**Memorial de Cálculo Estrutural**

**MC-EST-MET-20210323-R00**

**Galpão em aço 25mX54m**

Revisões:

R00 – Emissão inicial: 23.03.2021 – Jacob

**1 Introdução**

**1.1 Objetivo:**

O objetivo desse documento é registrar para posteriores consultas os procedimentos e considerações utilizadas para dimensionar um galpão em estrutura metálica, conforme requisitos das normas aplicáveis citadas em **1.2**.

O documento original encontra-se em poder do escritório Jacob Engenharia e Educação, localizado à Alameda Harvey C. Week, 14 Sala 66 – Bairro Vista Verde – São José dos Campos – SP e uma cópia encontra-se em poder do cliente Sr. Fulano de Tal, Sócio diretor da empresa Fulano de Tal ME, e se refere ao contrato de prestação de serviços firmado em 23.03.2021 sob número 123456.

**1.2 Normas adotadas**

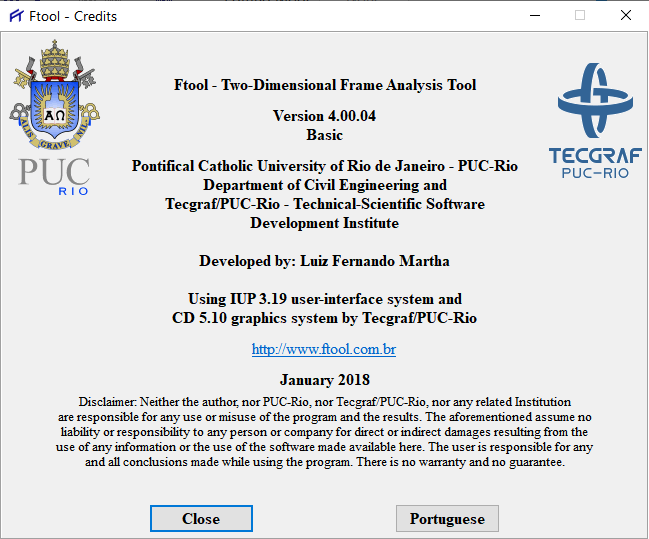
Foram adotadas as seguintes normas para elaboração desse memorial de cálculo estrutura:

* ABNT NBR8800/08 – Projetos de Estruturas de Aço e de Estruturas mistas de aço e concreto em edifícios
* ABNT NBR14.762/10 – Dimensionamento de perfis de aço formados a Frio
* ABNT NBR6120/19 – Cargas para cálculos de estruturas em edificações
* ABNT NBR6123/88 – Esforços devido ao vento nas edificações
* ANSI/AISC 360-16 – Specification for Structural Steel Buildings

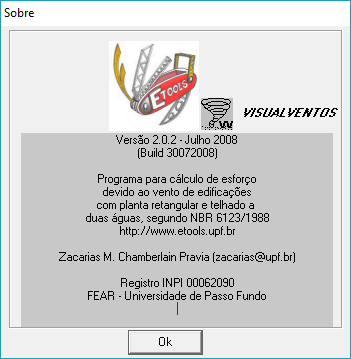
**1.3 Softwares e ferramentas utilizadas.**

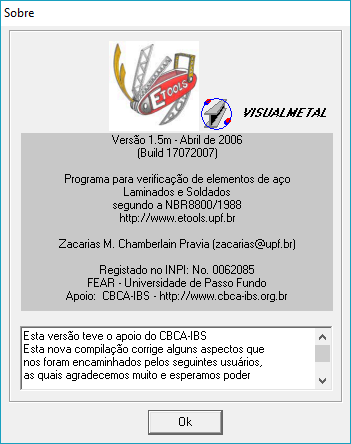
Para automação do procedimento de cálculo foram utilizadas ferramentas computacionais, listadas a seguir.

* Ftool Versão 3.01



* Visual Ventos V. 2.0.2



* Visual Metal v. 1.5m
* DimPerfil 4.0



* Planilha de Microsoft Excel® desenvolvida para dimensionamento de perfis laminados de aba larga conforme NBR8800/08. A ferramenta encontra-se instalada nos computadores do escritório para eventuais auditorias.

**2- Dados do projeto**

**2.1 – Geometria básica da edificação:**

**O projeto básico estrutural encontra-se anexo a este documento**

Vão livre dos pórticos típicos: 25m

Distanciamento padrão entre pórticos típicos: 6m

Distanciamento padrão entre terças da cobertura: 3m

Distanciamento padrão entre terças do fechamento lateral: 1,8m

Distanciamento padrão entre terças dos fechamentos frontais: 1,8m

Distanciamento padrão entre os pilares frontais: 5m

Fechamento da cobertura em telhas Trapezoidais TR40 0,43mm

Fechamentos Laterais em Telhas Simples Trapezoidais TR40 0,43mm

**3. Determinação das cargas atuantes na estrutura**

**3.1 – Cargas Gravitacionais e de uso e ocupação**

Cargas Permanentes:

PP Telhas de cobertura = 0,06 kN/m²

PP Estrutura – Calculado durante o processo

SC = 0,25 kN/m²

**3.2 – Determinação das cargas de vento nas terças, telhas e fechamentos**

Velocidade básica do vento V0 = 35m/s

Fator S1: Terreno plano ou fracamente acidentado

S1 = 1,00

Fator S2 – Categoria IV – Classe A

Fator S3 – Grupo 4 = Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc.)

S3 = 0,88

Velocidade característica do Vento Vk

Devido ao valor de ambas pressões dinâmicas estarem muito próximas, adotaresm q = 0,40kN/m² para todos os fechamento

Relatório

Observação: Os resultados aqui expostos devem ser avaliados

por um professional com experiência

VisualVentos http://www.etools.upf.br

Este software está registrado no INPI No. 00062090

Dados Geométricos

b = 25.00 m

a = 54.00 m

b1 = 2 \* h

b1 = 2 \* 6.00

b1 = 12.00m

ou

b1 = b/2

b1 = 25.00/2

b1 = 12.50m

Adota-se o menor valor, portanto

b1 = 12.00 m

a1 = b/3

a1 = 25.00/3

a1 = 8.33m

ou

a1 = a/4

a1 = 54.00/4

a1 = 13.50m

Adota-se o maior valor, porém a1 <= 2 \* h

2 \* 6.00 = 12.00 m

Portanto

a1 = 12.00 m

a2 = (a/2) - a1

a2 = (54.00/2) - 12.00

a2 = 15.00 m

h = 6.00 m

h1 = 1.25 m

ß = 5.71 °

d = 6.00 m

Área das aberturas

Fixas

Face A1 = 0.00 m²

Face A2 = 0.00 m²

Face A3 = 0.00 m²

Face B1 = 0.00 m²

Face B2 = 0.00 m²

Face B3 = 0.00 m²

Face C1 = 15.00 m²

Face C2 = 15.00 m²

Face D1 = 15.00 m²

Face D2 = 15.00 m²

Movéis

Face A1 = 0.00 m²

Face A2 = 0.00 m²

Face A3 = 0.00 m²

Face B1 = 0.00 m²

Face B2 = 0.00 m²

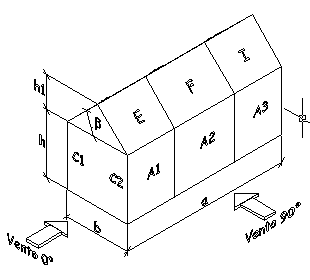
Face B3 = 0.00 m²

Face C1 = 15.00 m²

Face C2 = 15.00 m²

Face D1 = 15.00 m²

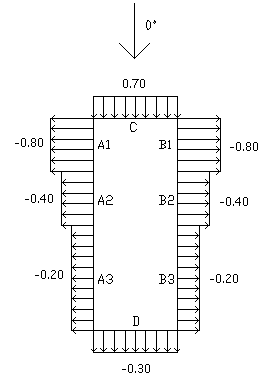
Face D2 = 15.00 m²



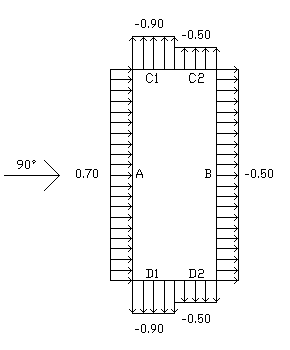
Coeficiente de pressão externa

Paredes

Vento 0°

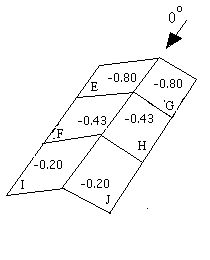


Vento 90°

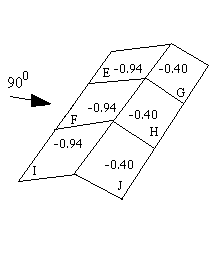


Telhado

Vento 0°



Vento 90°



Cpe médio = -1.00

Coeficiente de pressão interno

Cpi 1 = -0.30

Cpi 2 = 0.00

**3.2 – Determinação nas estruturas principais**

Relatório

Observação: Os resultados aqui expostos devem ser avaliados

por um professional com experiência

VisualVentos http://www.etools.upf.br

Este software está registrado no INPI No. 00062090

Dados Geométricos

b = 25.00 m

a = 54.00 m

b1 = 2 \* h

b1 = 2 \* 6.00

b1 = 12.00m

ou

b1 = b/2

b1 = 25.00/2

b1 = 12.50m

Adota-se o menor valor, portanto

b1 = 12.00 m

a1 = b/3

a1 = 25.00/3

a1 = 8.33m

ou

a1 = a/4

a1 = 54.00/4

a1 = 13.50m

Adota-se o maior valor, porém a1 <= 2 \* h

2 \* 6.00 = 12.00 m

Portanto

a1 = 12.00 m

a2 = (a/2) - a1

a2 = (54.00/2) - 12.00

a2 = 15.00 m

h = 6.00 m

h1 = 1.25 m

ß = 5.71 °

d = 6.00 m

Área das aberturas

Fixas

Face A1 = 0.00 m²

Face A2 = 0.00 m²

Face A3 = 0.00 m²

Face B1 = 0.00 m²

Face B2 = 0.00 m²

Face B3 = 0.00 m²

Face C1 = 15.00 m²

Face C2 = 15.00 m²

Face D1 = 15.00 m²

Face D2 = 15.00 m²

Movéis

Face A1 = 0.00 m²

Face A2 = 0.00 m²

Face A3 = 0.00 m²

Face B1 = 0.00 m²

Face B2 = 0.00 m²

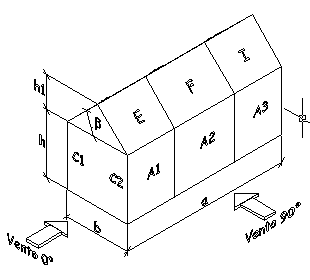
Face B3 = 0.00 m²

Face C1 = 15.00 m²

Face C2 = 15.00 m²

Face D1 = 15.00 m²

Face D2 = 15.00 m²



Velocidade básica do vento

Vo = 35.00 m/s

Fator Topográfico (S1)

Terreno plano ou fracamente acidentado

S1 = 1.00

Fator de Rugosidade (S2)

Categoria IV

Classe C

Parâmetros retirados da Tabela 2 da NBR6123/88 que relaciona Categoria e Classe

b = 0.84

Fr = 0.95

p = 0.14

S2 = b \* Fr \*(z/10)exp p

S2 = 0.84 \* 0.95 \*(7.25/10)exp 0.14

S2 = 0.76

Fator Estático (S3)

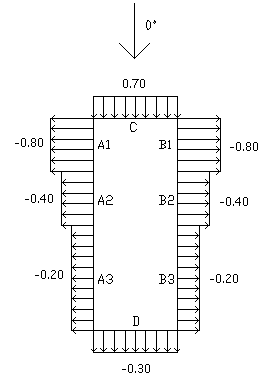
Grupo 3

S3 = 0.95

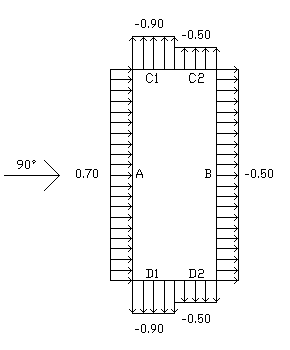
Coeficiente de pressão externa

Paredes

Vento 0°

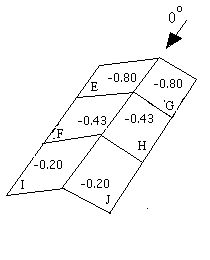


Vento 90°

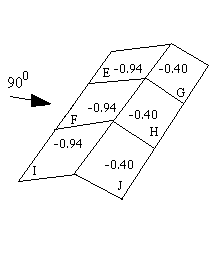


Telhado

Vento 0°



Vento 90°



Cpe médio = -1.00

Coeficiente de pressão interno

Cpi 1 = -0.30

Cpi 2 = 0.00

Velocidade Característica de Vento

Vk = Vo \* S1 \* S2 \* S3

Vk = 35.00 \* 1.00 \* 0.76 \* 0.95

Vk = 25.41 m/s

Pressão Dinâmica

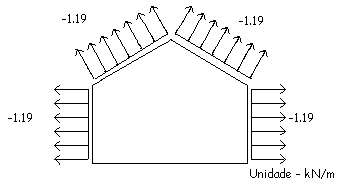
q = 0,613 \* Vk²

q = 0,613 \* 25.41²

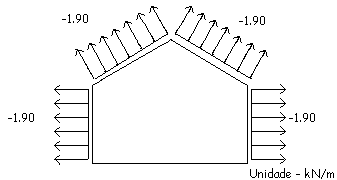
q = 0.40 kN/m²

Esforços Resultantes

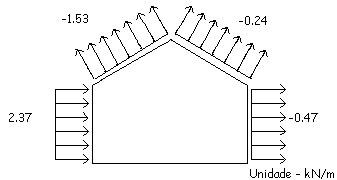
Vento 0° - Cpi = -0.30



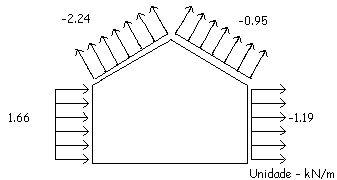
Vento 0° - Cpi = 0.00



Vento 90° - Cpi = -0.30



Vento 90° - Cpi = 0.00



**4. Dimensionamento da estrutura**

**4.1 – Dimensionamento das terças de Cobertura**

Carregamentos

E.L.S (CP+SC)

Qels1 = 0,06 . 3 +0,25 . 3 + 0,07 = 1,00 kN/m

E.L.S (CP+V90 Cpi 0,00)

Qels2 = (0,06 . 3 + 0,07) – 0,94 . 0,40 . 3 = -0,88 kN/m

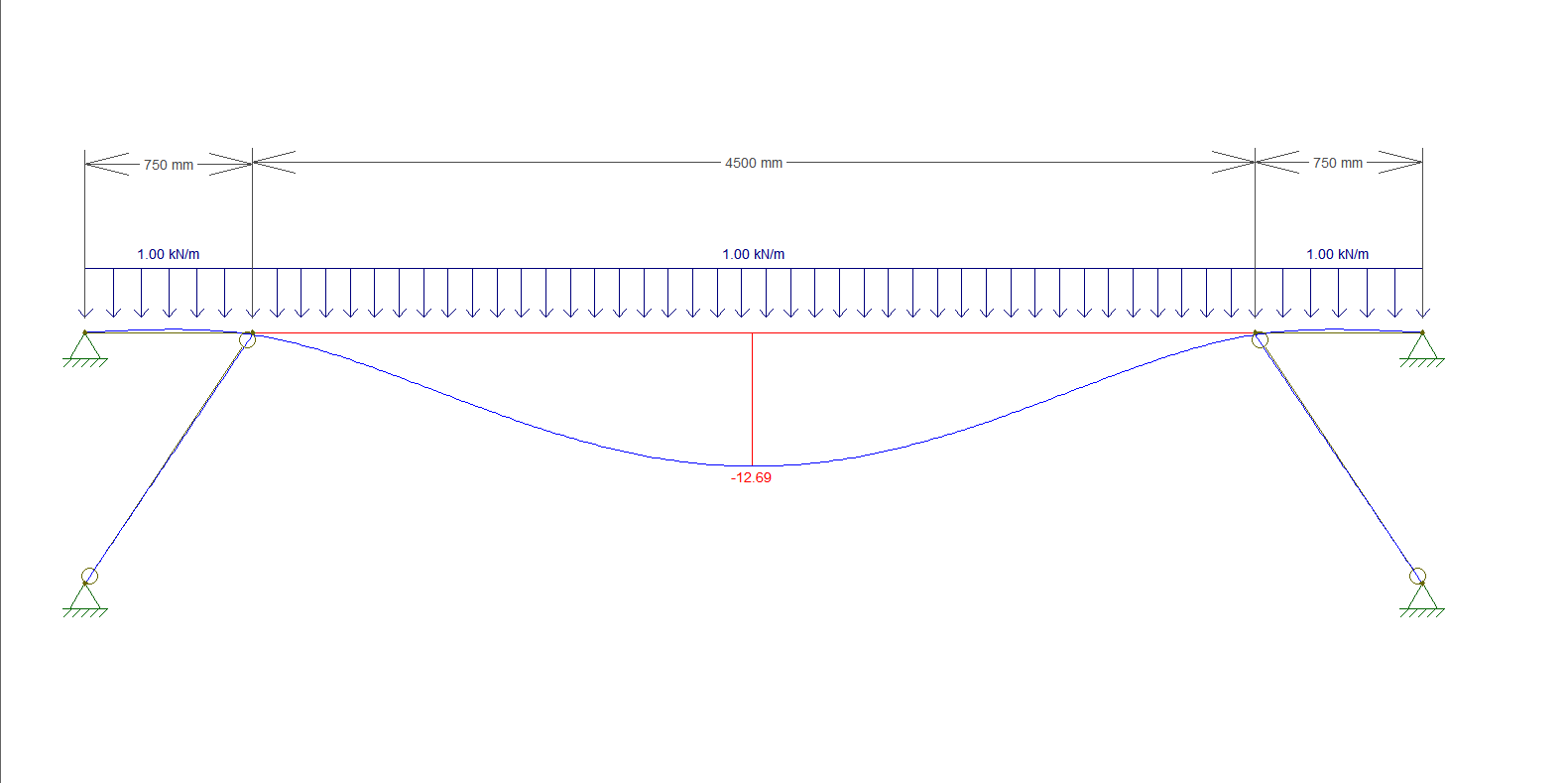
E.L.U (CP+SC)

Qelu1 = **1,25 .** 0,06 . 3 + **1,5 .** 0,25 . 3 + **1,25 .** 0,07 = 1,44 kN/m

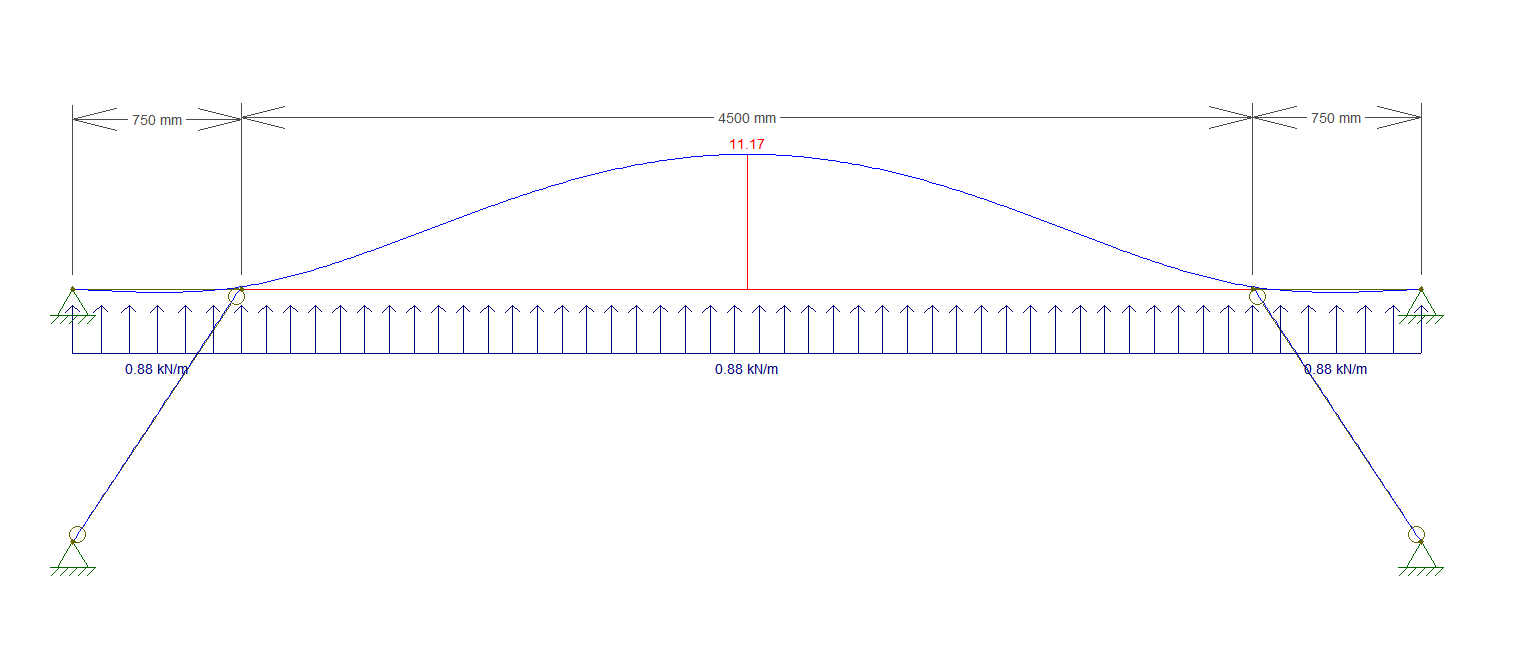
E.L.U (CP+V90 Cpi 0,00)

Qels2 = (0,06 . 3 + 0,07) – **1,4 .** 0,94 . 0,40 . 3 = -1,33 kN/m

Verificações ELS:

CP+SC

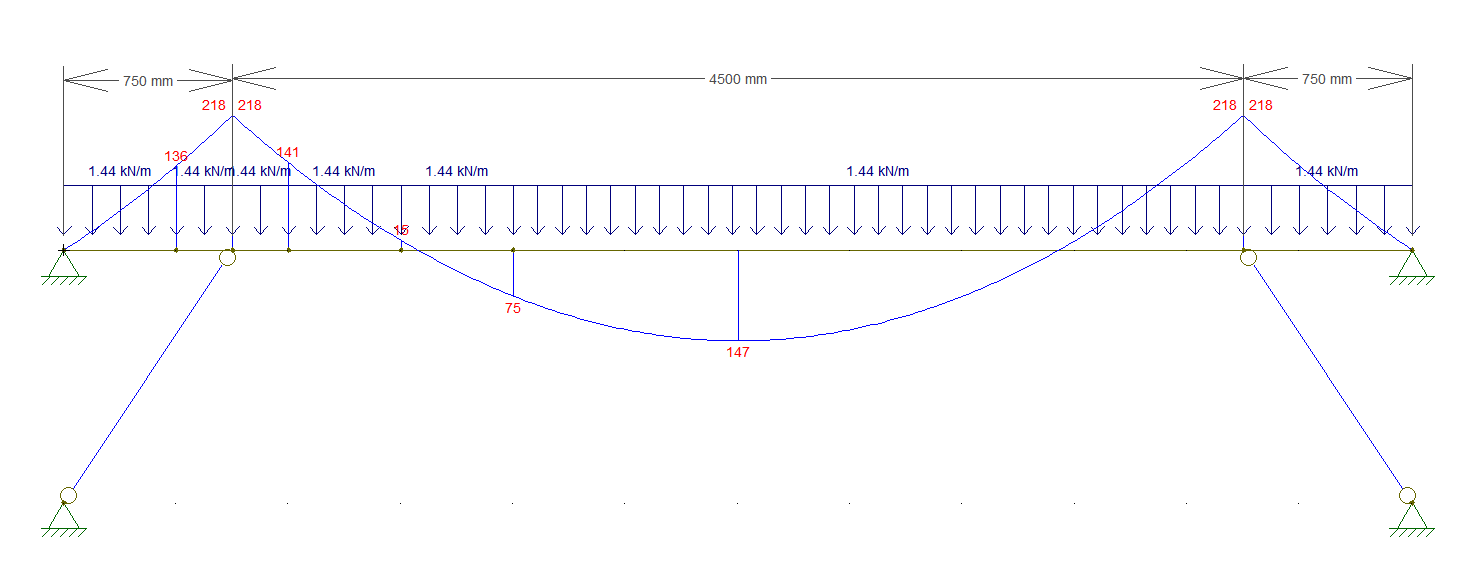
CP+V90 (Cpi +0,00)

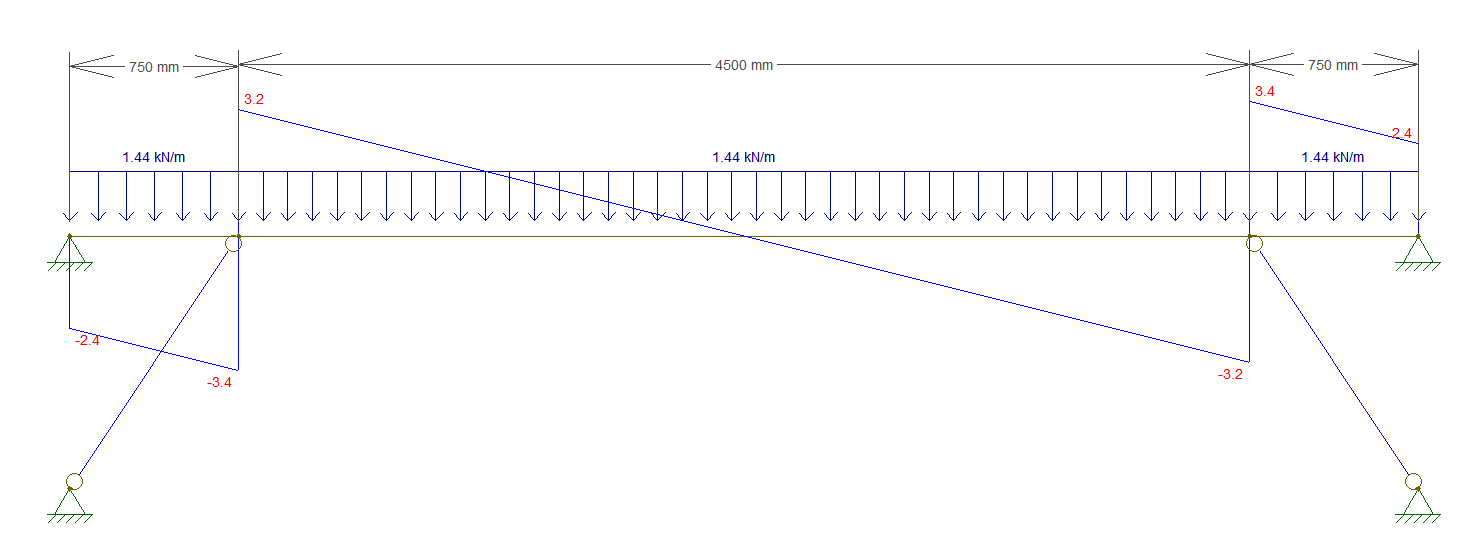


Flecha Limite = L/180 = 4500/180 = 25mm > 12,69 OK Aprovado!

