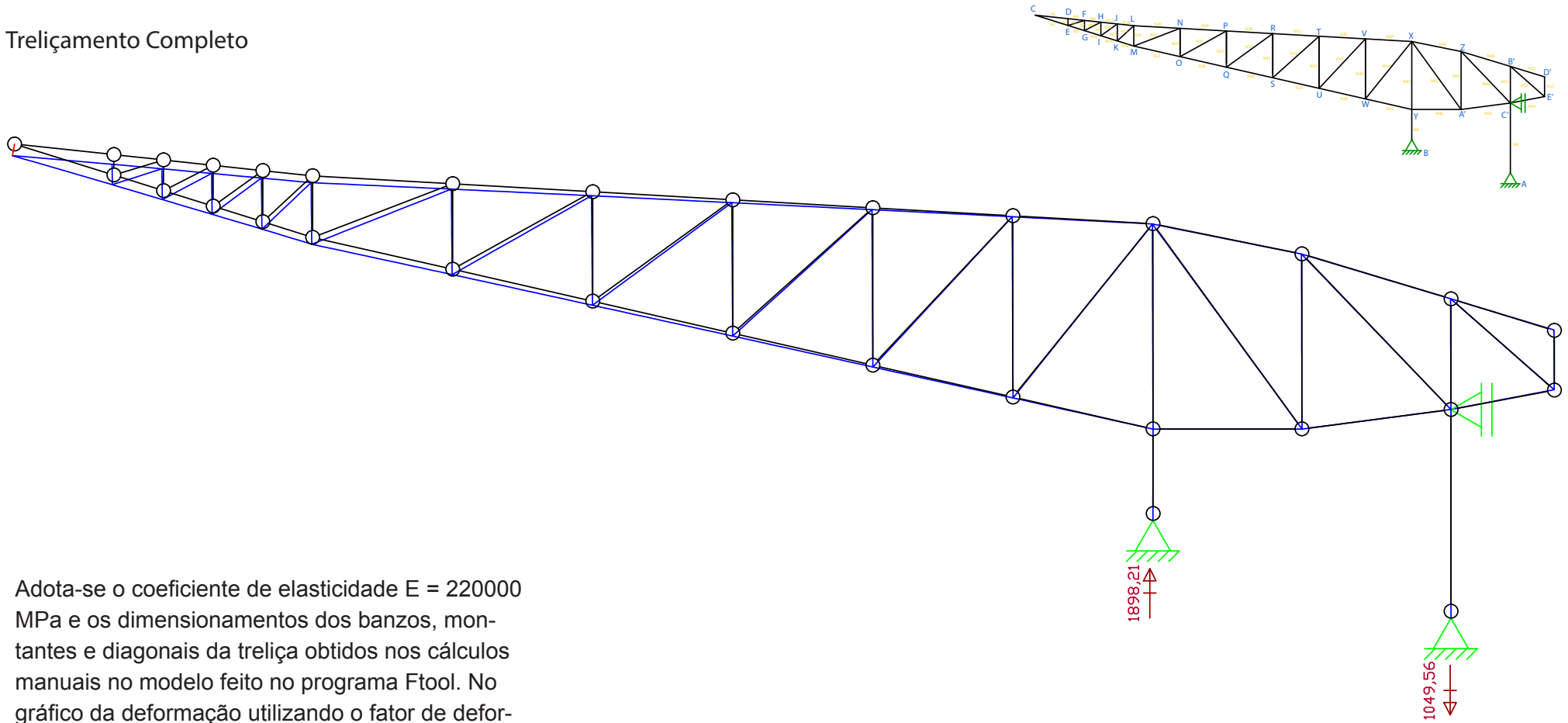
As reações do treliçamento completo e da treliça com o sistema vierendeel, mostram divergências entre os valores apenas no trecho que se diferem fisicamente.