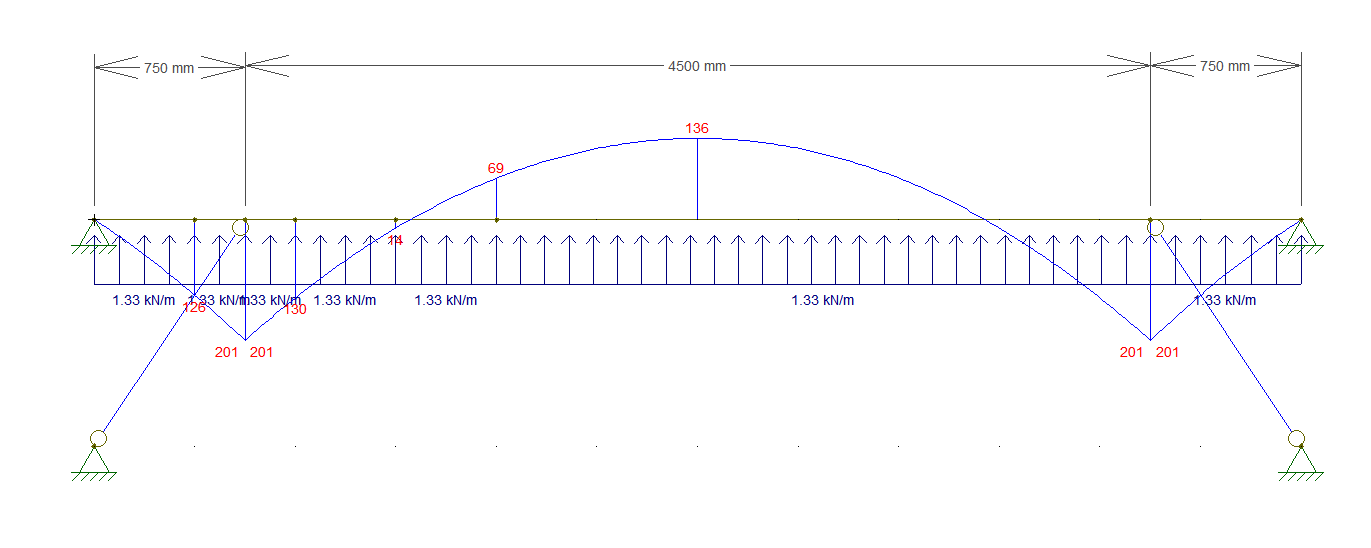
Verificações ELU

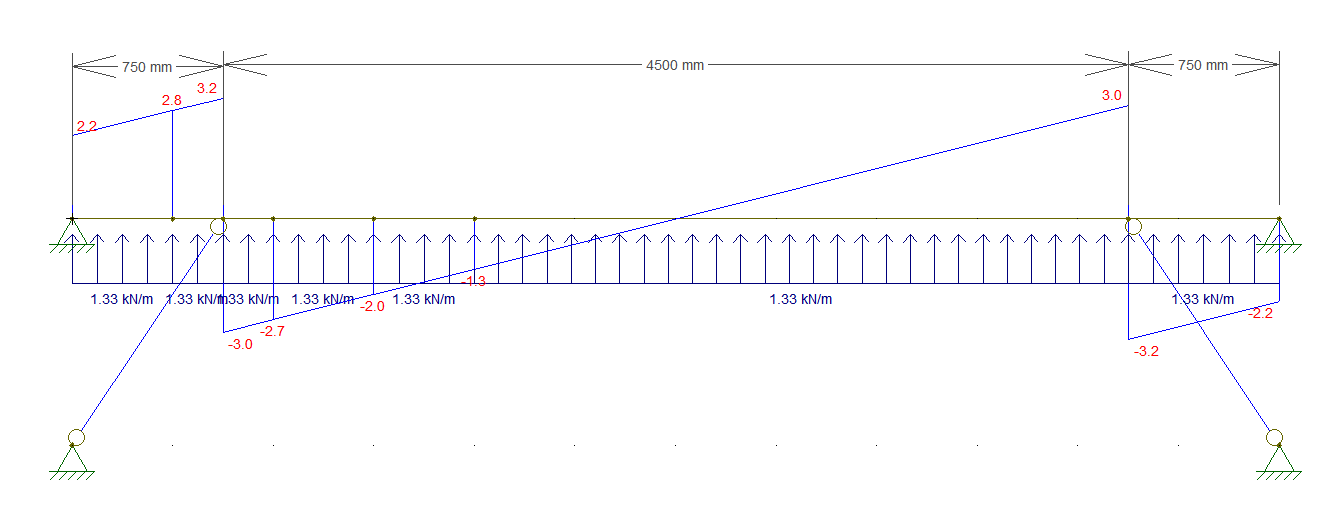
CP+ SC



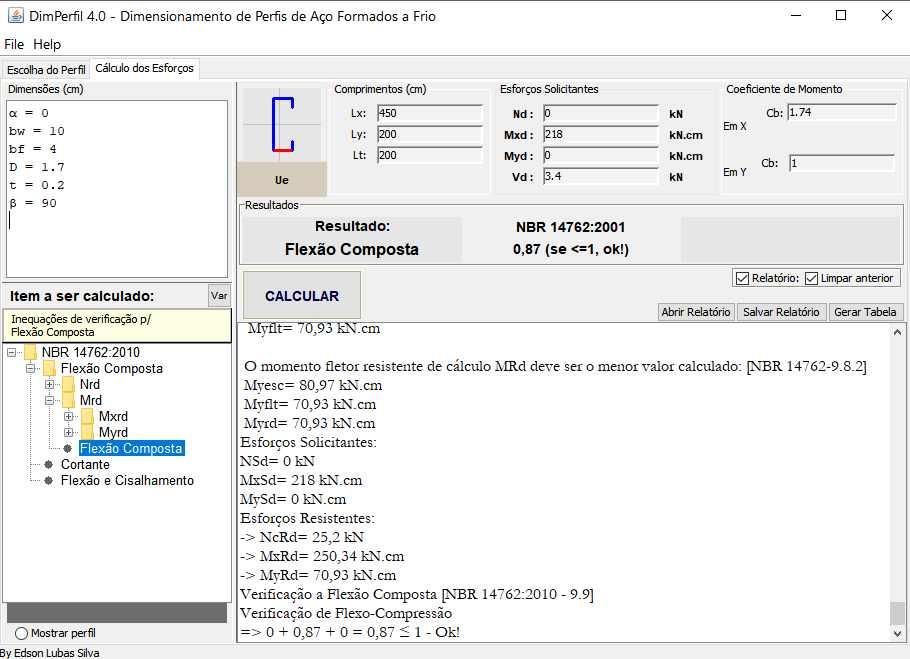


ELU CP + V90 (Cpi +0,00)

****

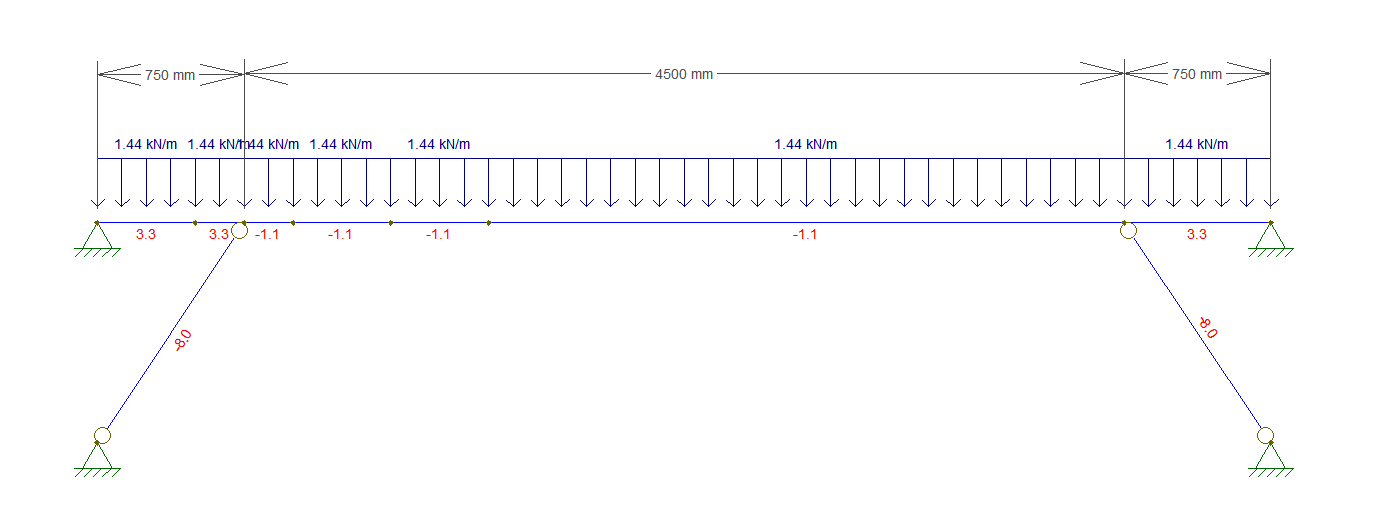
****

Cálculo do Cb

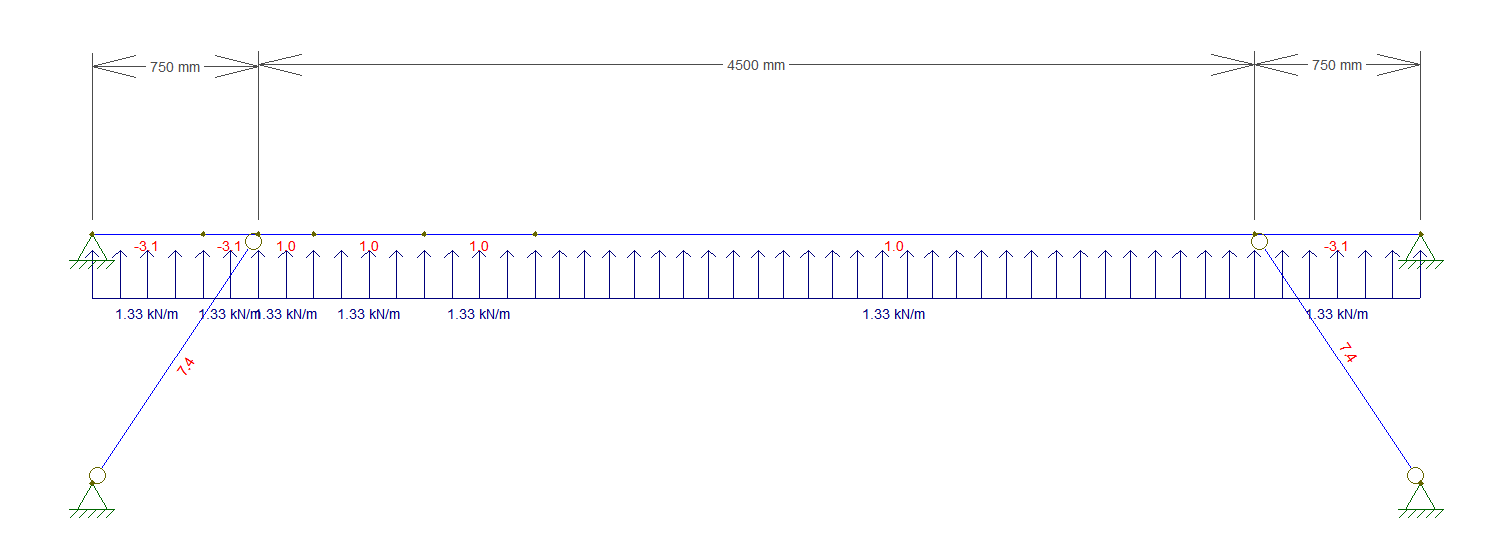


**4.2 - Dimensionamento da Mão francesa**

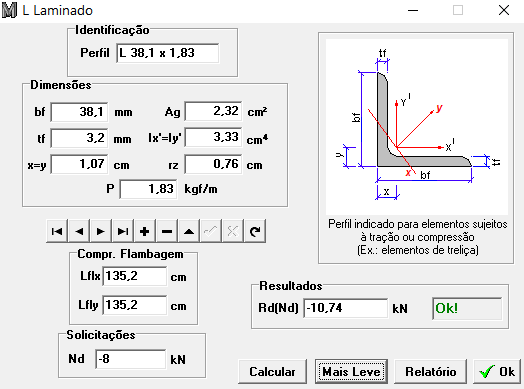
ELU: CP+SC

****

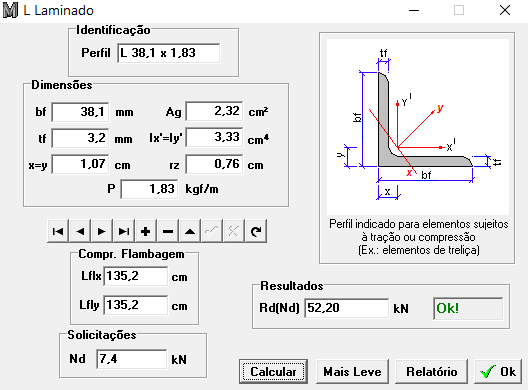
ELU CP+V90 (Cpi +0,00)

****

Verificação à compressão

****

Verificação à tração

****

**4.3 – Dimensionamento das correntes e tirantes**

Peso próprio terças e mãos francesas

M = (3,15 x 6 + 2 . 1,83 . 1,352)x5 / (12,5 . 6) = 1,59 kg/m² (Considerando mão francesa totalmente descarregada nas terças)

Carregamento no tirante principal

ELU – CP + SC

Qelu = (**1,25**. 0,06 + **1,25 .** 0,0159 + **1,5 .** 0,25) = 0,47 kN/m²

Qtotal = 0,47 . 12,5. 6 = 35,25 kN

Qdecomposta = 35,25 kN x sen(5,71) = 3,5 kN

Tsd = 3,5 / 2 = 1,75 kN/ cos34 = 2,11kN / tirante

**Dimensionamento do Tirante à tração**

Adotaremos Ø5/16 ASTM A36

**Dimensionamento das correntes flexíveis**

Qtotal = 0,47 . 9,5. 6 = 26,79 kN

Qdecomposta = 26,79 kN x sen(5,71) = 2,66 kN

Tsd = 2,66 / 2 = 1,33 kN / tirante

Adotaremos igualmente Ø 5/16 ASTM A36

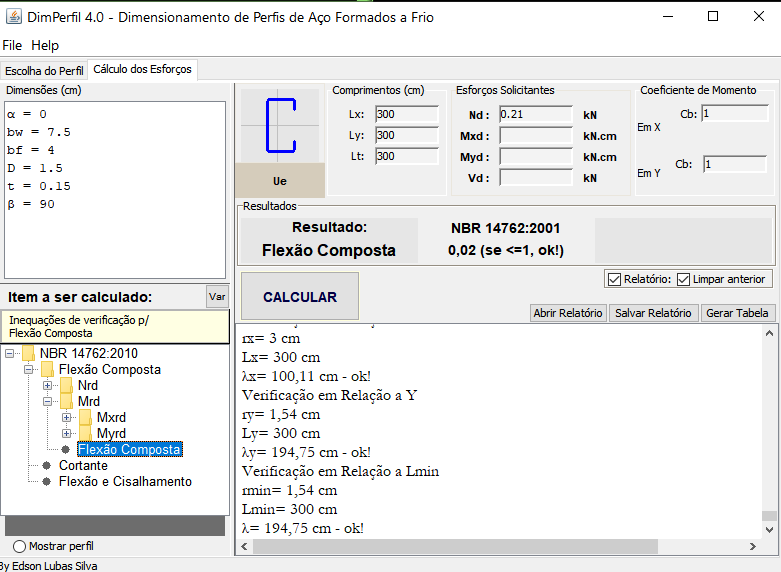
**Dimensionamento das correntes Rígidas**

Predimensionamento

Qtotal = 0,47 . 1,5. 6 = 4,23 kN

Qdecomposta = 4,23 kN x sen(5,71) = 0,42 kN

Tsd = 0,42 / 2 = 0,21 kN / tirante



**4.4 – Dimensionamento dos Contraventamentos da Cobertura**

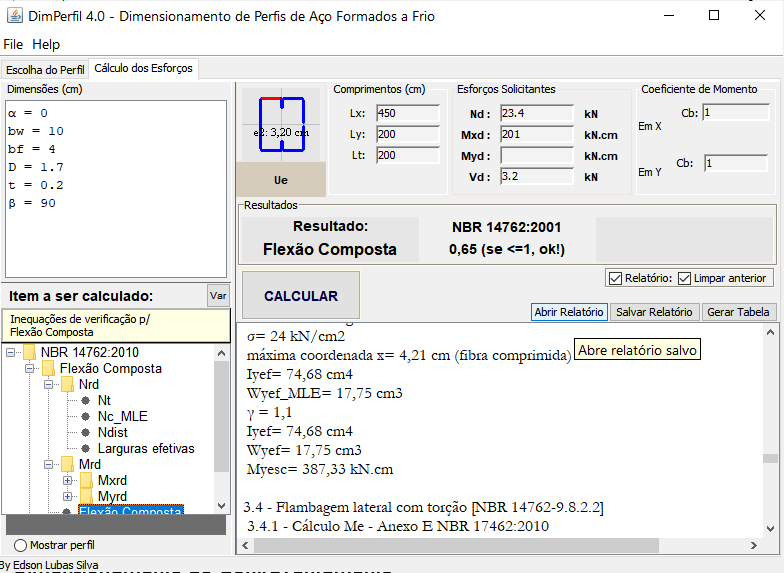
Determinação do carregamento

ELU CP+V0 (Cpi -0,3)

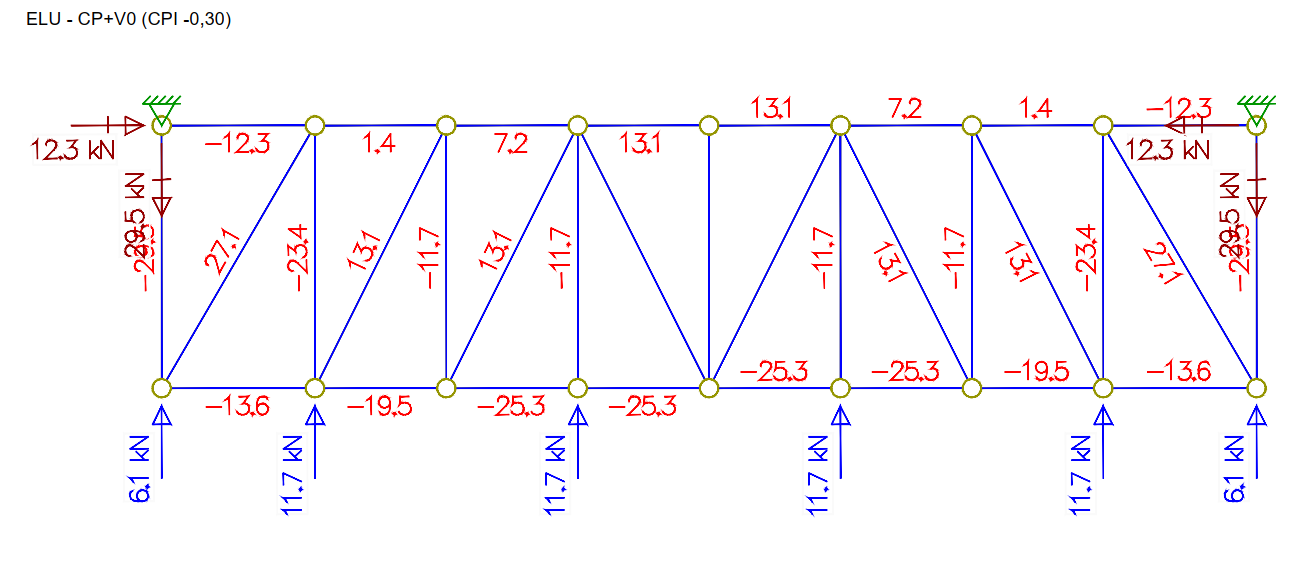
Qelu = **1,4 .** 0,40 x (0,7 –(-0,3)) = 0,56 kN/m²

P = 41,67m² x 0,56 /2 = 11,67 kN

**Dimensionamento das terças do oitão**

****

**Dimensionamento do Contraventamento**

****

Adotaremos Ø1/2’’ ASTM A36 (12,7mm)

**4.5 – Dimensionamento das terças do Fechamento Lateral**

ELS: CP + V90 (Cpi -0,3)

\*Estimando peso das correntes em 2,5 kg/m²\*

Sentido Vertical

Qels = 0,06 x 1,8 + 0,025 x 1,8 + 0,07 = 0,223 kN/m

Sentido Horizontal

Qels = 0,40 . (0,7-(-0,3)) x 1,8 = 0,72 kN/m

ELU: CP + V90 (Cpi -0,3)

Sentido Vertical

Qels = **1,25 .** 0,06 x 1,8 + **1,25 .** 0,025 x 1,8 + **1,25 .** 0,07 = 0,28 kN/m

Sentido Horizontal

Qels = **1,4 .** 0,40 . (0,7-(-0,3)) x 1,8 = 1,01 kN/m

ELS: CP + V90 (Cpi +0,00)

\*Estimando peso das correntes em 2,5 kg/m²\*

Sentido Vertical

Qels = 0,06 x 1,8 + 0,025 x 1,8 + 0,07 = 0,223 kN/m

Sentido Horizontal

Qels = 0,40 . (0,9) x 1,8 = 0,65 kN/m

ELU: CP + V90 (Cpi -0,3)

Sentido Vertical

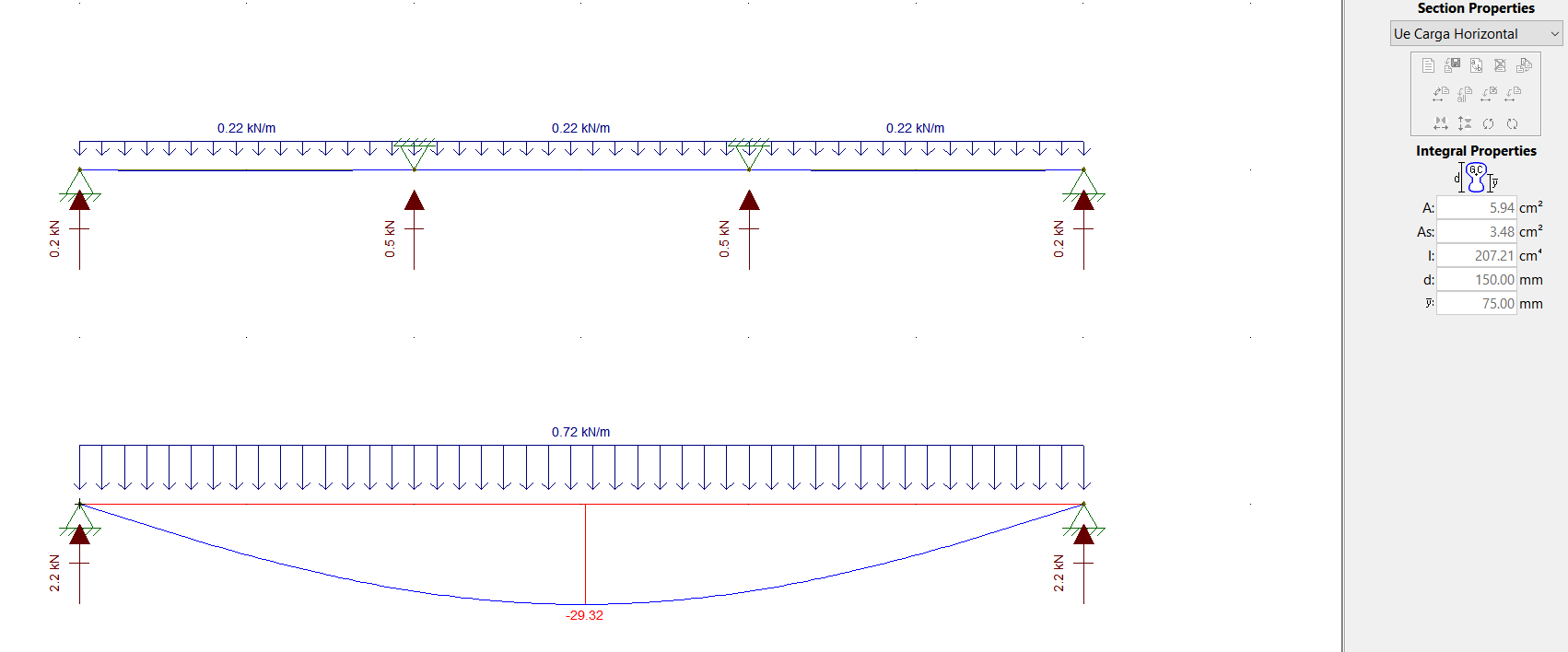
Qels = **1,25 .** 0,06 x 1,8 + **1,25 .** 0,025 x 1,8 + **1,25 .** 0,07 = 0,28 kN/m

Sentido Horizontal

Qels = **1,4 .** 0,40 . (0,9) x 1,8 = 0,91 kN/m

Verificação ELS (CP + V90 Cpi -0,3)

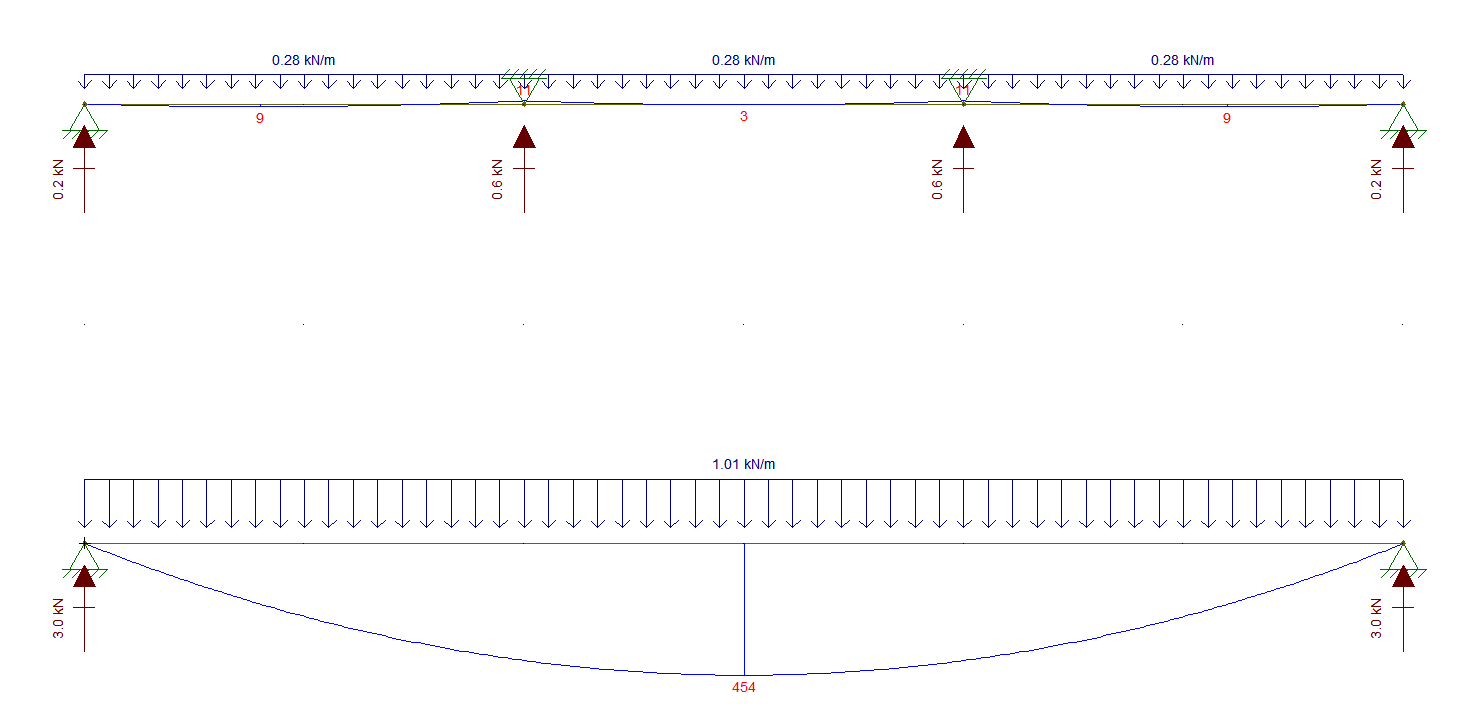
Perfil U.e 150X60X20X2,00 SAE1020

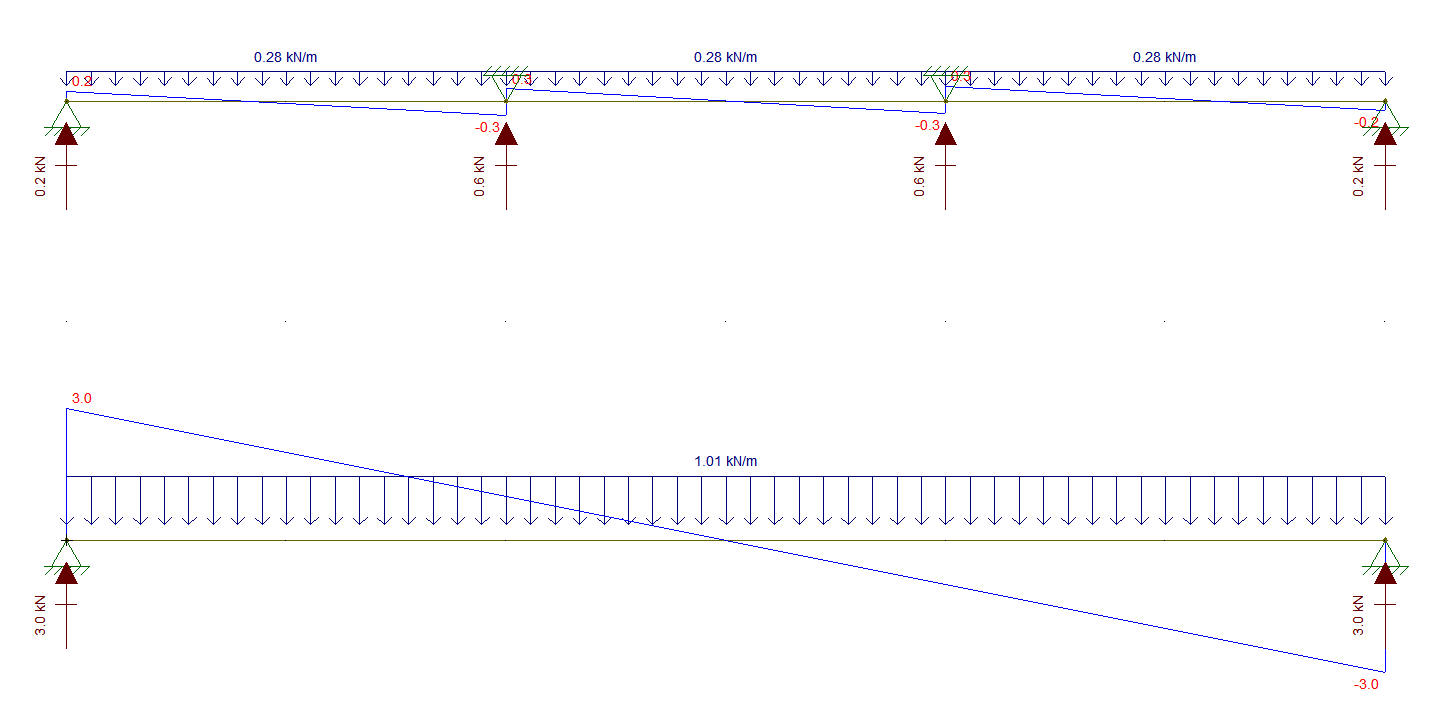
****

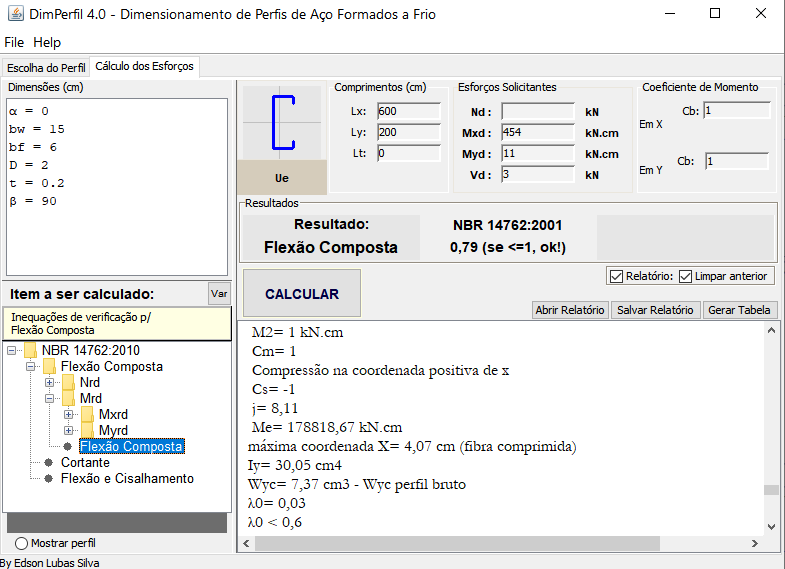
Flecha Limite = L/180 = 6000/180 = 33,3mm > 29,32mm OK!

Verificação ELU: CP + V90 (Cpi -0,3)

\*Maior momento fletor que comprime a mesa contida pelas telhas\*

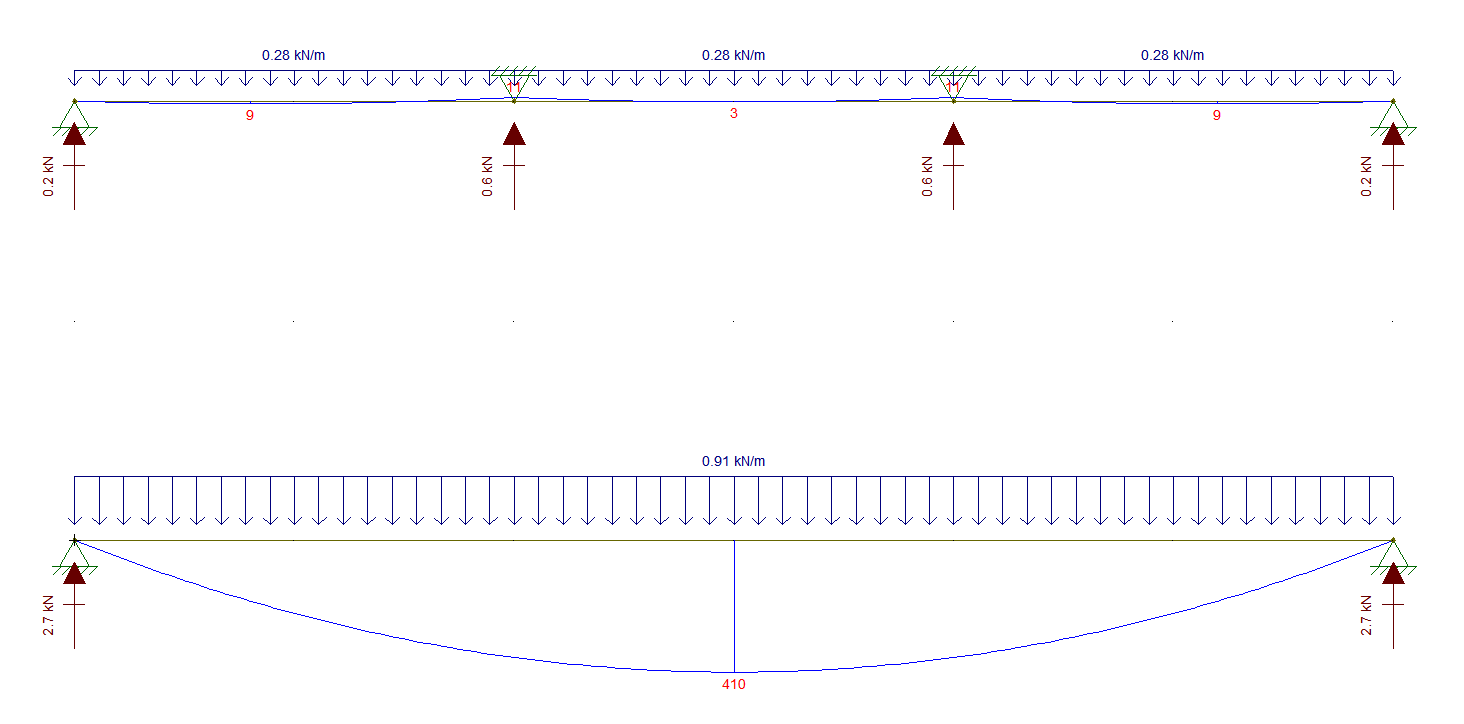


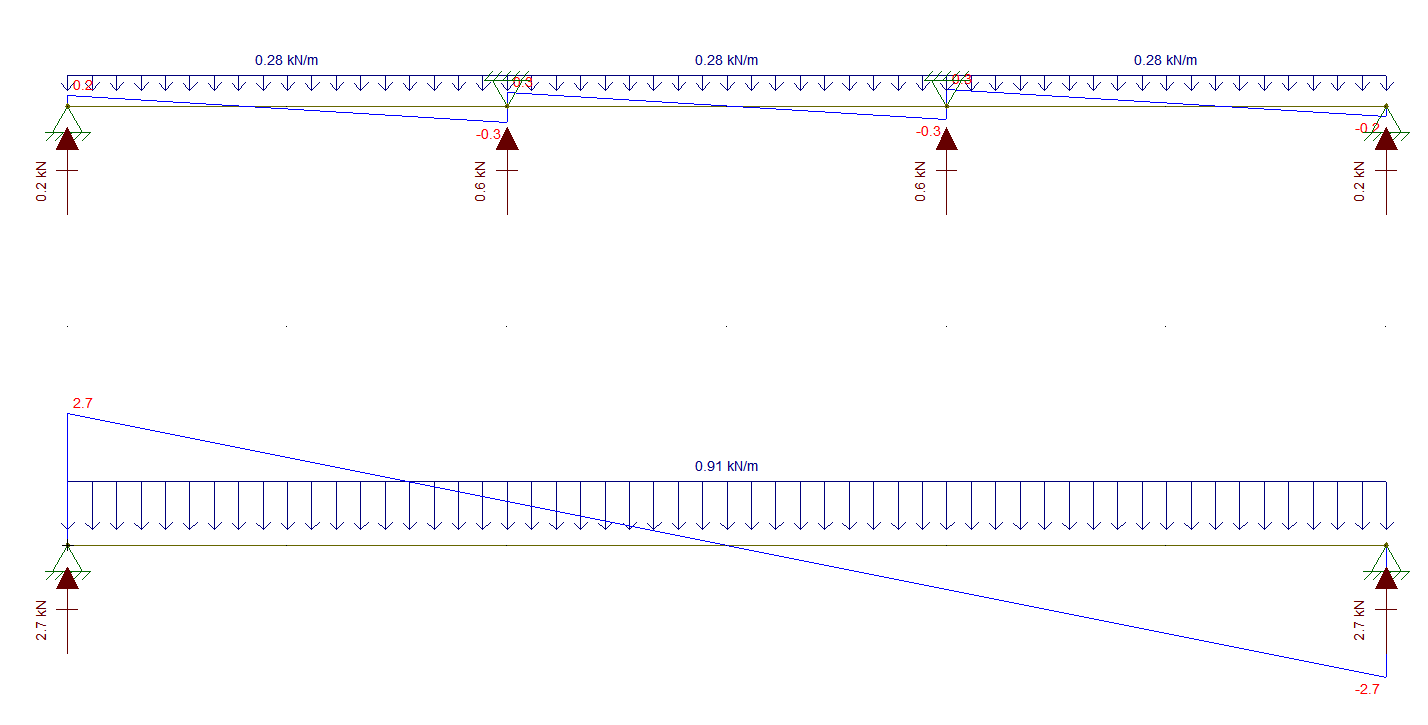


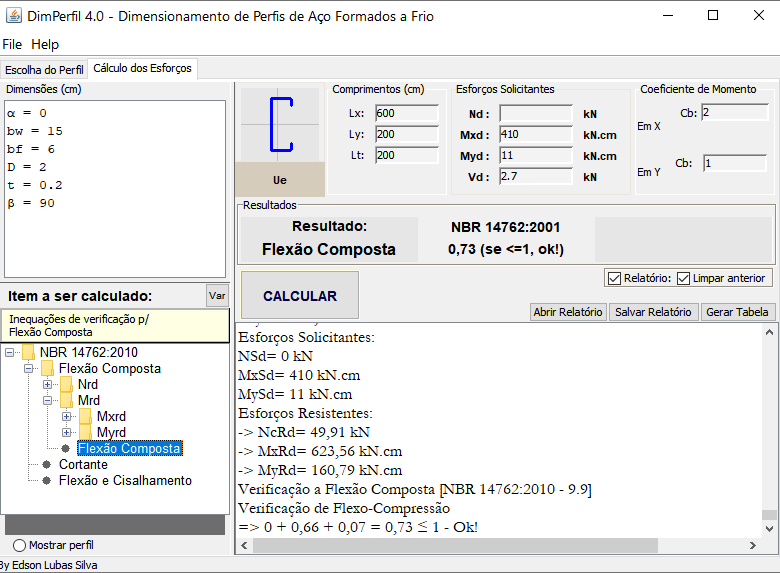


Verificação ELU: CP + V90 (Cpi +0,00)

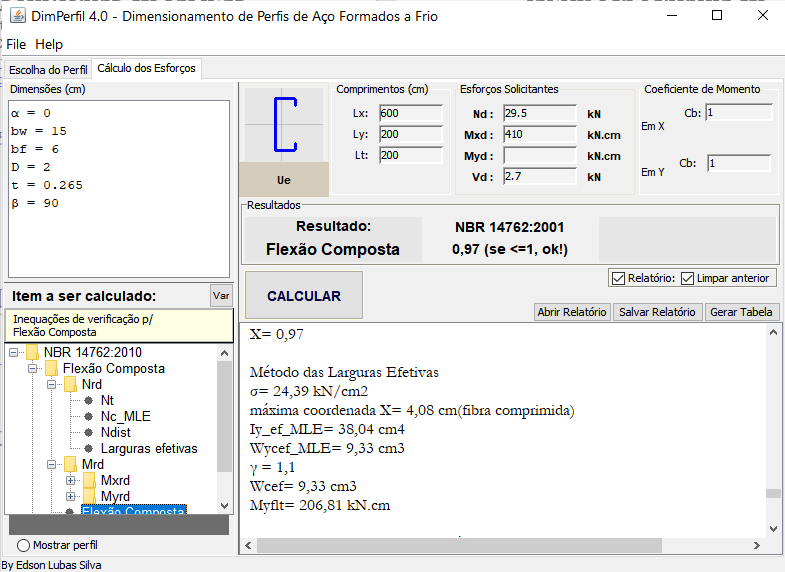
\*Maior momento fletor que comprime a mesa livre\*





****

**Terça da barra de contraventamento**

****

**4.6 – Dimensionamento das correntes e tirantes dos fechamentos laterais**

**Cálculo dos tirantes principais**

Q = **1,25 .** (0,06+ 0,031+ 0,025) x 6 . 6 = 5,22 kN /cos 63º = 11,50 / 2 = 5,75 kN/ tirante