Barra	Reação da barra nos cálculos	Reação da barra no ftool (treliçamento completo)	Reação da barra no ftool (com vierendeel)
N1	137,2242654kN	133,66kN	138,20kN
N2	- 142,7082064kN	-139,23kN	-143,78kN
N3	- 41,0625kN	-41,33kN	-30,26kN
N4	137,2242654kN	133,69kN	181,22kN
N5	70,2231087kN	68,77kN	-
N6	- 212,9313151kN	-208,39kN	-195,27kN
N7	- 54,96949264kN	-54,49kN	-26,71kN
N8	204,7488651kN	-199,87kN	244,64kN
N9	75,67401401kN	75,37kN	-
N10	- 283,4381695kN	-278,44kN	-264,13kN
N11	- 68,82204583kN	-68,98kN	-28,31kN
N12	272,5463068kN	267,35kN	312,78kN
N13	82,40912021kN	82,52kN	-
N14	- 353,154835kN	-348,73kN	-337,89kN
N15	- 82,82620468kN	-81,34kN	-30,62kN
N16	339,5839246kN	334,69kN	396,09kN
N17	91,46047346kN	87,85kN	-
N18	- 423,1011104kN	-416,79kN	-426,66kN
N19	- 100,3708544kN	-99,83kN	-67,09kN
N20	405,168874kN	398,06kN	398,06kN
N21	227,6716972kN	237,41kN	237,41kN
N22	- 633,3973781kN	-634,87kN	-634,87kN
N23	- 169,9270044kN	-174,69kN	-174,69kN
N24	618,0104061kN	620,12kN	620,12kN
N25	247,443152kN	254,15kN	254,15kN

N26	- 855,087349kN	-863,18kN	-863,18kN
N27	- 208,5023418kN	-214,03kN	-214,03kN
N28	834,7260644kN	842,93kN	842,93kN
N29	269,187573kN	277,55kN	277,55kN
N30	- 1078,593108kN	-1093,84kN	-1093,84kN
N31	- 246,8352112kN	-251,44kN	-251,44kN
N32	1052,802251kN	1068,11kN	1068,11kN
N33	293,6070811kN	300,38kN	300,38kN
N34	- 1302,525052kN	-1323,43kN	-1323,43kN
N35	- 285,093973kN	-290,23kN	-290,23kN
N36	1271,29427kN	1292,29kN	1292,29kN
N37	320,7607544kN	330,10kN	330,10kN
N38	- 1527,037603kN	-1554,53kN	-1554,53kN
N39	- 323,2517022kN	-330,83kN	-330,83kN
N40	1490,352791kN	1518,42kN	1518,42kN
N41	350,4326529kN	356,79kN	356,79kN
N42	- 1753,372978kN	-1785,10kN	-1785,10kN
N43	- 1494,70632kN	-1500,78kN	-1500,78kN
N44	1026,200497kN	1013,93kN	1013,93kN
N45	1258,135416kN	1270,72kN	1270,72kN
N46	- 1746,859746kN	-1740,30kN	-1740,30kN
N47	- 894,1663591kN	-898,44kN	-898,44kN
N48	27,98887527kN	27,76kN	27,76kN
N49	1411,60094kN	1398,17kN	1398,17kN
N50	- 1014,911298kN	-1002,17kN	-1002,17kN
N51	- 84,61408197kN	-84,98kN	-84,98kN
N52	0	0	0
N53	35,46515804kN	35,45kN	35,45kN
N54	- 27,26686362kN	-27,05kN	-27,05kN
N55	- 28,47kN	-28,47kN	-28,47kN
NA	1049,290467kN	1049,56kN	1049,56kN
NB	-1898,00067kN	-1898,21kN	-1898,21kN