Adotaremos Ø5/16 ASTM A36

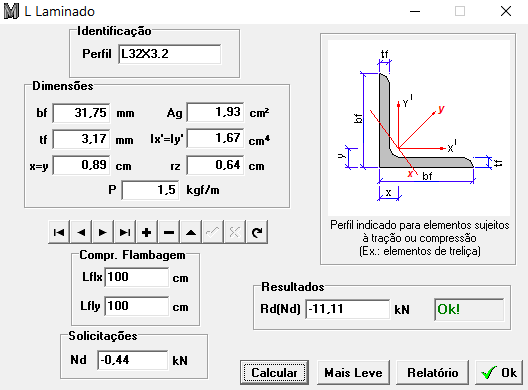
**Cálculo das correntes flexíveis**

Q = **1,25 .** (0,06+ 0,031+ 0,025) x 5 . 6 = 4,35 kN /2 =2,17

Adotaremos Ø5/16 ASTM A36

**Cálculo das correntes Rígidas**

Q = **1,25**.(0,06+ 0,031+ 0,025) x 1 . 6 = 0,87 kN /2 =0,44 kN

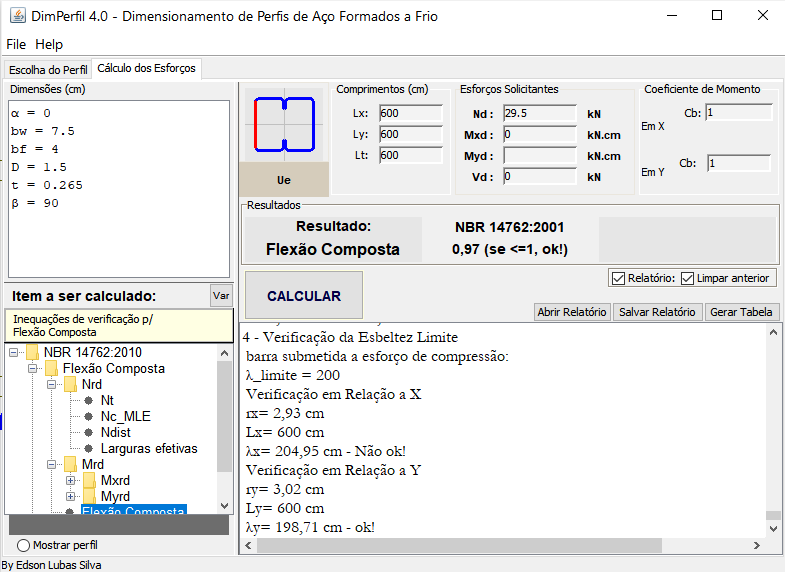


**4.7 – Dimensionamento dos Contraventamentos Verticais**

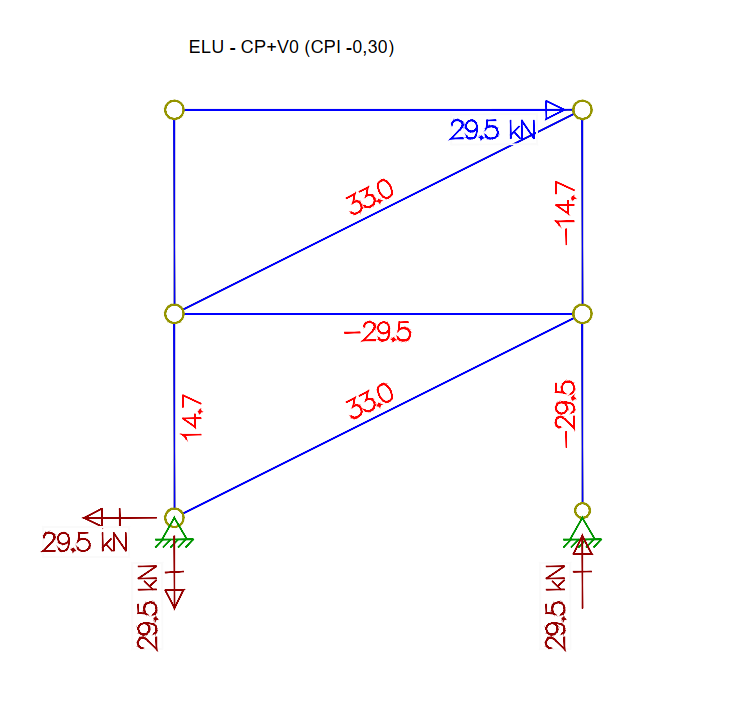
Carregamento ELU: CP + V0 (Cpi -0,3)

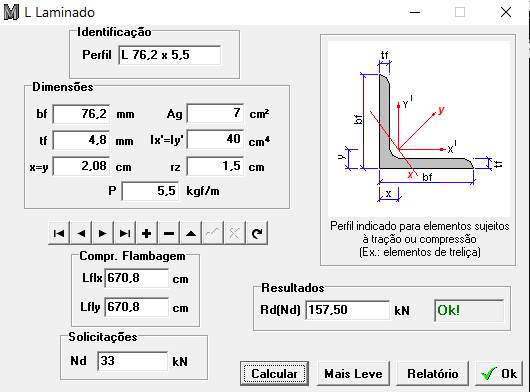
Qelu = **1,4** . 0,4 . (0,7-(-0,3)) . 82,81m² = 46,37 / 2 kN = 23,18kN

Verificação da Escora do Beiral



Verificação do Contraventamento Vertical





**4.8 – Dimensionamento dos pórticos Principais**

**OPÇÃO 1: Pórtico treliçado com pilares triangulares**

**Carregamentos ELS**

**CP+SC =** (0,06 + 0,0195) x 6 + 0,25 x 6 + 0,40 = 2,38 kN/m

CP+V0 (Cpi -0,00) = (0,06+0,0195) x 6 +0,40 -1,90 = -1,02 kN/m

CP+V0 (Cpi -0,00) = (0,06+0,0195) x 6 +0,18 -1,90 = -1,24 kN/m (Peso da estrutura atualizado)

CP+V90 (Cpi -0,30) -água esquerda = (0,06+0,0195) x 6 +0,18 - 1,53 = -0,88kN/m

CP+V90 (Cpi -0,30) -água Direita = (0,06+0,0195) x 6 +0,18 -0,24 = 0,42 kN/m

CP+V90 (Cpi -0,00) -água esquerda = (0,06+0,0195) x 6 + 0,18 -2,24 = -1,58 kN/m

CP+V90 (Cpi -0,00) -água Direita = (0,06+0,0195) x 6 + 0,18 -0,95= 0,453 kN/m

**Carregamentos ELU**

**CP+SC =** (**1,25 x** 0,06 + **1,25 x** 0,0195) x 6 + **1,5 x** 0,25 x 6 + **1,25**x 0,40 = 3,35 kN/m

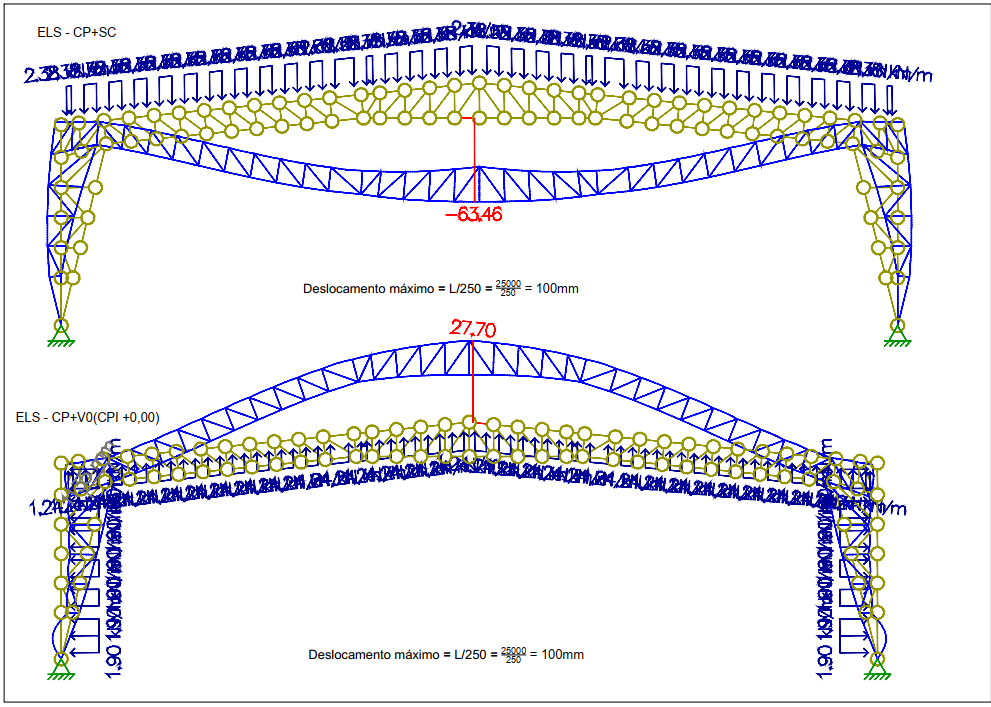
CP+V0 (Cpi -0,00) = (0,06+0,0195) x 6 +0,40 -**1,4 .** 1,90 = 1,78 kN/m

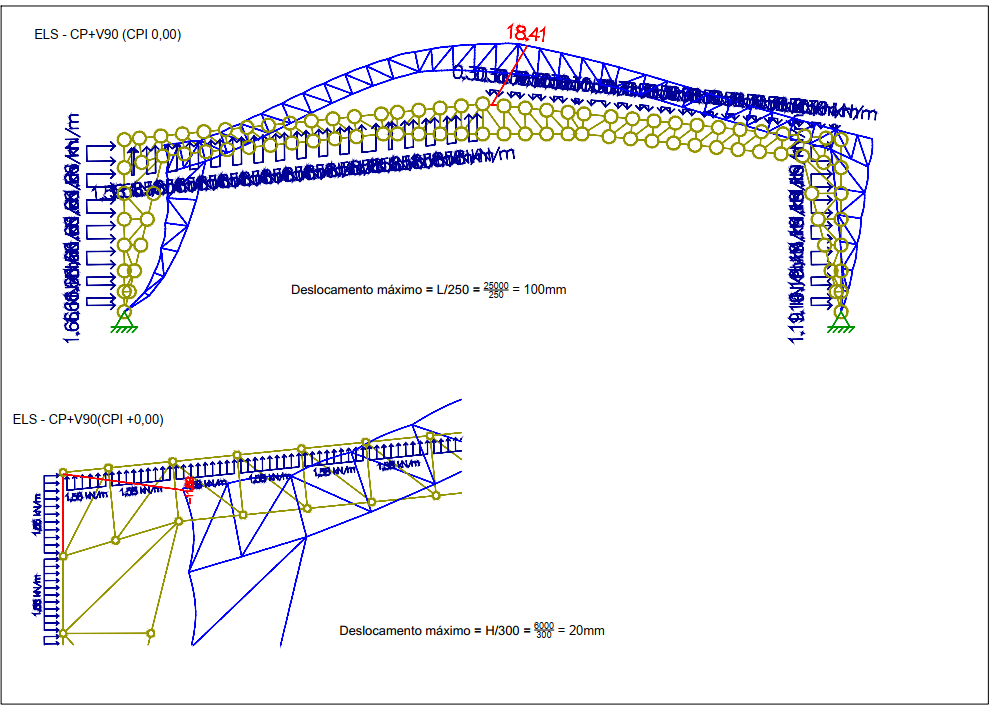
CP+V90 (Cpi -0,30) -água esquerda = (0,06+0,0195) x 6 +0,40 -**1,4 .** 1,53 = -1,26 kN/m

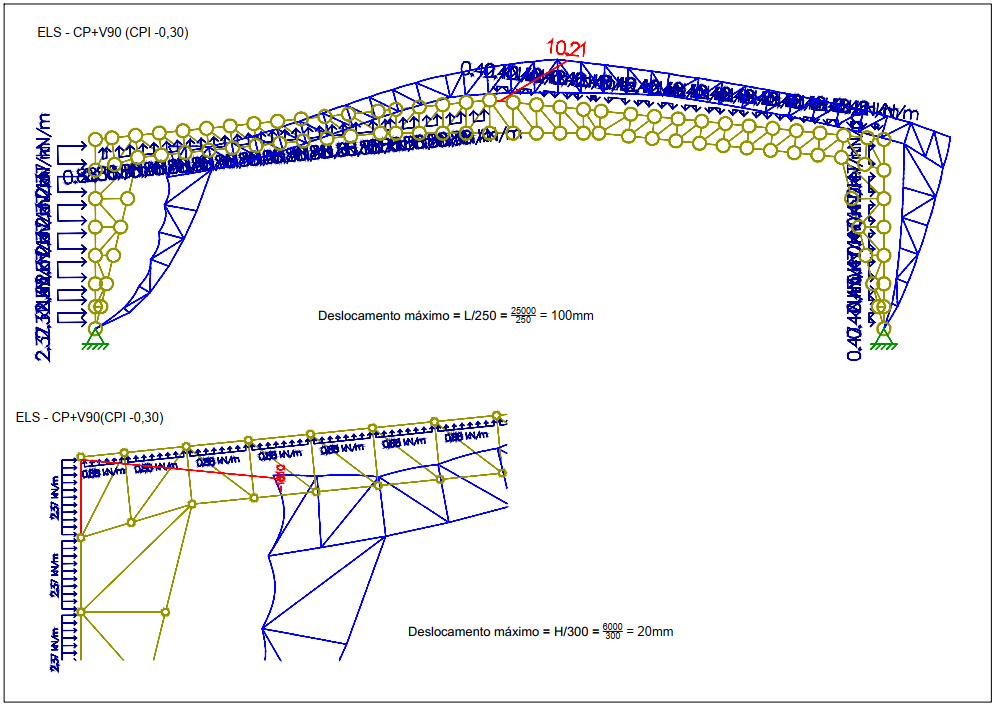
CP+V90 (Cpi -0,30) -água Direita = (0,06+0,0195) x 6 +0,40 -**1,4 .** 0,24 = 0,54 kN/m

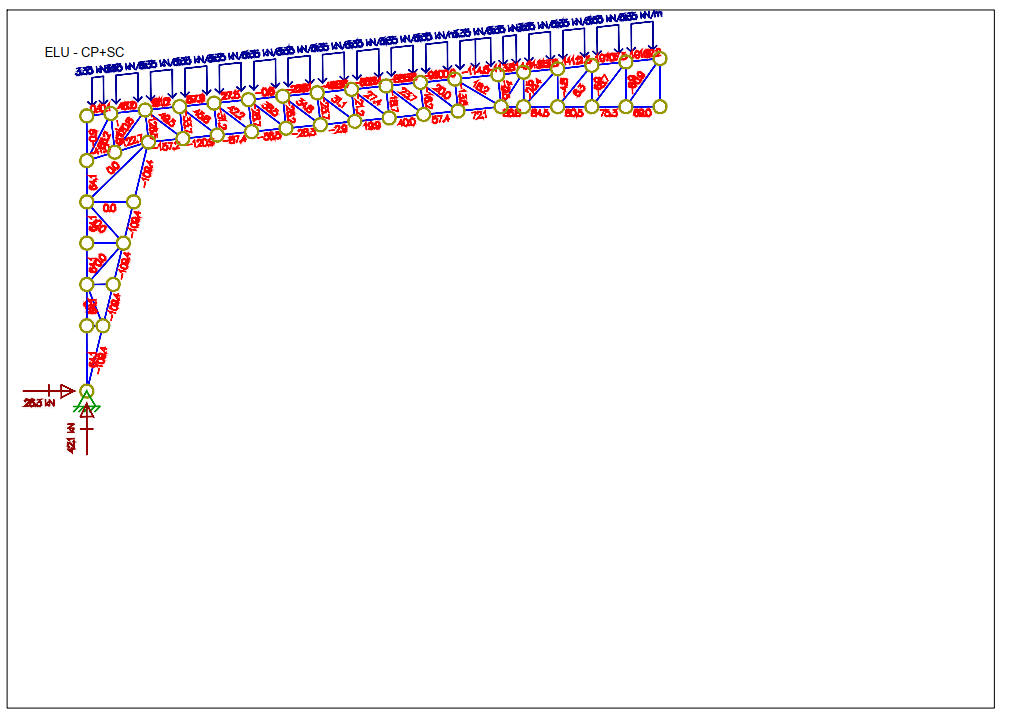
CP+V90 (Cpi -0,00) -água esquerda = (0,06+0,0195) x 6 +0,40 -**1,4 .** 2,24 = -2,26 kN/m

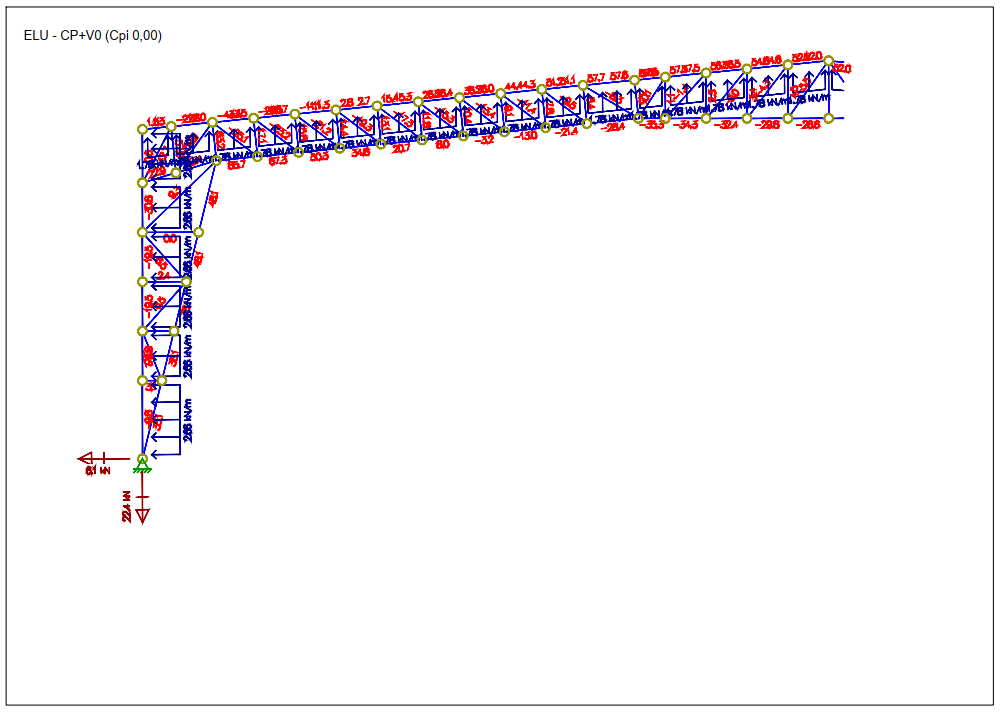
CP+V90 (Cpi -0,00) -água Direita = (0,06+0,0195) x 6 +0,40 -**1,4 .** 0,95= 0,453 kN/m

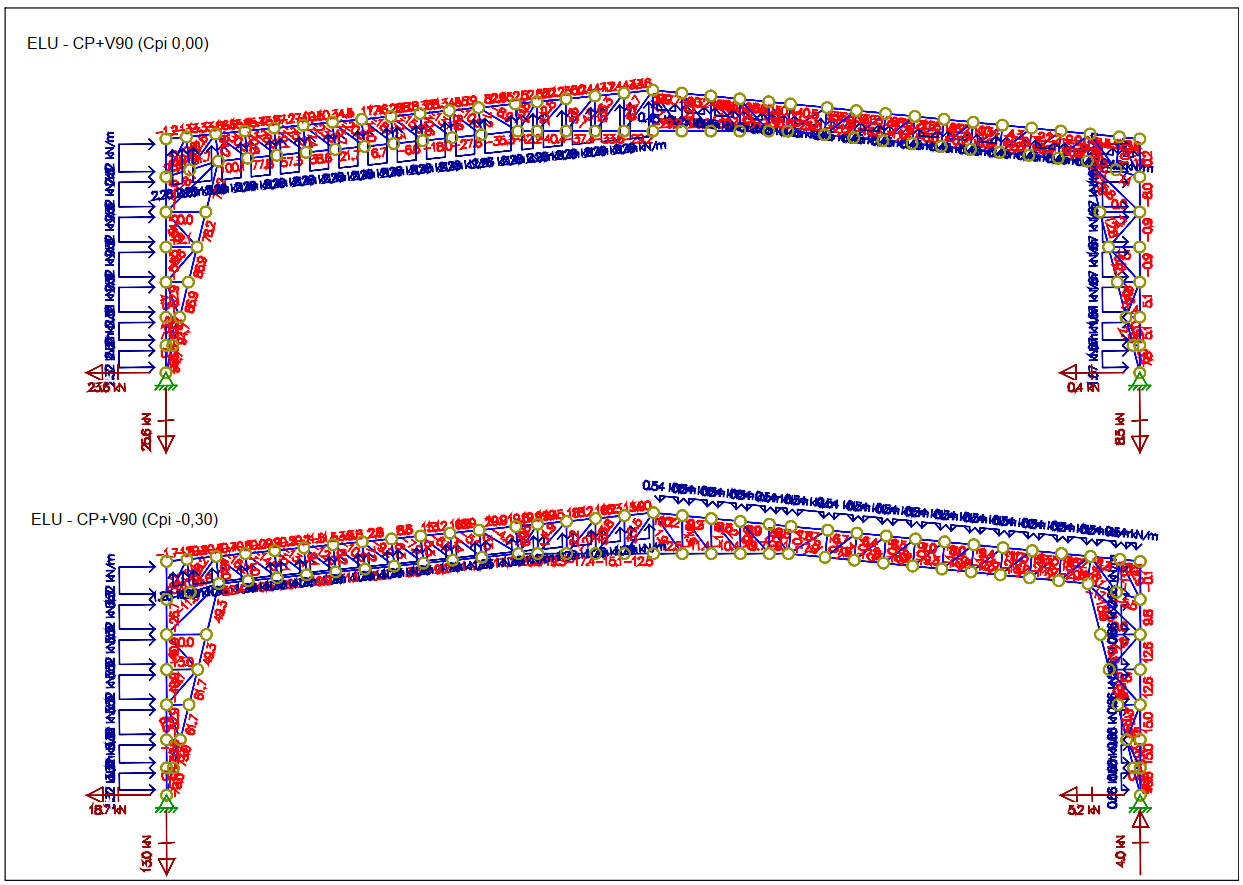




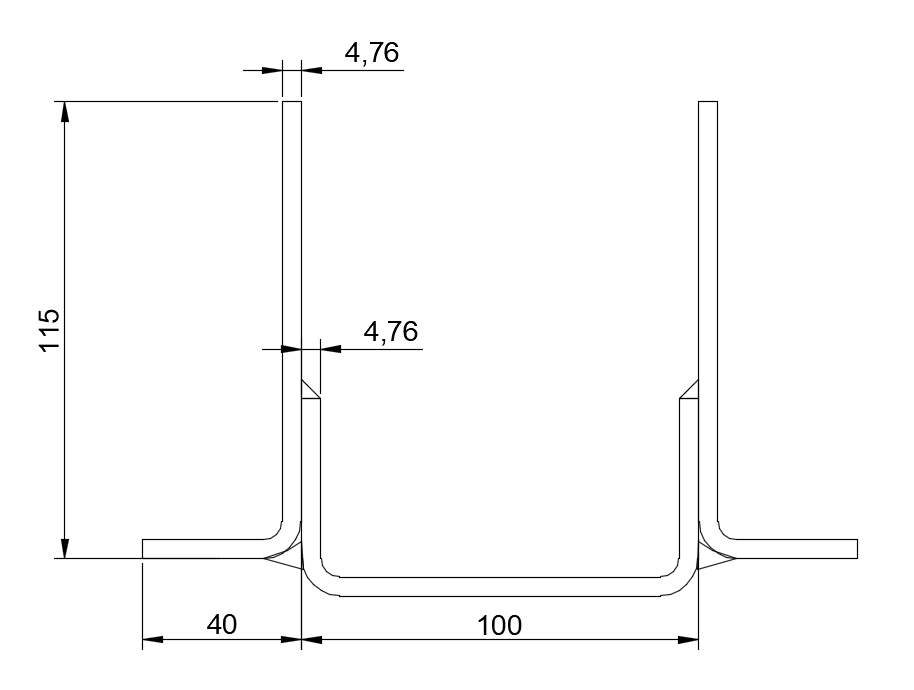


****

****

****

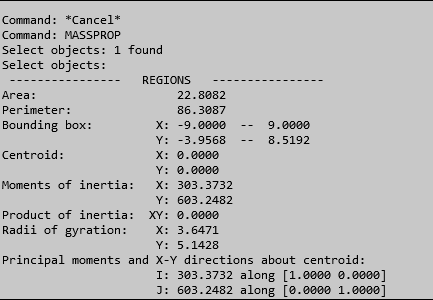
**Verificação do trecho do banzo inferior com reforço**

****

y

x

**Atenção, no Massprop os eixos foram calculados invertidos em relação aos comprimentos de flambagem usados até aqui (Em relação aos comprimentos de flambagem Lx, Usamos a propriedades em Y e vice versa)**

****

Área do Perfil U 100X50X4,76 = 8,77 cm² (0,384. Ag)

Área de cada reforço: 7,01 cm² (0,308 A.g)

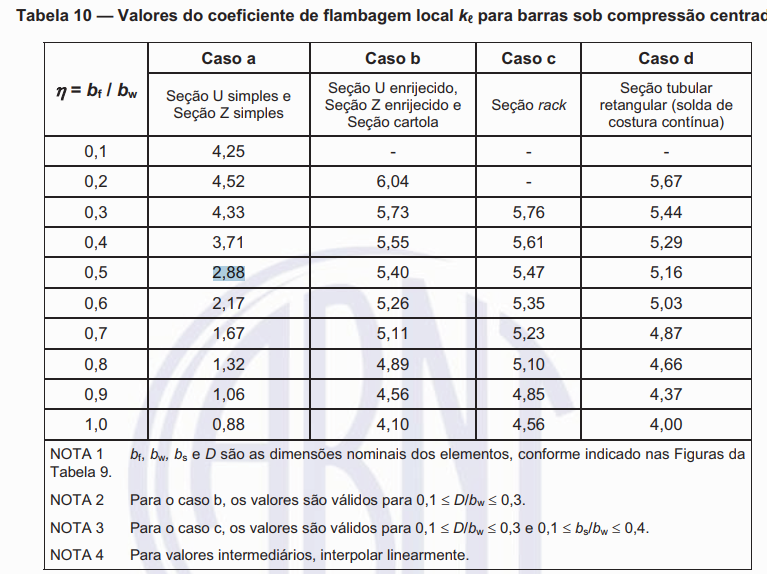
Verificação do perfil U 100X50X4,76

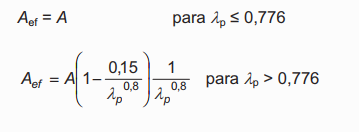
Carga de Compressão = 0,384 . (-157,2) = -60,36 kN

Carga de tração = 0,384 . 100 = 38,4 kN

Verificação da flambagem Local do Perfil

Bf/bw = 50/100=0,5





Portanto Aef = A = 8,77cm²

Verificação do perfil à tração

**Verificação do reforço: Cantoneira L115X40X4,76**

Carga de Compressão = 0,308 . (-157,2) = -48,41 kN

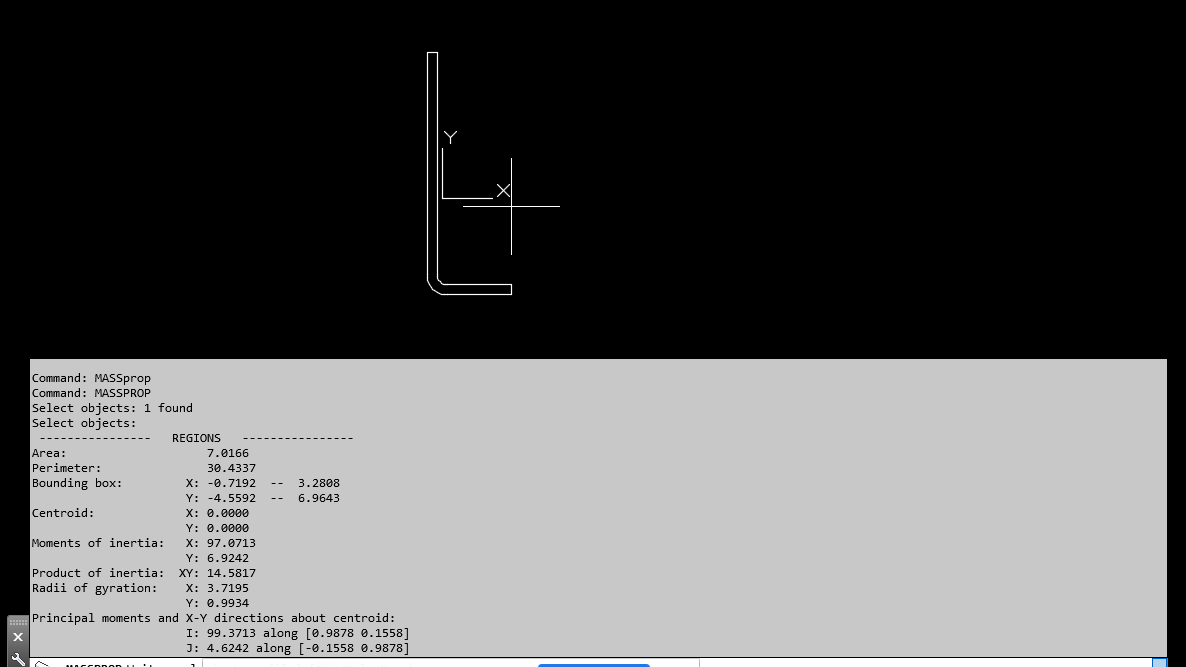
Carga de tração = 0,308 . 100 = 30,8 kN

Flambagem Local

Elementos AL

Verificação do perfil à tração

Definição do distanciamento entre cordões de solda



Perfil U: ry = 1,54cm (Obtido no Dimperfil)

Reforço: ry = 0,9934cm

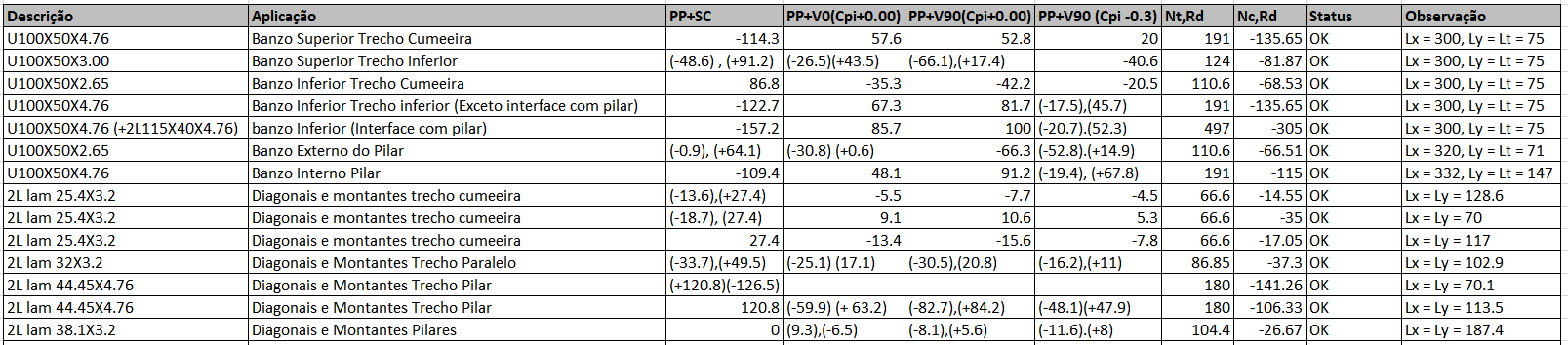
Esbeltez do conjunto:

Distanciamento entre soldas

Verificação da flambagem Global

Verificação da Barra à tração

**Verificações ELU – Realizadas no Dimperfil 4.0**

****

**4.9 – Dimensionamento dos pilares do oitão**

Carregamentos

ELS – CP + V0 (Cpi -0,3) = 0,40 x (0,7-(-0,3) x 5,94 = 2,38 kN/m

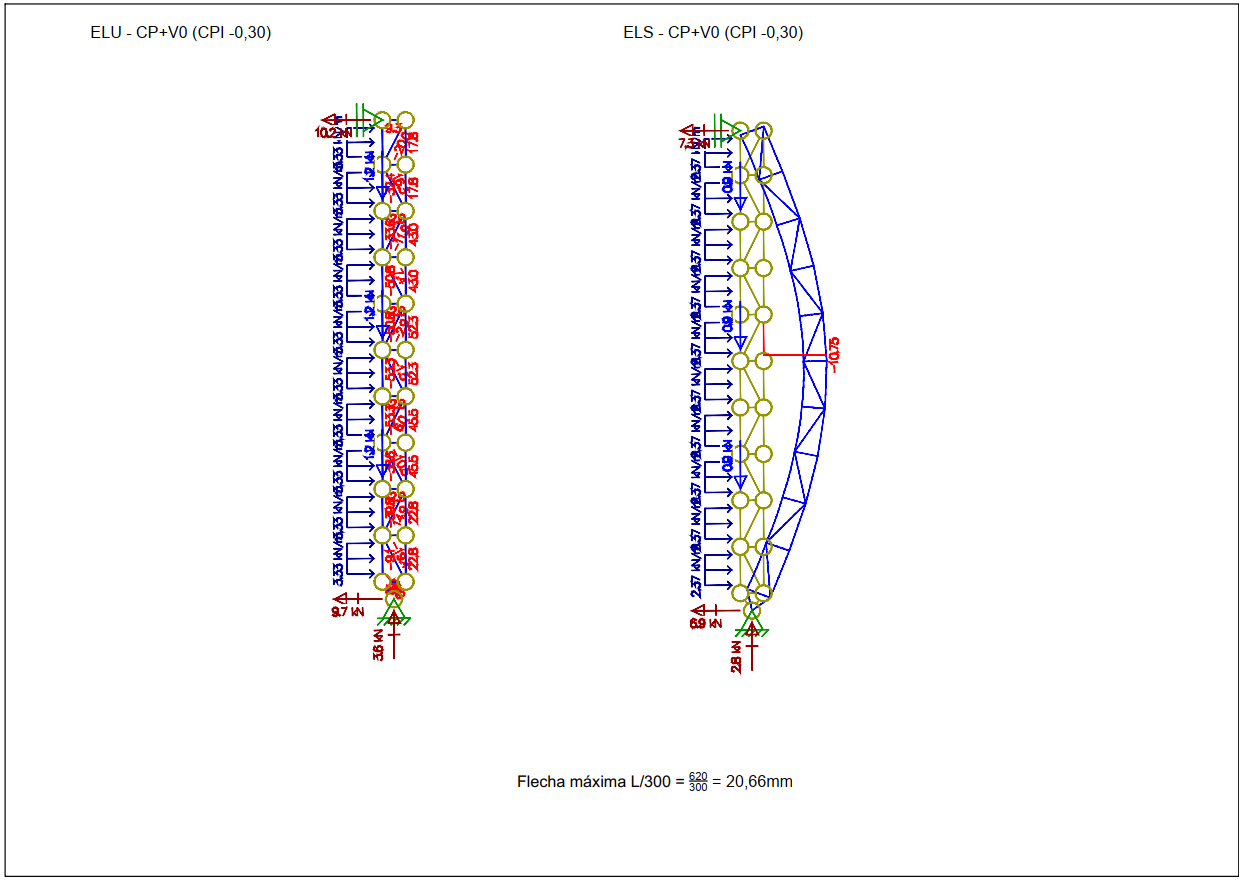
ELU – CP + V0 (Cpi -0,3) = **1,4 .** 2,38 = 3,33 kN/m

Cargas verticais pontuais nos nós de terças

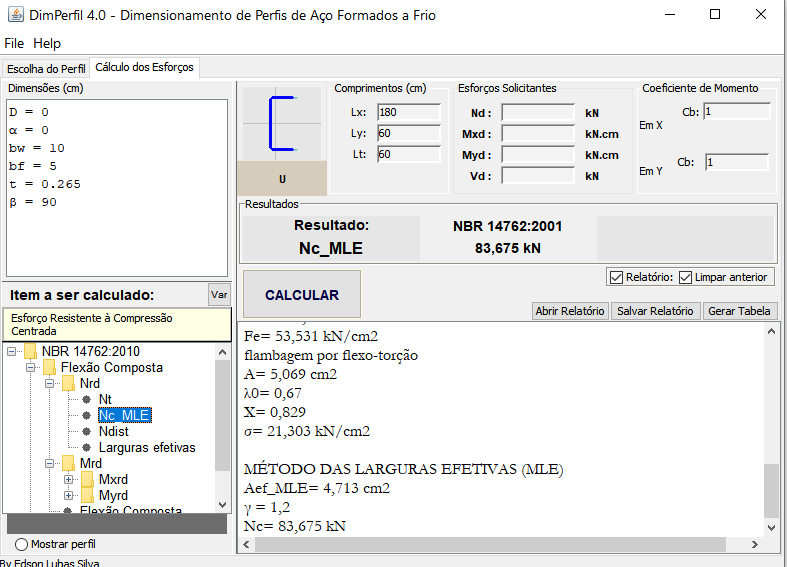
Peso das correntes:

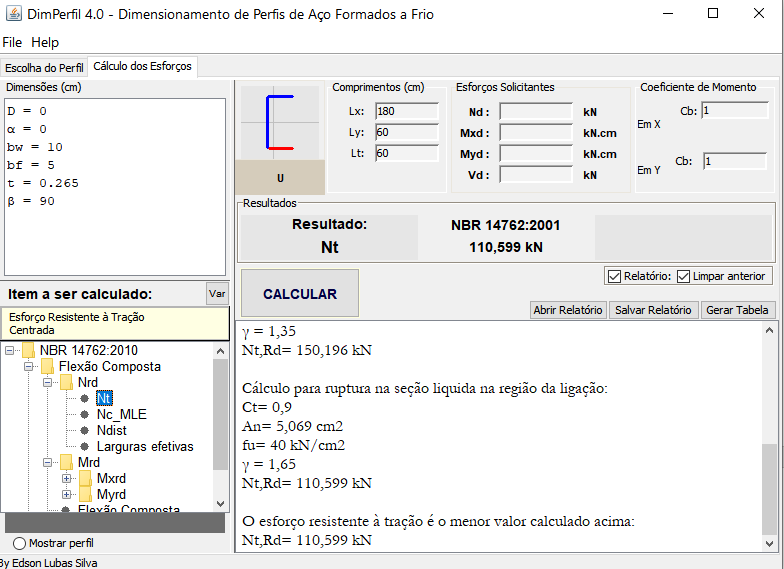
Total = 0,388 x 7,7m x 2 = 5,97 kg / (6x 7) = 0,15 kg/m²

ELU CP + V0 (Cpi -0,3) = **1,25** x (0,0466x 5,94 + 0,06x 5,94 x 1,8 + 0,0015x 5,94 x 1,8 )= 1,17 kN

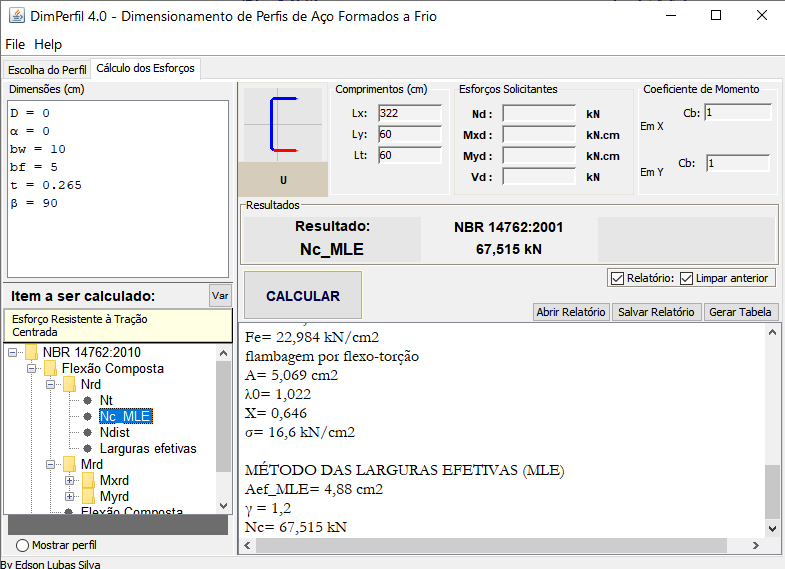


Verificação do Banzo Externo (NSD = +52,3, -53,3)



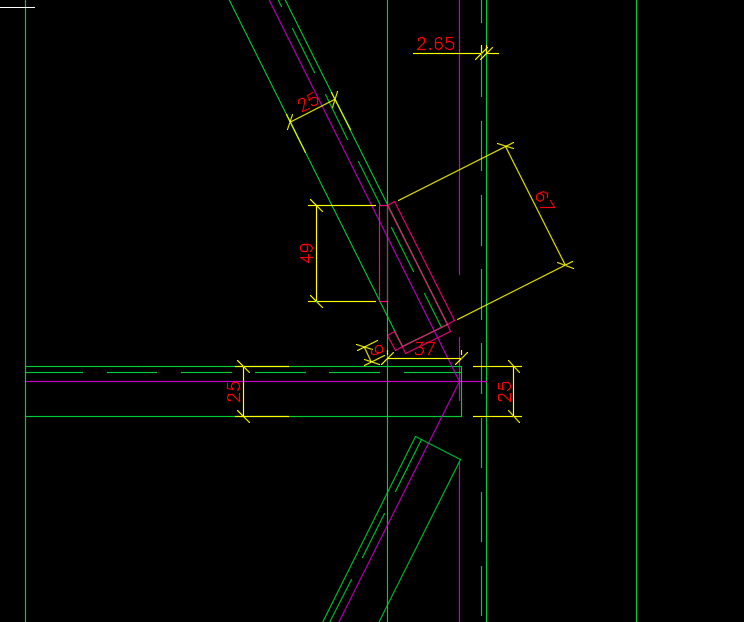


Verificação do banzo interno: (NSD = +52,3, -53,3)



Aplicar uma contenção a 322cm do piso

Dimensionamento das ligações do pilar frontal



Máxima solicitação axial da diagonal = 20 kN (Compressão) 16,3 kN Tração

Máxima solicitação dos montantes: 2 kN compressão

Utilizaremos o esforço mínimo de 45 kN

Verificação da diagonal à tração

Verificação da solda na diagonal

Esforço Tributário por filete

(45/2) / (4,9+6,7+3,7+0,9) = 1,39 kN/cm

Para os filetes internos

Para o filete inclinado ao longo da borda do perfil U

Componente Vertical = 1,39 . Sen 27° = 0,63 kN/cm (Paralela ao eixo da solda)

Componente Horizontal = 1,39 . cos27° =1,24 kN/cm (Transversal ao eixo da solda)

Verificação da Resistência do Metal base na direção do eixo da solda

L/t = 49/2,65 = 18,49 < 25

Fsd = 0,63x 4,9 =3,08 kN < 24,37 OK

Verificação da resistência do metal base na direção normal ao eixo da solda

Fsd = 1,24 x 4,9 =6,076 kN < 31,83 OK

Verificação da Ruptura do metal de solda na garganta efetiva

Fsd = 1,39 x 4,9 = 6,81 kN < 17,14 OK!

Verificação do colapso por rasgamento da aba do perfil U

Agv = (1,7 + 6,7).0,265 = 2,22 cm²

Ant = 2,54 . 0,265 = 0,67cm²

Dimensionamento da placa de base do pilar frontal

Determinação do diâmetro do pino considerando SAE1020

Esmagamento da seção do Furo

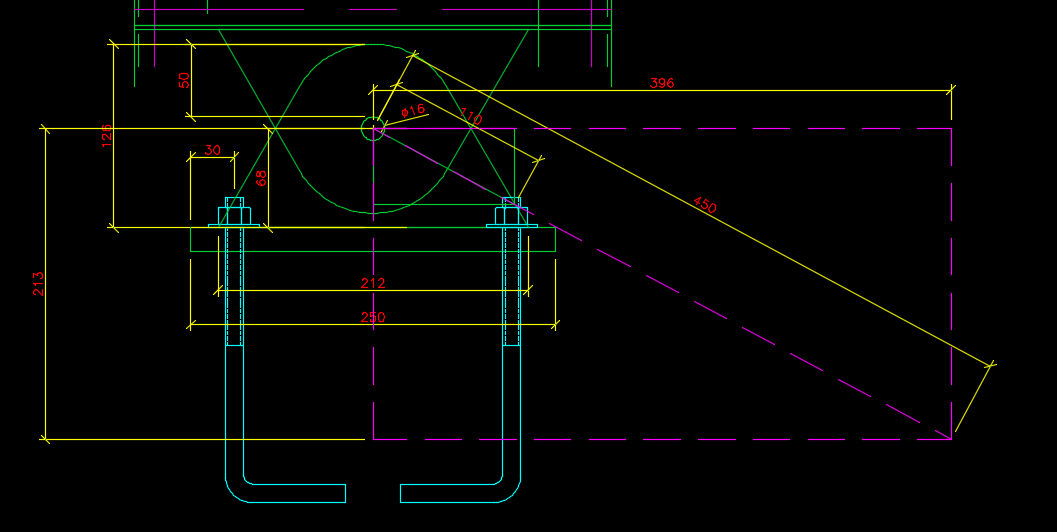
F,Sd = 45/2 = 22,5 kN

Determinação da espessura de acordo com o Bef

1,33 . (2.+16)= 25

T = 4,76mm – Adotaremos 10mm

Esforços atuantes



Horizontal = 39,6 kN

Vertical = 21,3 kN

Momento fletor atuante:

Tensão Atuante na chapa de articulação inferior devido ao momento fletor.

Tensão Atuante na chapa de articulação inferior devido à compressão

Tensão resultante

Na região tracionada

Verificação de esbeltez da chapa

b/t = 6,8/1=6,8

Portanto

Verificação da chapa ao esforço cortante

Ruptura da seção líquida por cisalhamento

Verificação da pressão de contato nos furos

Verificação da solda de penetração total entre a chapa base e a chapa de articulação inferior

Esforço atuante em 1cm na região tracionada

Verificação da solda:

Tração normal ao eixo da solda

Cisalhamento resultante

Adotaremos solda de penetração total E60XX

Verificação da necessidade de reforço na interface entre a chapa de articulação superior e o perfil U

Horizontal = 39,6 kN

Vertical = 21,3 kN

Momento fletor atuante:

Tensão Atuante na chapa de articulação inferior devido ao momento fletor.