Deformadas

Treçamento Completo



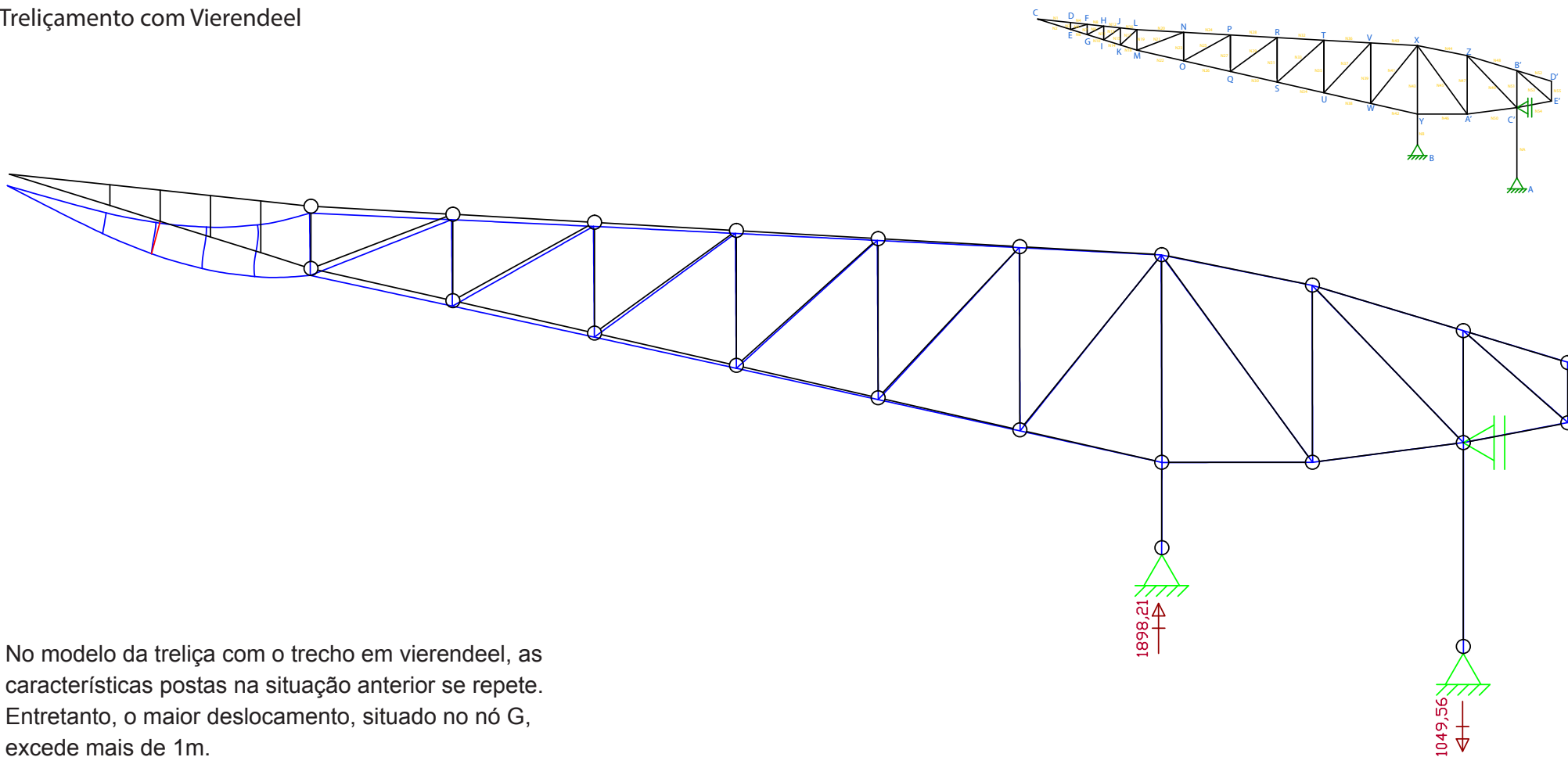
Adota-se o coeficiente de elasticidade $E = 220000$ MPa e os dimensionamentos dos banzos, montantes e diagonais da treça obtidos nos cálculos manuais no modelo feito no programa Ftool. No gráfico da deformação utilizando o fator de deformação igual a 1, observa-se que o nó C sofre o maior deslocamento de sua posição original.

Dados do deslocamento:

$$D_x = -1.021e+002 \text{ mm} = -10.21 \text{ cm}$$

$$D_y = -5.852e+002 \text{ mm} = -58.52 \text{ cm}$$

Trelçamento com Vierendeel



No modelo da treliça com o trecho em vierendeel, as características postas na situação anterior se repete. Entretanto, o maior deslocamento, situado no nó G, excede mais de 1m.