Tensão Atuante na chapa de articulação inferior devido à compressão

Tensão resultante

Reprovado

Necessário reforço

Vinculação tipo A

Dimensões: 102mm x 300mm

a/b = 300/102 ~3

beta = 0,73

Resistência da chapa á tração (Escoamento da seção brutal)

Resistência da chapa ao rasgamento

Agv = 2 . 25,6 . 0,476 = 24,37 cm²

Ant = 2,9 . 0476 = 1,38 cm²

Verificação Da solda entre a chapa de reforço e o perfil U ( 10.2.4 NBR14.762/10)

Esforço paralelo ao eixo longitudinal da solda

Tef = 0,3.Re = 1,59mm porem utilizaremos f = 2,65mm

Ruptura do metal base

Verificação dos chumbadores na placa de base

Verificação da resistência do concreto (20 Mpa )

FcRd = 0,51 . Fck = 0,51 . 2 = 1,02 kN/cm² > 0,19 OK

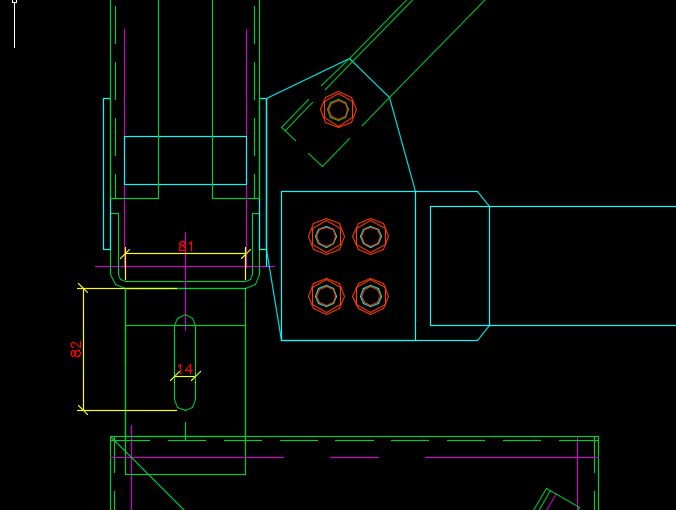
Tração atuante no parafuso

Cortante no chumbador

V = 39,6 / 4 = 9,9 kN

Profundidade de embutimento = 12 x d = 144mm

**Cálculo da ligação da barra de travamento**

****

Dimensionamento dos parafusos da barra de travamento

Vsd = 45/4 = 11,25 kN

Verificação da chapa da ligação

Escoamento da seção bruta

Ruptura da seção líquida

Pressão de contato nos furos da viga de travamento

Nt,Sd = 45/4 = 11,25 kN / parafuso

Esmagamento:

Verificação se a seção é compacta à compressão

Cisalhamento de bloco (hipótese de tração 45 kN)

Verificação para rasgamento em U

Ant = 2,6 . 0,318 = 0,83 cm² (rasgamento em U)

Anv = (2,3 + 1,6) 2 . 0,318 = 2,48 cm² (Rasgamento em U)

Verificação para rasgamento em L

Ant = (2,6+2,3) . 0,318 = 1,56 cm² (rasgamento em L)

Anv = (2,3 + 1,6) . 0,318 = 1,24 cm² (Rasgamento em L)

Verificação da solda da chapa de ligação da barra de travamento

Nt,Sd = Nc, Sd = 45 kN

Verificação para rasgamento em U

Ant = (8) . 0,318 = 2,54 cm² (rasgamento em U)

Anv = (3,8). 2 . 0,318 = 2,41 cm² (Rasgamento em U)

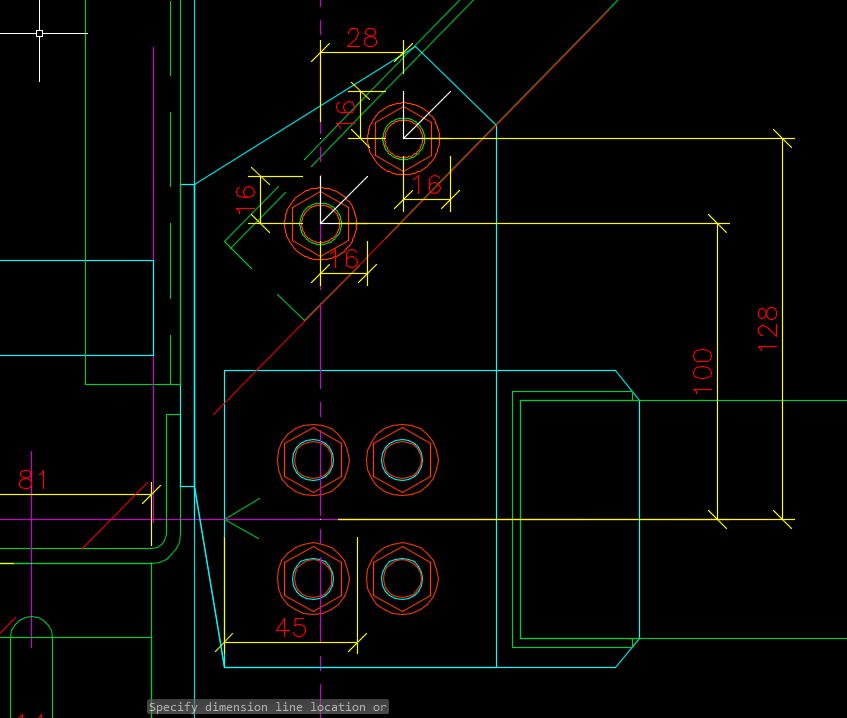
Verificação para rasgamento em L

Ant = (9) . 0,318 = 2,86 cm² (rasgamento em L)

Anv = (3,8) . 0,318 = 1,20 cm² (Rasgamento em L)

Adotaremos Chapa t = 3,2mm ASTM A36

Verificação da chapa de conexão entre mão francesa – treliça – Barra de travamento



Verificação dos parafusos da mão francesa

Momento atuante na chapa de ligação

M = 16x6,6 + 16x3,8 + 2x11,25 x 4,2 + 2x 11,25 x 8,2 -16x7,1 – 16x4,3 = 263 kN.cm

Cortante atuante = 16 + 16 = 32 kN

Axial atuante: 16+16-45 = -13 kN

Tensão axial de tração atuante

Espessura mínima para chapa compacta

Tensão axial de compressão atuante

Verificação à cortante

Pressão de contato nos furos da mão francesa

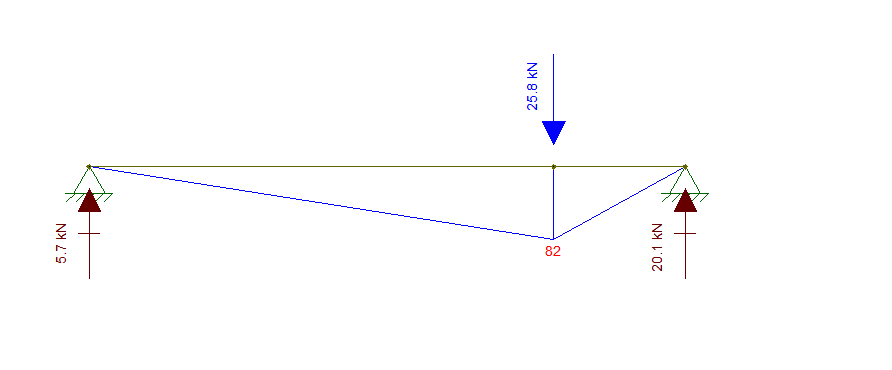
Nt,Sd = 45/2 = 22,5 kN / parafuso

Esmagamento:

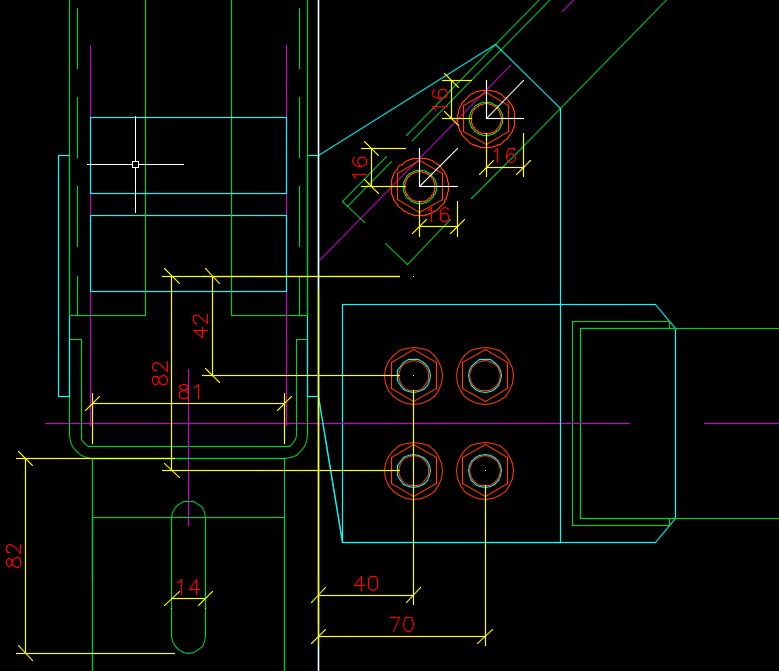
Verificação da flexão da chapa gousset da treliça em relação ao eixo de menor inércia

T = M/d = T = 263 / 10,2 = 25,78 kN

Momento fletor na cantoneira



Esbeltez da aba

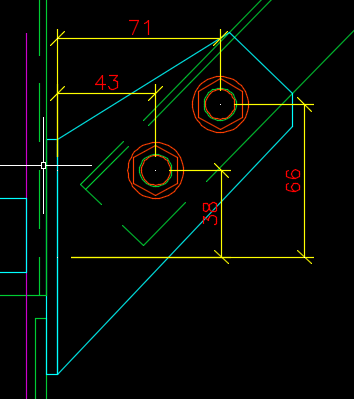


Adicionar uma chapa para neutralizar o momento fletor

Adotaremos chapa t = 7,94mm (5/16’’)

Verificação da solda entre a chapa de ligação e a chapa gousset

Dimensionamento da chapa de ligação da mão francesa com banzo inferior



Momento atuante na chapa de ligação

M = 16.4,3+16.7,1-16.3,8-16.6,6 = 16 kN.cm

Cortante atuante = 16 + 16 = 32 kN

Axial atuante: 16+16-45 = 32 kN

Tensão axial de máxima atuante

Espessura mínima para chapa compacta

Verificação à cortante

Pressão de contato nos furos da mão francesa

Nt,Sd = 45/2 = 22,5 kN / parafuso

Esmagamento:

Adotar Chapa t = 3,2mm (1/8’’)

Verificação da solda entre a chapa de ligação e a chapa gousset

Força de tração máxima devido ao momento fletor:

F = M/d = 16/10,2 = 1,56 kN

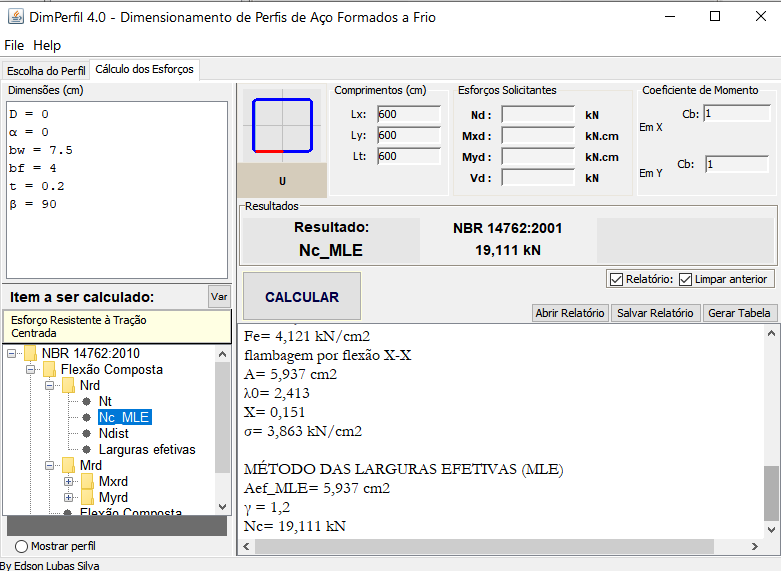
Força máxima devido à tração: F = 32/10,2 = 3,13 kN

Força de tração máxima na solda (L = 1cm) = 1,56+3,13 = 4,69 kN

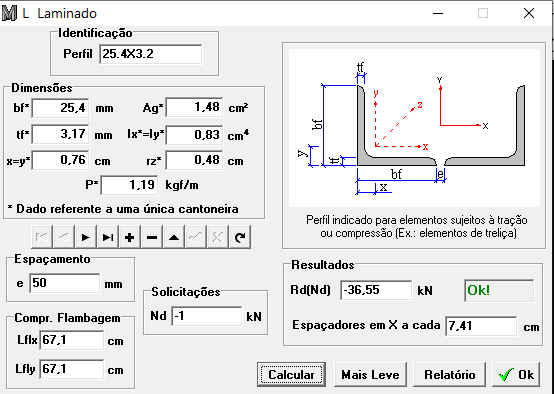
**4.10 – Dimensionamento da Viga de Travamento**

Carregamento: Reação de apoio do pilar do oitão no ELU

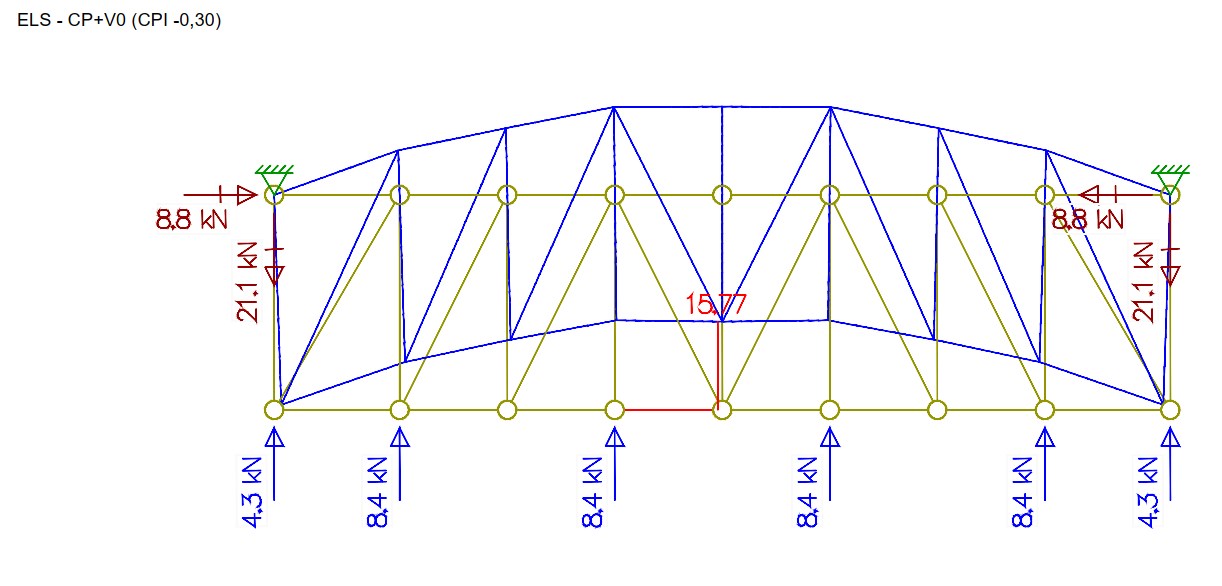
Nsd = 10,9 kN (Compressão)



Verificação das diagonais e montantes: (NSD = +16,00, -20)



Deslocamentos Máximos:





Deslocamento máximo admissível = 6200/300 = 20,66mm

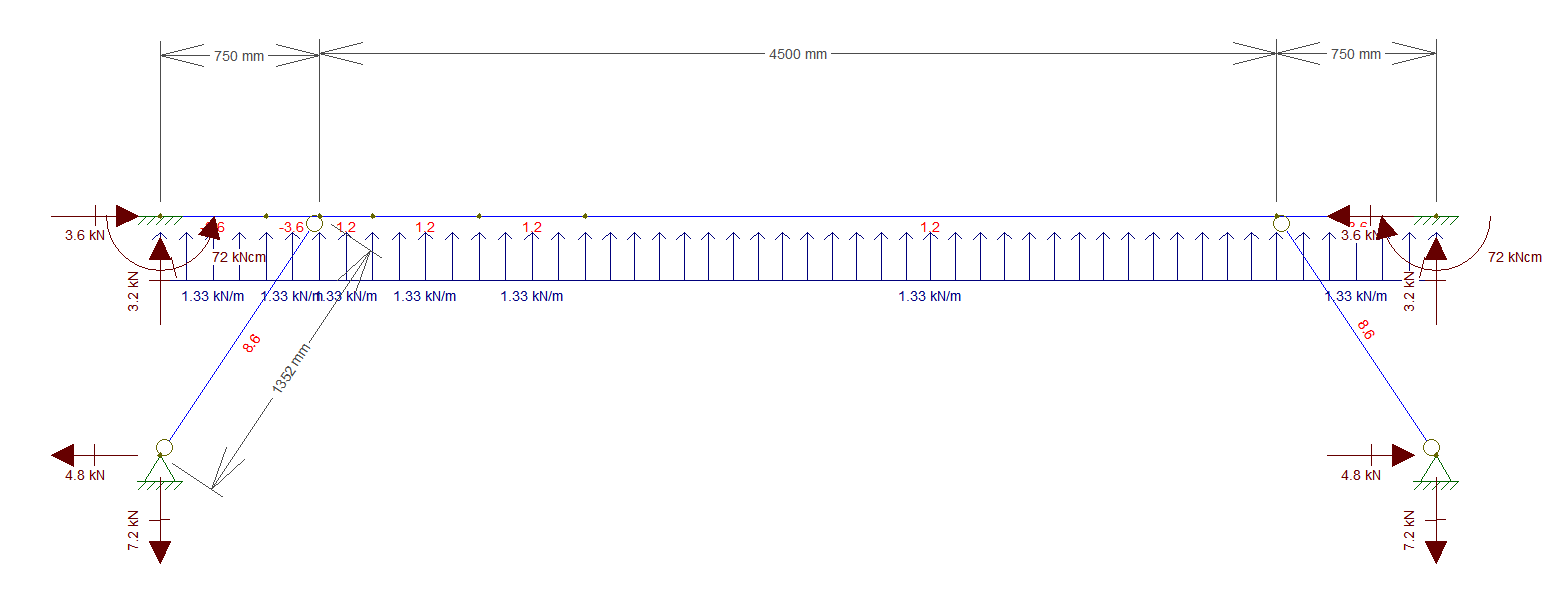
Deslocamento atuante: 15,77 + 4,50 = 20,27mm OK!

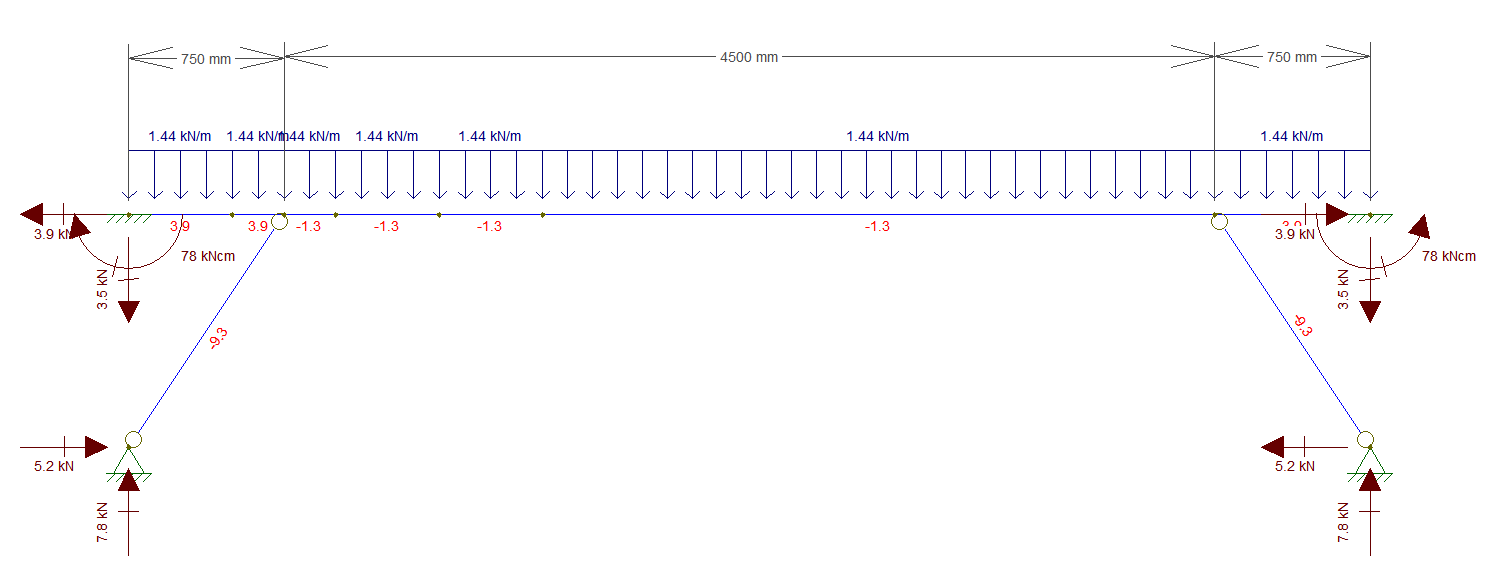
**5 – Dimensionamento das ligações**

**5.1 – Dimensionamento do suporte de terças da Cobertura**

Esforços

CP+V90 (Cpi 0,00)



****

**Inércia Polar formada pela seção dos parafusos**

Cálculo para CP+SC (ELU)

(esquerda – Furo inferior)

Fx (v) = 3,6 / 2 = 1,80 kN (esquerda Furo inferior)

Fy = 1,6 kN (Para baixo)

Cálculo para CP+V90 (CPI 0,00) (ELU)

(direita– Furo inferior)

Fx (v) = 3,9 / 2 = 1,95 kN (Esquerda Furo inferior)

Fy = 1,75 kN (Para baixo)

Verificação Rasgamento do Furo (Suporte de terça)

Verificação Esmagamento do Furo (Suporte de terça)

Verificação do rasgamento do furo (Terça) (ABNT NBR14.762 – 10.3.4)

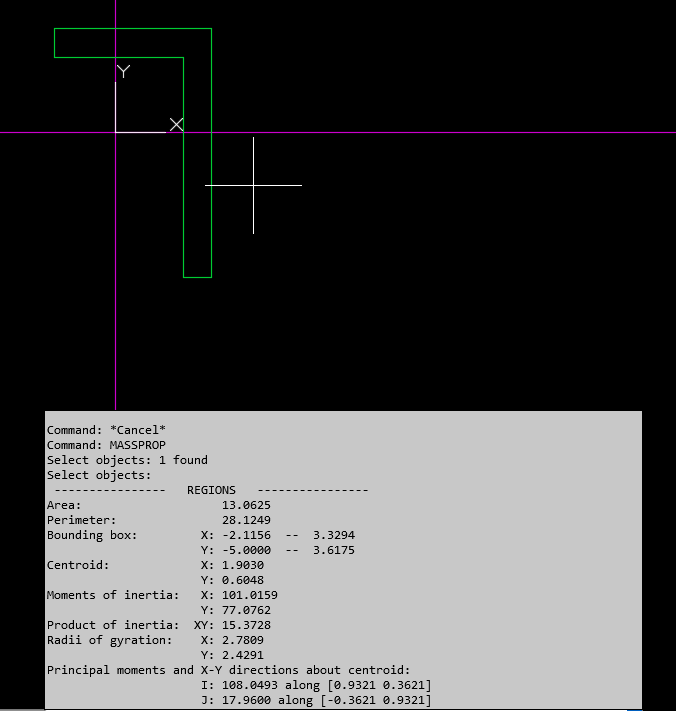
(Não aprovado)

Verificação do Esmagamento do furo (Terça) (ABNT NBR14.762 – 10.3.5)

(Reprovado)

Será utilizada uma chapa de reforço ASTM A36 t = 4,76 com dimensões de borda superiores às já utilizadas para cálculo da cantoneira de suporte.

Verificação da Solda no reforço



Fx = 3,9/(5,45 + 8,62) + 2,19 = 2,47 kN

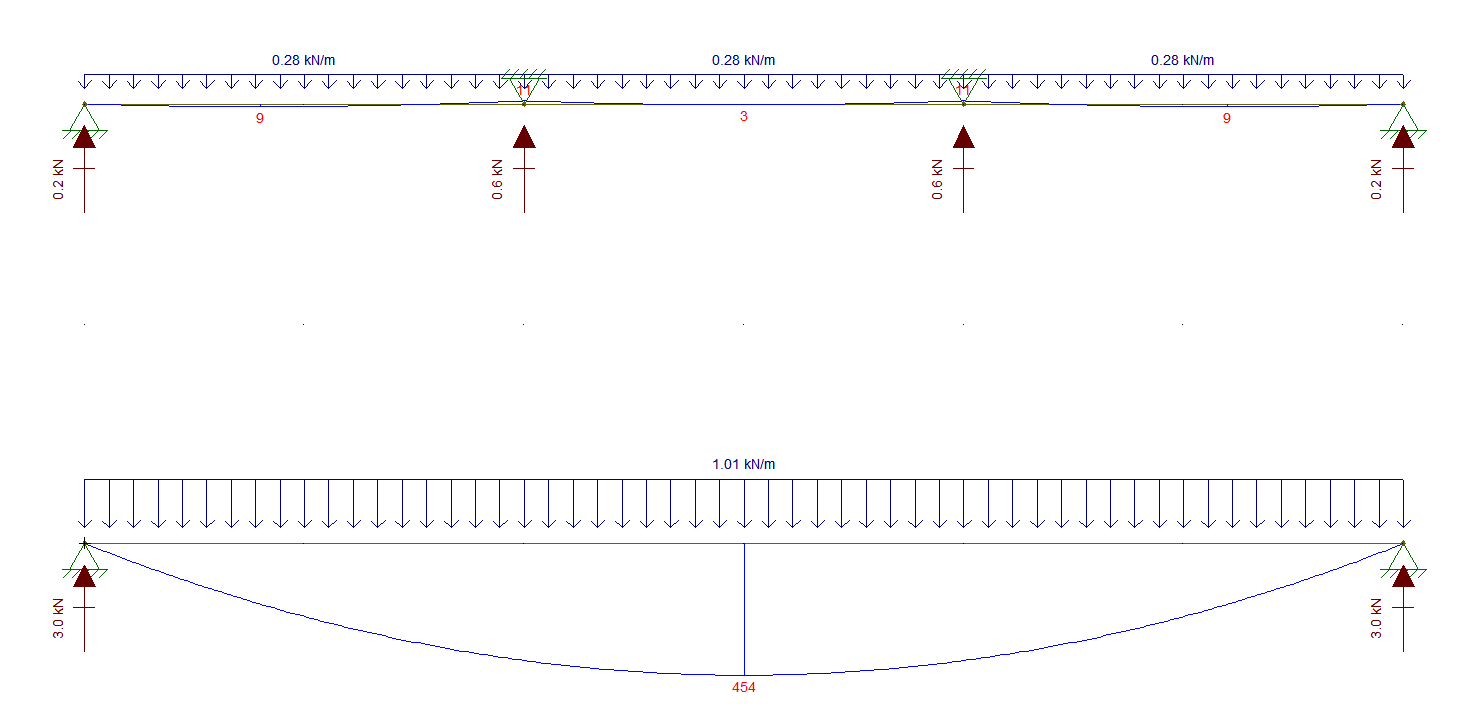
Fy = 3,5/(5,45 + 8,62) + 0,92 = 1,17 kN

(E60XX)

**5.2 – Dimensionamento do suporte de terças dos fechamentos**

Esforços

CP+V90 (Cpi -0,3) (PARAMOS AQUI – CALCULAR SUPORTE COM FUROS OBLONGOS)



Cálculo para CP+V90 (CPI 0,00) (ELU)

(direita– Furo inferior)

Fx (v) = 3,9 / 2 = 1,95 kN (Esquerda Furo inferior)

Fy = 1,75 kN (Para baixo)

Verificação Rasgamento do Furo (Suporte de terça)

Verificação Esmagamento do Furo (Suporte de terça)

Verificação do rasgamento do furo (Terça) (ABNT NBR14.762 – 10.3.4)

(Aprovado t = 2mm)

Verificação do Esmagamento do furo (Terça) (ABNT NBR14.762 – 10.3.5)

(Aprovado t = 2mm)

Cálculo do suporte à flexão

**Carga vertical no suporte superior, mais solicitado devido à ação do tirante**

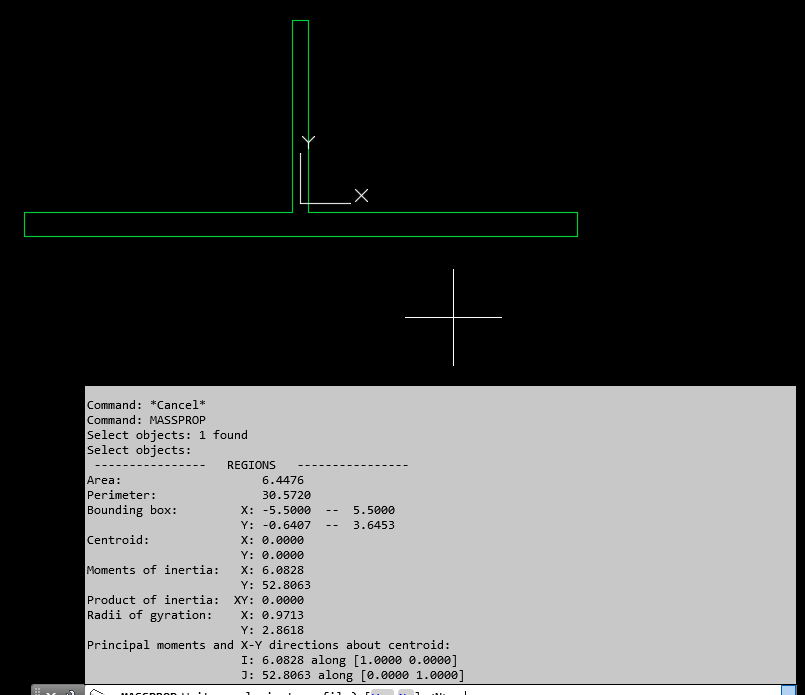
P = 0,2kN x 4 linhas de terças x 2 terças por suporte = 1,6 kN (0,8 / linha de parafuso)

Msd = ( 0,8 x 3 + 0,8 x 12 ) = 12 kN.cm

Verificação da necessidade de enrijecedor:

Espessura requerida sem enrijecedor

Verificação com enrijecedor espessura 1/8

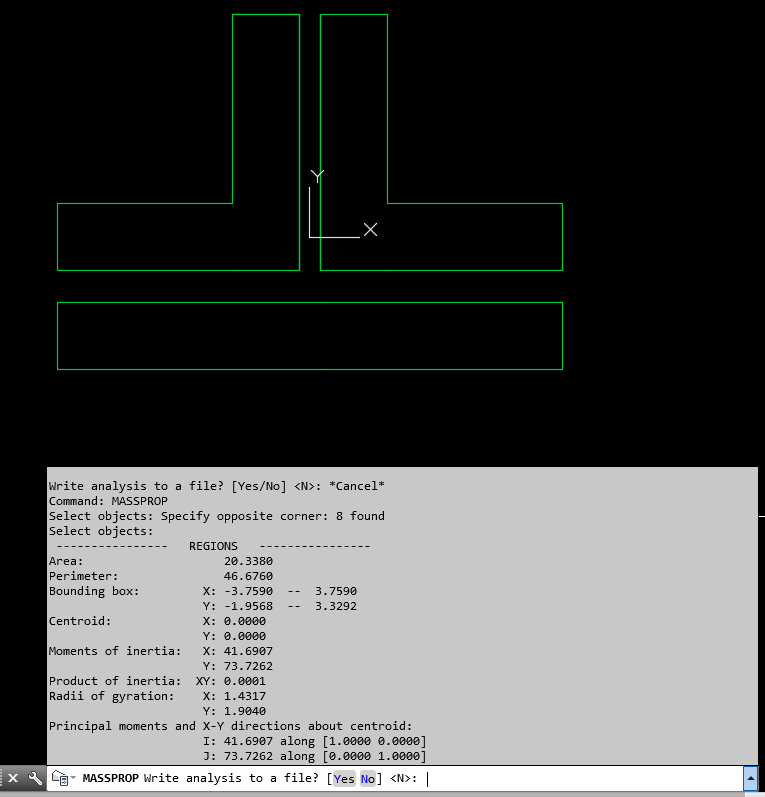


Verificação da flambagem local

Aba é compacta à flambagem local, portanto

Aprovado

Verificação da solda do suporte de terças de fechamento



Tensão máxima devido ao momento

Tensão máxima devido devido ao vento horizontal (Considerando a mesma carga da hipótese de vento com Cpi +-0,3 e Cpe = +0,7 de forma conservadora)

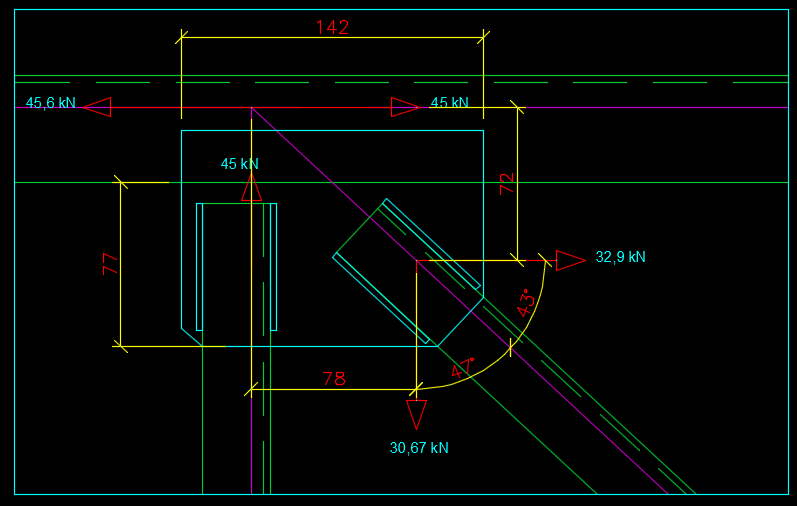
Adotar 3mm E60XX

**5.3 – Dimensionamento das chapas de ligação da treliça**

5.3.1 – Chapa Gousset Treliça – trecho paralelo

Dimensionamento da solda entre a chapa e as diagonais

Maior esforço axial absoluto = 45,8kN



Tensões locais na chapa (t= 4,76mm)

Espessura da chapa gousset considerando aba livre compacta

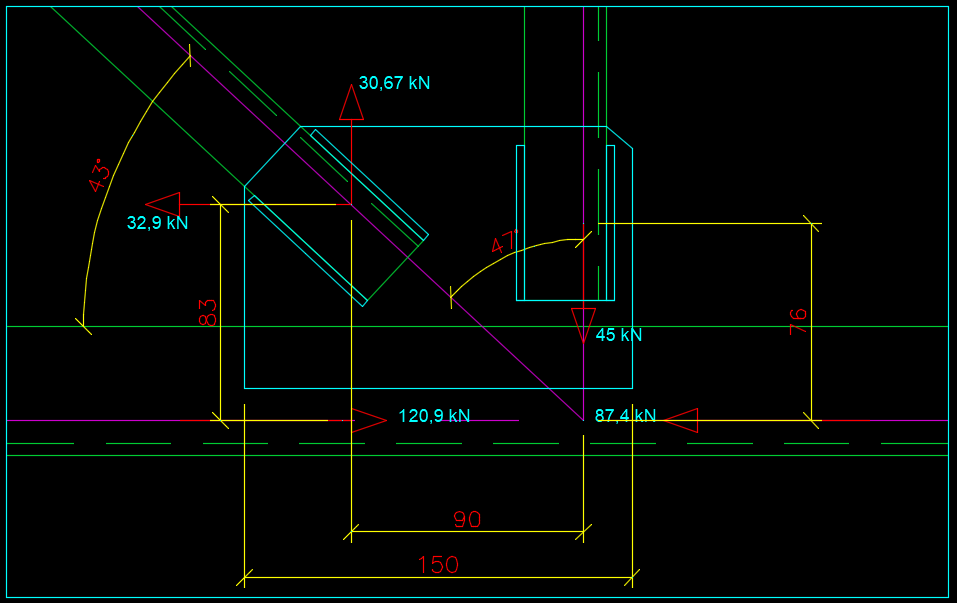
Como a aba disponível não foi compacta, proceder com o cálculo de flambagem local

Verificação da cortante na chapa

Tensão atuante = 32,3/(0,476 . 14,2)=4,77 kN/cm²

Verificação do Colapso por rasgamento

Verificação da Chapa Gousset Inferior Trecho Paralelo



Tensões locais na chapa (t= 4,76mm)

Considerando que o comprimento de flambagem da chapa não se alterou, e a aba foi aumentada, de 142mm para 150mm então podemos considerar que a resistência à compressão é superior ao valor encontrado na primeira verificação.

O mesmo se aplica à verificação por cortante e colapso por rasgamento.

Verificação da Ligação entre treliça paralela e trecho da cumeeira

Determinação do número de parafusos para diagonal

Verificação dos parafusos para o banzo Superior

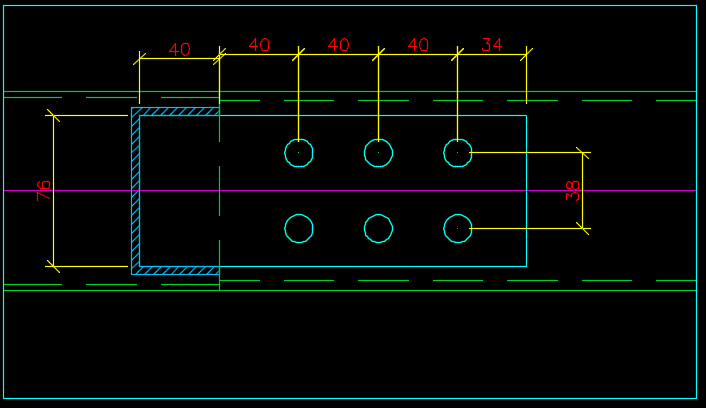
Verificação da Cantoneira de diagonal na região da ligação

An = Ag – d’.t

An= 2,30 – (1,27 + 0,15 + 0,2) . 0,32 = 1,81cm²

Verificação da tala de emenda do banzo superior

Área tributária da tala de emenda



Atala = Ag – 2x 4x0,476 = 8,77 – 3,80 = 4,97cm² (4,97/8,77=57%)

Verificação da solda entre a tala e o banzo

Maior esforço axial = 48,3 kN x 0,57 = 27,53 kN adotar 45 kN

Verificação da chapa

Na compressão:

– Adotaremos t = 6.35mm

Na tração:

Escoamento da seção bruta: Nt,Sd = 38,3 x 0,57 = 21,83 kN – 45 kN

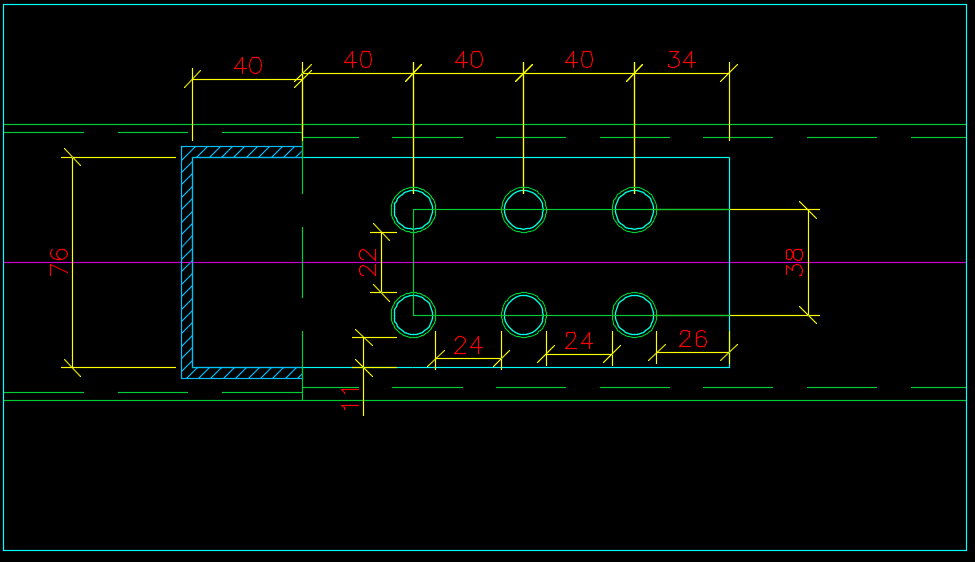
Ruptura da seção líquida:

Pressão de contato nos furos:

Nt,Sd = 68,4 x 0,57 = 38,98 kN adotar 45 kN / 6 parafusos = 7,5 kN/parafuso

Esmagamento:

Verificação do Colapso por rasgamento



Nt,Sd = 38,4 \* 0,57 = 21,88 adotar 45 kN.

Ant = 2,2 . 0,635 = 1,39 cm² (rasgamento em U)

Ant = 3,3\*0,635 = 2,09 cm² ( rasgamento em L

Anv = (4 . 2,4 + 2. 2,6 ) . 0,635 = 9,39cm² (Rasgamento em U)

Anv = (2 . 2,4 + 1 . 2,6) . 0,635 = 4,7 cm²

Verificação para rasgamento em U

Verificação para rasgamento em L

Verificação da resistência do perfil à tração

An= 8,77 – 4.1,62. 0,476 = 4,65 cm²

Pressão de contato no furo

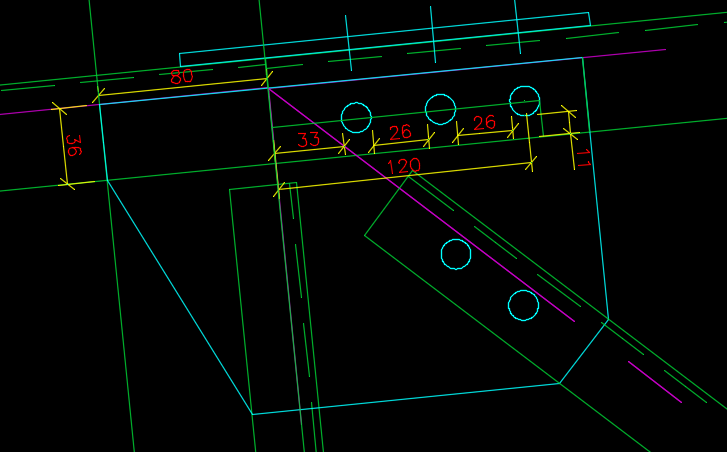
NcSd = 68,3 / 12 = 5,69 kN

Verificação para rasgamento em U

Ant = 2,2 . 0,476 = 1,04 cm² (rasgamento em U)

Anv = (4 . 2,4 + 2. 3,2 ) . 0,476 = 7,61 cm² (Rasgamento em U)

Verificação do colapso por rasgamento da aba do perfil U100X40X4,76



Anv = (2 . 2,6 + 3,3 ) . 0,476 = 4,04 cm² (Rasgamento em L)

Ant = 1,1 . 0,476 = 0,52 cm² (Rasgamento em L)

Maior esforço axia = 48,3 x 0,21 = 10,14 < 45 kN- Adotar 45 kN

Verificação do colapso por rasgamento do banzo U100X40X3,00

Verificação para rasgamento em U (Alma do perfil)

Ant = 7,62 . 0,3 = 2,28 cm² (rasgamento em U)

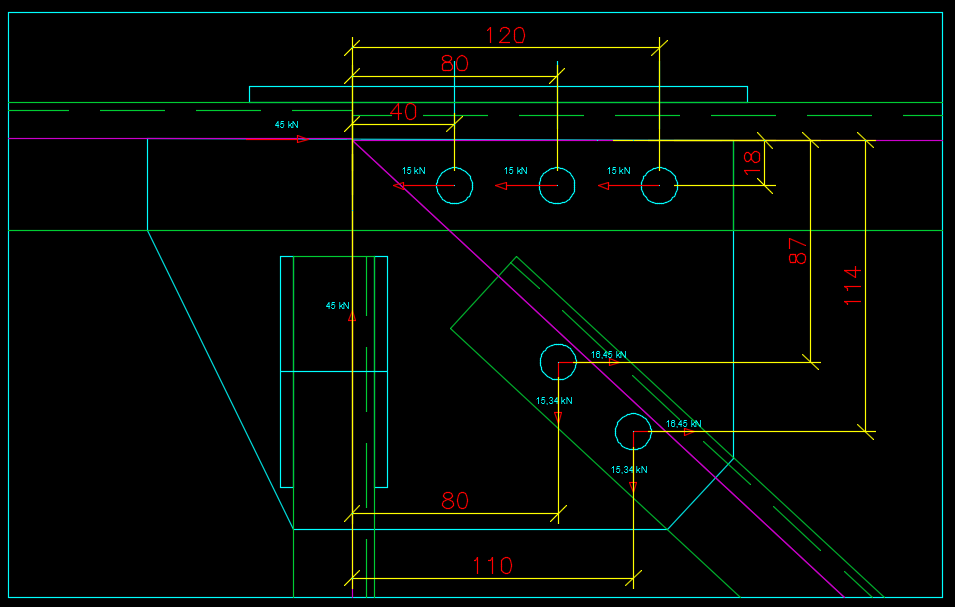
Anv = (2 . 4 . 0,3) = 2,4 cm² (Rasgamento em U)

Verificação para rasgamento em L (Aba do perfil)

Ant = 3,6 . 0,3 = 1,08 cm² (rasgamento em L)

Anv = ( 8 . 0,3) = 2,4 cm² (Rasgamento em L)

Verificação da Chapa Gousset



Tensões locais na chapa (t= 4,76mm)

Espessura da chapa gousset considerando aba livre compacta

Como a aba disponível não foi compacta, proceder com o cálculo de flambagem local

Verificação da cortante na chapa

Tensão atuante = 32,9/(0,476 . 22,9)=3,01 kN/cm²

Pressão de contato nos furos da diagonal

Nt,Sd = 45/2 = 22,5 kN / parafuso

Esmagamento:

Como o maior esforço de contato entre a chapa e a aba do banzo é 15 kN (45/3) a verificação se cumpre também para esses furos

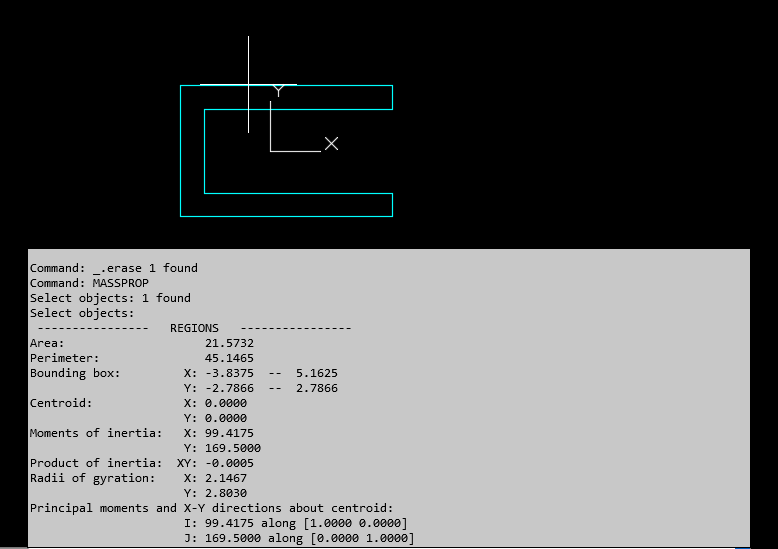
Anv = (2 . 2,6 + 2,2 ) . 0,476 = 3,52 cm² (Rasgamento em L)

Ant = 1,1 . 0,476 = 0,52 cm² (Rasgamento em L)

Maior esforço axial = 36,5 x 0,21 = 7,66 < 45 kN- Adotar 45 kN

Verificação da solda de filete da chapa com o banzo

Perimetro = 3,6 + 2.8 = 19,6



Tensão máxima devido ao Momento Torsor

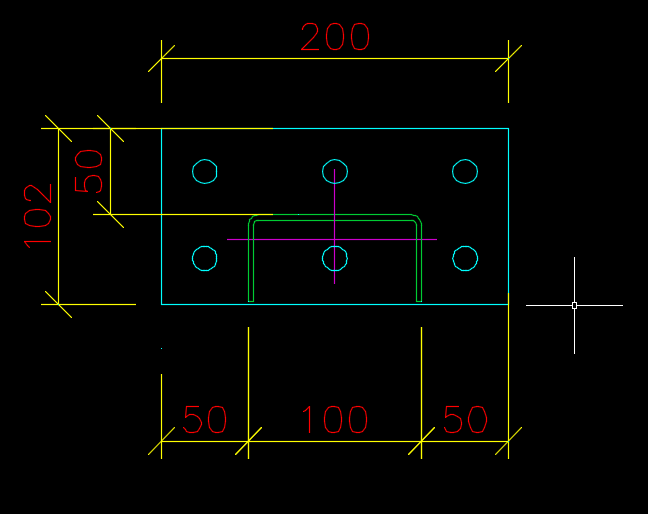
Esforços resultantes

Fx = 32,90/19,6 = 1,68 + 0,43= 2,11 kN

Fy = 14,32 / 19,6 = 0,73 + 0,80 = 1,53

Verificação da solda da cantoneira

Verificação da união de chapa de topo do banzo superior da treliça principal



Determinação do diâmetro dos parafusos.