Dados do deslocamento:

$$D_x = -4.281e+002 \text{ mm} = -48.81 \text{ cm}$$

$$D_y = -1.610e+003 \text{ mm} = -161.0 \text{ cm}$$

$$R_z = -5.993e-002 \text{ rad}$$

Redimensionamento

Viga Sistema Vierendeel

Banzos superior e inferior 217131,2968

Tração (barras do banzo superior)

Maior esforço normal: $|N_{16}| = 396,09\text{kN}$

$$\sigma_e / S = N_{16} / A \rightarrow 34,5 / 1,5 = 396,09 / A \rightarrow A = 17,22130435 \text{ cm}^2$$

Compressão (barras do banzo inferior)

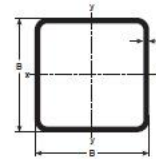
Maior esforço normal: $|N_{14}| = 426,66\text{kN}$

$$\sigma_e / S = N_{18} / A \rightarrow 34,5 / 1,5 = 426,66 / A \rightarrow A = 18,55043478 \text{ cm}^2$$

Flambagem:

$$N_{18} = (\pi^2 \times E \times I) / S \times I_f^2 \rightarrow 426,66 = (\pi^2 \times 22000 \times I) / (1,5 \times (262)^2)$$

$$I = 202,32267682 \text{ cm}^4$$



Tamanho	Espessura da parede	Massa linear	Superfície de corte transversal	Segundo momento da superfície	Raio de inércia	Momento elástico de resistência	Momento plástico de resistência	Constante de inércia à torção	Constante do módulo de torção	Superfície por metro linear
B x B	T	M	A	I	i	W _{el}	W _{pl}	I _t	C _t	A _s
mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m
	12,5	25,2	32,1	234	2,70	58,6	78,9	404	83,8	0,288
90 x 90	3,6	9,66	12,3	152	3,52	33,8	39,7	237	49,7	0,351
	4,0	10,7	13,6	166	3,50	37,0	43,6	260	54,2	0,350
	4,5	11,9	15,2	183	3,48	40,7	48,4	288	49,7	0,348
	5,0	13,1	16,7	200	3,45	44,4	53,0	316	64,8	0,347
	5,6	14,6	18,6	218	3,43	48,5	58,3	347	70,7	0,346
	6,3	16,2	20,7	238	3,40	53,0	64,3	382	77,0	0,344
	7,1	18,1	23,0	260	3,36	57,7	70,8	419	83,7	0,342
	8,0	20,1	25,6	281	3,32	62,6	77,6	459	90,5	0,339

Perfil escolhido:

Tamanho (B x B) = 90mm x 90mm

Espessura T = 5,6 mm

Massa linear M = 14,6 kg/m

Área da superfície de corte A = 18,6 cm²

Momento de inércia I = 218 cm⁴

Montantes

Compressão

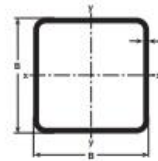
Maior esforço normal: $|N_{19}| = 67,09 \text{ kN}$

$$\sigma_e / S = N_{19} / A \rightarrow 34,5 / 1,5 = 67,09 / A \rightarrow A = 2,916956522 \text{ cm}^2$$

Flambagem:

$$N_{319} = (\pi^2 \times E \times I) / S \times l^2 \rightarrow 67,09 = (\pi^2 \times 22000 \times I) / (1,5 \times (309,4)^2)$$

$$I = 44.36773349 \text{ cm}^4$$



Tamanho	Espessura da parede	Massa linear	Superfície de corte transversal	Segundo momento da superfície	Raio de inércia	Momento elástico de resistência	Momento plástico de resistência	Constante de inércia à torção	Constante do módulo de torção	Superfície por metro linear
B x B	T	M	A	I	i	W_{el}	W_{pl}	I_t	C_t	A_s
mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m
60 x 60	2,9	5,13	6,53	35,2	2,32	11,7	13,9	55,3	17,2	0,233
	3,2	5,62	7,16	38,2	2,31	12,7	15,2	60,2	18,6	0,232
	3,6	6,27	7,98	41,9	2,29	14,0	16,8	66,5	20,4	0,231
	4,0	6,90	8,79	45,4	2,27	15,1	18,3	72,5	22,0	0,230
	4,5	7,67	9,77	49,5	2,25	16,5	20,1	79,7	24,0	0,228
	5,0	8,42	10,7	53,3	2,23	17,8	21,9	86,4	25,7	0,227
	5,6	9,30	11,8	57,4	2,20	19,1	23,9	93,9	27,6	0,226
	6,3	10,3	13,1	61,6	2,17	20,5	26,0	102	29,6	0,224
	7,1	11,4	14,5	65,8	2,13	21,9	28,2	110	31,6	0,222
	8,0	12,5	16,0	69,7	2,09	23,2	30,4	118	33,4	0,219

Perfil escolhido:

Tamanho (B x B) = 60mm x 60mm

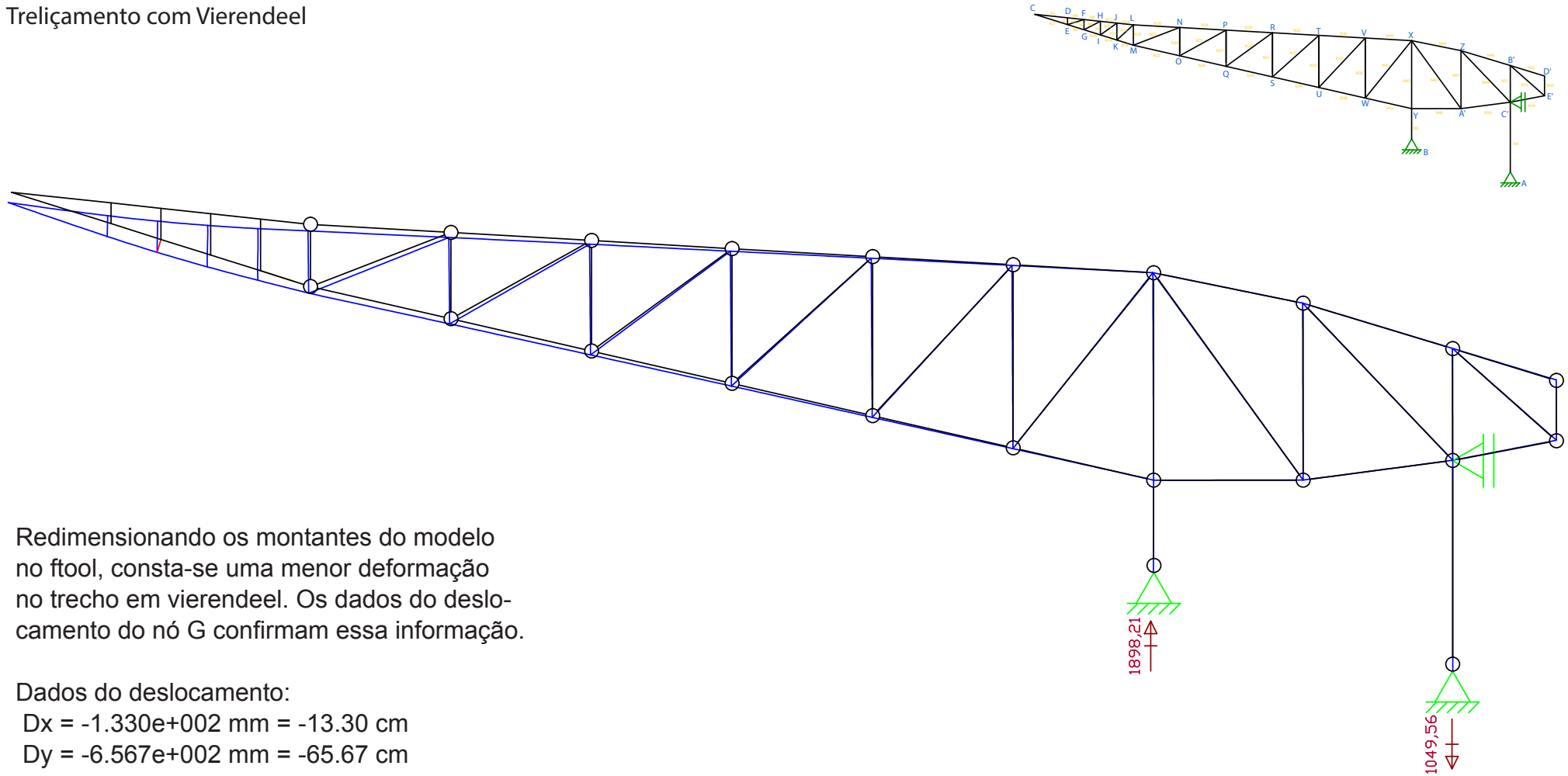
Espessura T = 4,0 mm

Massa linear M = 6,90 kg/m

Área da superfície de corte A = 8,79 cm²

Momento de inércia I = 45,4 cm⁴

Treliçamento com Vierendeel



Conclusão

Com a realização do trabalho, tivemos a experiência de calcular os esforços e o dimensionamento de uma estrutura, no caso uma treliça. Pudemos verificar as diferenças de realizar esses processos com cálculos manuais e no programa Ftool.

A partir dos cálculos manuais - com adição de barras diagonais na viga Vierendeel - e realização dos esquemas gráficos dos esforços, pudemos observar ao mesmo tempo em que realizamos as contas, um padrão. Esse padrão indicava que as barras do banzo superior, assim como os montantes, com exceção dos apoios, sofrem sempre esforços de tração; já as barras dos banzos inferiores e as barras diagonais sofrem esforços de compressão. A realização desses cálculos foi muito trabalhosa, primeiramente porque utilizamos o método dos nós para o estudo da estrutura toda, e secundamente porque cada erro mínimo, como a diferença de apenas 1 grau no ângulo entre as barras, impossibilita que os resultados dos esforços sejam similares aos resultados obtidos no Ftool (obedecendo a uma margem de erro de 5%). Esses resultados dentro da margem de erro só foram obtidos após diversas revisões de cálculos, mas no final foram possíveis e nenhum esforço passou da margem de erro de 5%.

Para realizar os cálculos do dimensionamento foi necessário pesquisar os valores para os dados do material, que no caso foi o aço de alta resistência. Encontramos mais de um valor possível, e tivemos que escolher entre um intervalo de 22 000 kN/cm² a 27 000 kN/cm² para o coeficiente de elasticidade. Escolhemos o menor valor para simular a situação mais crítica possível, o que resultou em valores maiores para o momento de inércia I.

No momento de escolher os perfis comerciais da tabela a partir do pré-dimensionamento calculado, percebemos que devido aos valores dos momentos de inércia I muito altos seria necessário escolher perfis com áreas maiores do que o mínimo necessário obtido nos cálculos.

Após incluir o dimensionamento feito a partir dos cálculos manuais no esquema do Ftool, observamos que a viga Vierendeel apresentou uma deformação muito grande em relação ao resto da estrutura. Essa constatação mostrou a necessidade de redimensionar os perfis da viga Vierendeel, a partir dos resultados obtidos no Ftool. Essa alteração resultou em uma deformação menor.

Este trabalho foi um ótimo exercício para aplicar os conceitos teóricos estruturais aprendidos nas aulas como, por exemplo, o método dos nós. Além disso, o trabalho nos aproximou da aplicação dessa teoria na realidade, o que aumentou nossa compreensão do assunto em estudo.

Bibliografia

<<http://www.denversa.com.br/site/files/produtos/ba34aa7ebb8e04f694a76c816cee0afc.pdf>> Acessado em 01/09/2014

<http://www.lapefer.com.br/hotsite/produtos_perfis_carac.asp> Acessado em 01/09/2014

Vallourec & Mannesmann Tubes, *Catálogo Perfis MSH de seções circulares, quadradas e retangulares: dimensões, valores estáticos, materiais.*