Nt,Sd = 91,2 / 6 = 15,2 kN

Adotar Diam. ½ ASTM A325

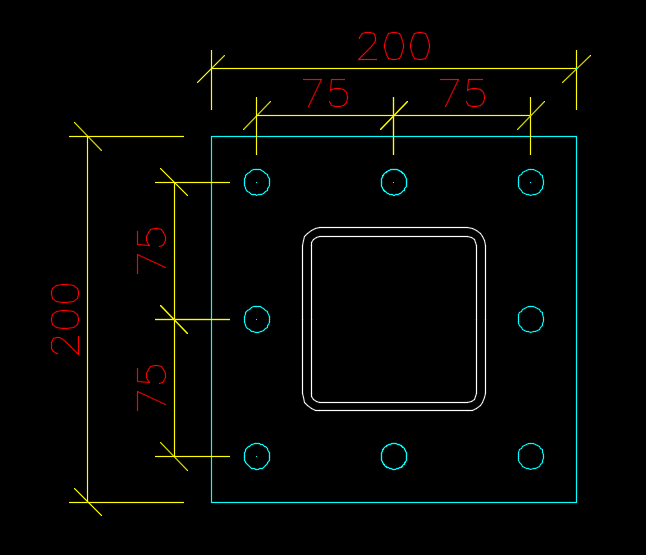
Diâmetro da chapa em função da compressão:

Verificação à tração:

Verificação do comprimento de solda mínimo entre o banzo superior e a chapa de cabeça

Dw mínimo para 16mm de comprimento de filetes

Dimensionamento do flange do banzo inferior da treliça



Determinação do diâmetro dos parafusos.

Nt,Sd = 100,1 / 8 = 12,51 kN

Adotar Diam. ½ ASTM A325

Espessura da chapa em função da compressão:

Verificação à tração:

Verificação do comprimento de solda mínimo entre o banzo superior e a chapa de cabeça

Dw mínimo para 382mm de comprimento de filetes (Perímetro do tubo)

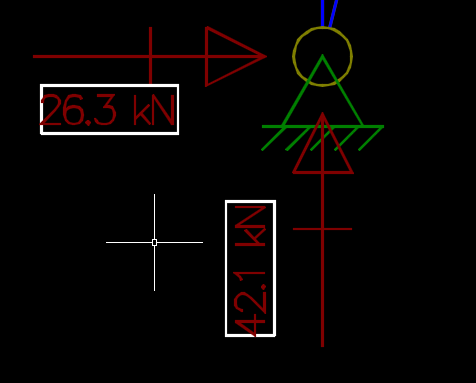
**5.4 – Dimensionamento das placas de base**

**5.4.1 – Dimensionamento das placas de base do pórtico típico**

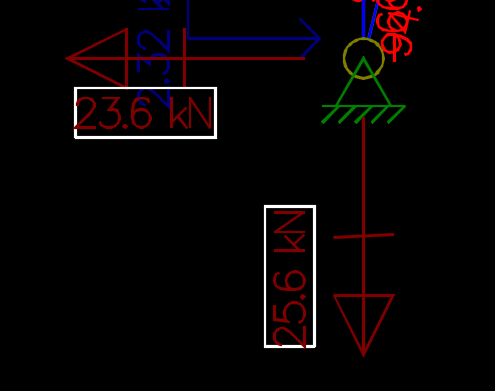
Dimensionamento dos Chumbadores

Hipóteses mais severas

CP+SC



Cp+V90 (Cpi +0,00)



Diâmetro necessário para combinação CP + SC

Diâmetro Necessário para combinação CP + V90 (Cpi 0,00)

Adotaremos Barra rosqueada Diam. 3/4’’ (19,05mm) SAE 1020

Profundidade do embutimento do chumbador (Conforme Steel Design Guide 1 – AISC)

L = 12 . D = 12 . 19,05= 228,6mm

Dimensionamento da placa de base à compressão (CP + SC) – Considerando Fck 20 MPa

Verificação à tração: (CP+V90 cpi +0,00)

Verificação da pressão de contato no furo

Esmagamento:

Verificação à ruptura da seção líquida

Verificação ao escoamento da seção bruta

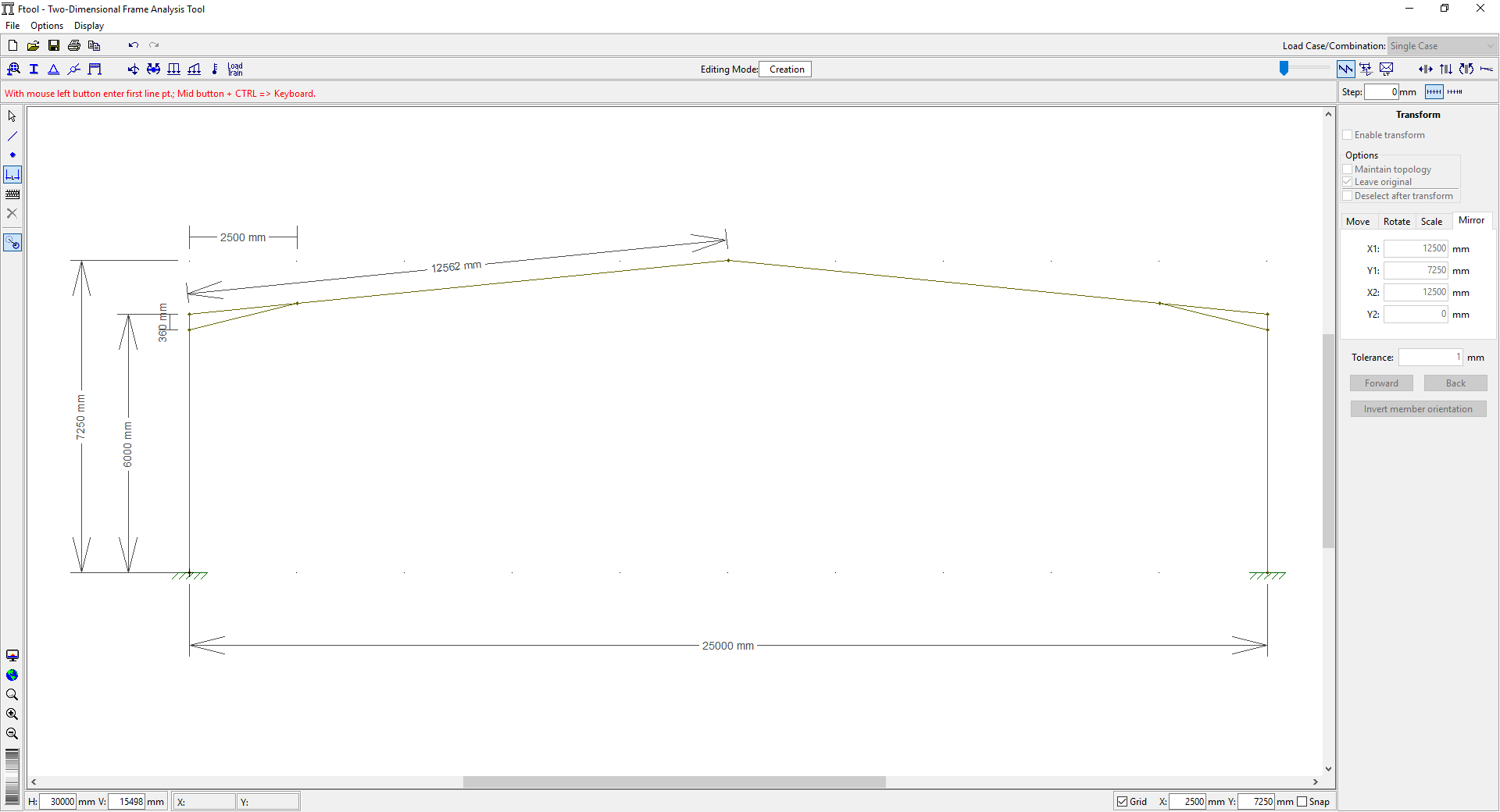
Podemos adotar Base de pilar t = 16mm, porém adotaremos sobreespessura de 3mm devido à corrosão. Portanto adotaremos chapa t = 19mm

Verificação da solda entre o perfil e o pilar

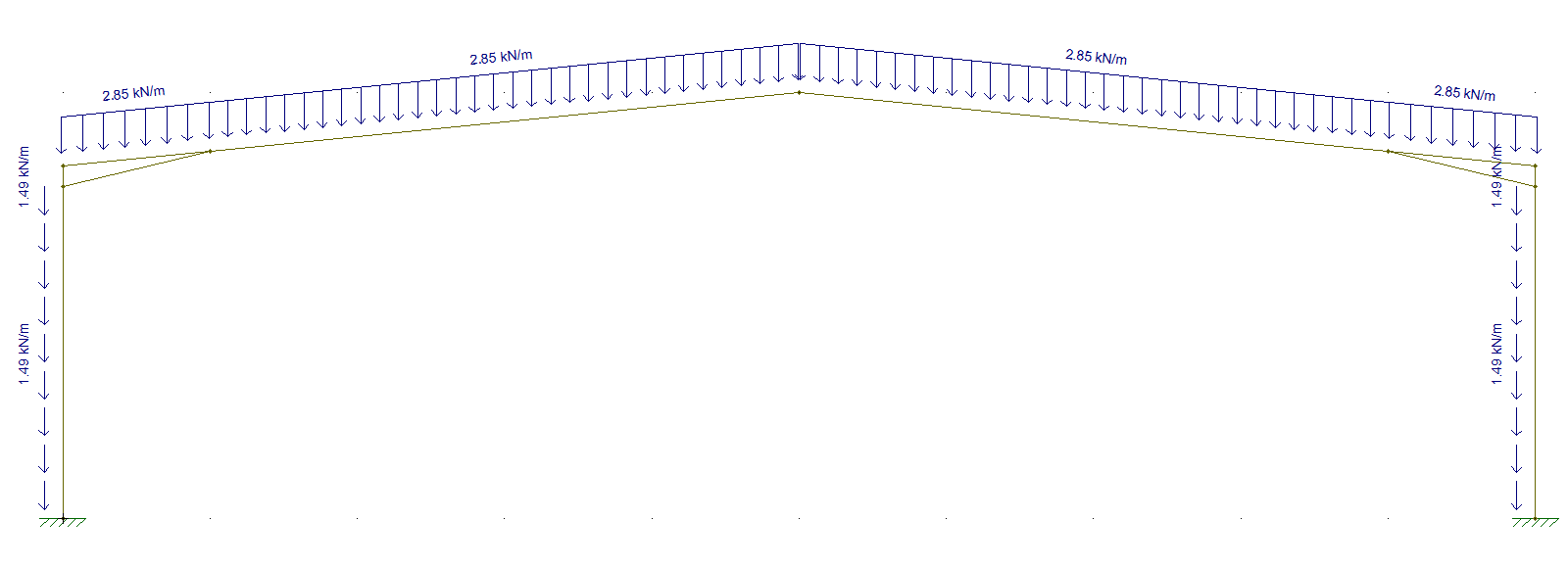
Considerando solda de filete

Esforço resultante máximo

**3. Modelamento estrutural (Ftool)**

****

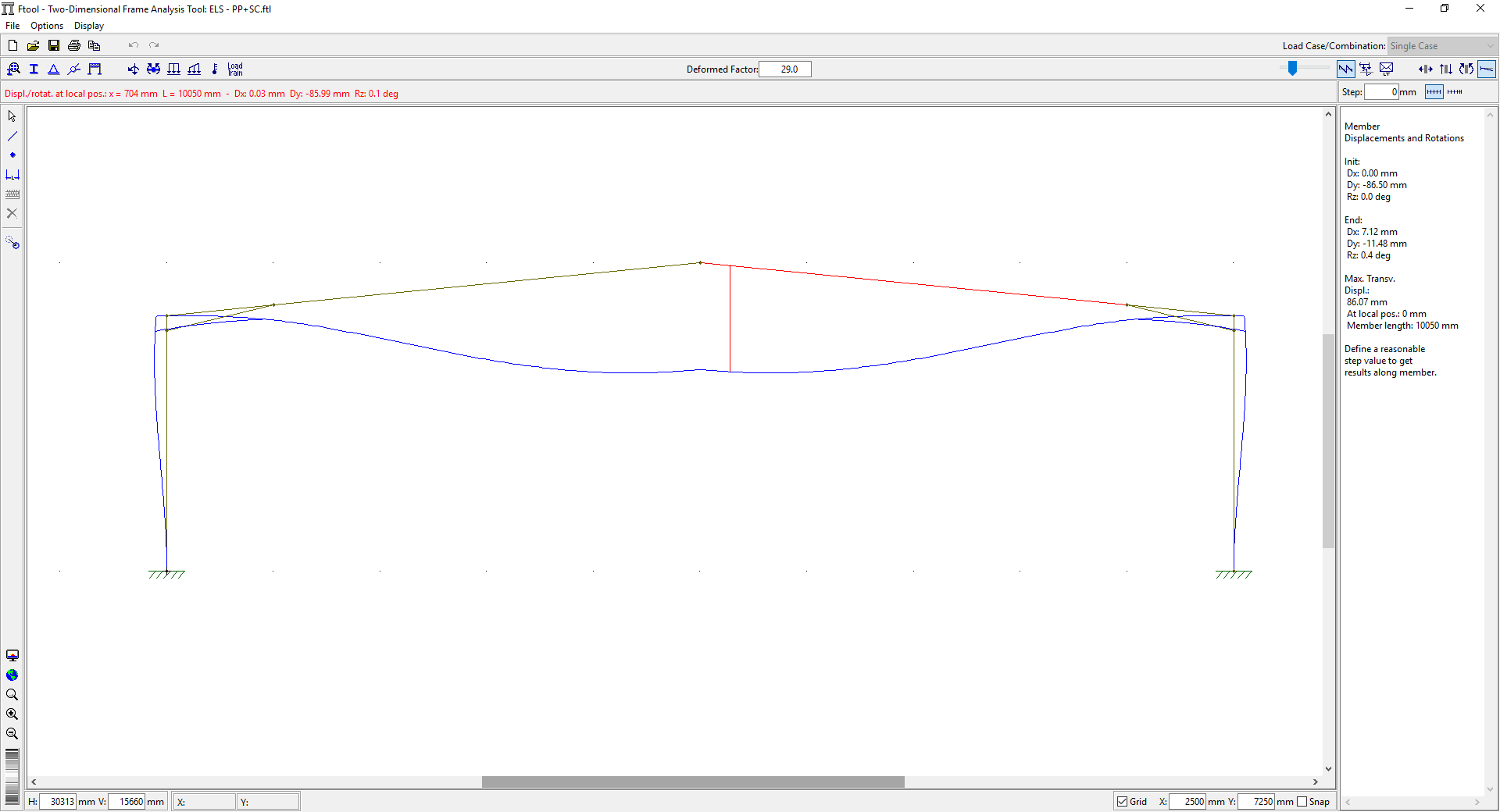
**Combinação CP + SC, verificação Estados Limites de Serviço**



Cargas na Cobertura:

PP+ SC = (0,11 + 0,05 + 0,25) x 6m + 0,39 = 2,85 kN/m

Pilares: PP+SC = (0,11 + 0,05) x 6 + 0,53 = 1,49 kN/m



Viga:

Flecha limite: L/250 = 25000/250 = até 100mm

Flecha atuante: 86,50 mm OK

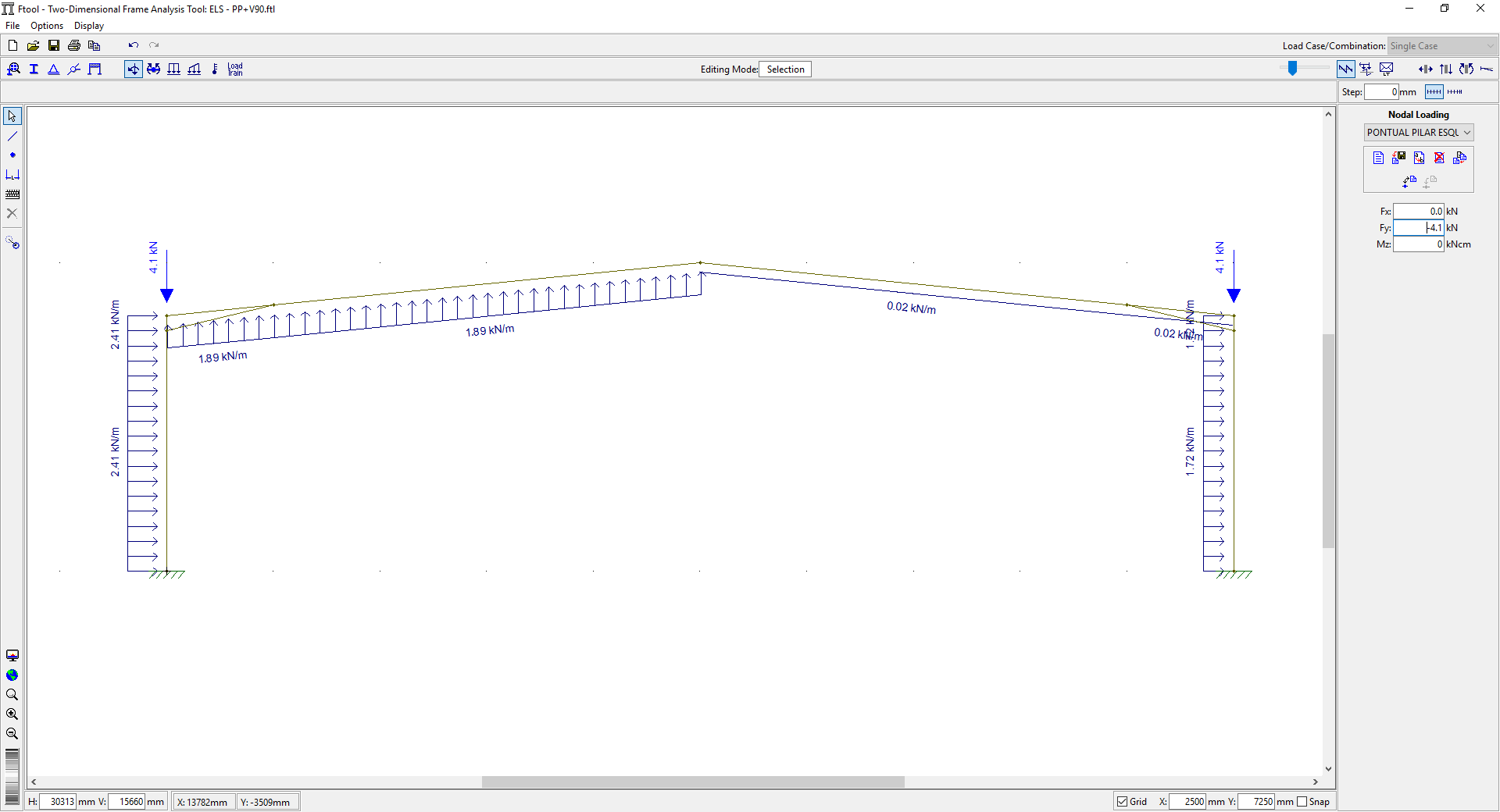
Pilar:

Flecha Limite: L/300 = 6000/300=20mm

9,36mm

OK!

**Combinação PP+ V90, verificação Estados Limites de Serviço**



Viga:

Flecha limite: L/250 = 25000/250 = até 100mm

Flecha atuante: 31,54mm

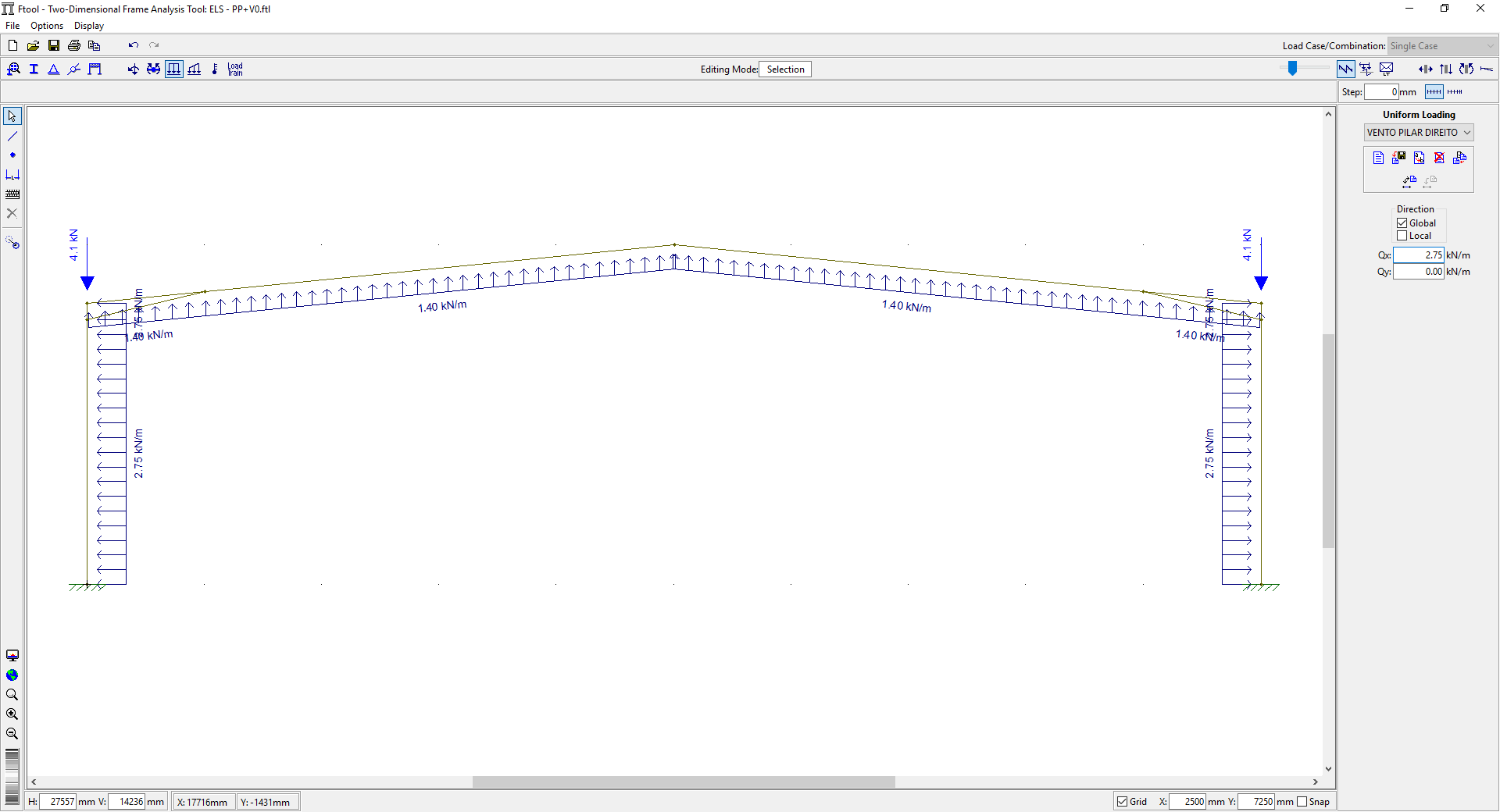
Pilar:

Flecha Limite: L/300 = 6000/300=20mm

3,80mm

OK!

**Combinação PP+ V0, verificação Estados Limites de Serviço**



Viga:

Flecha limite: L/250 = 25000/250 = até 100mm

Flecha atuante: 37,54mm

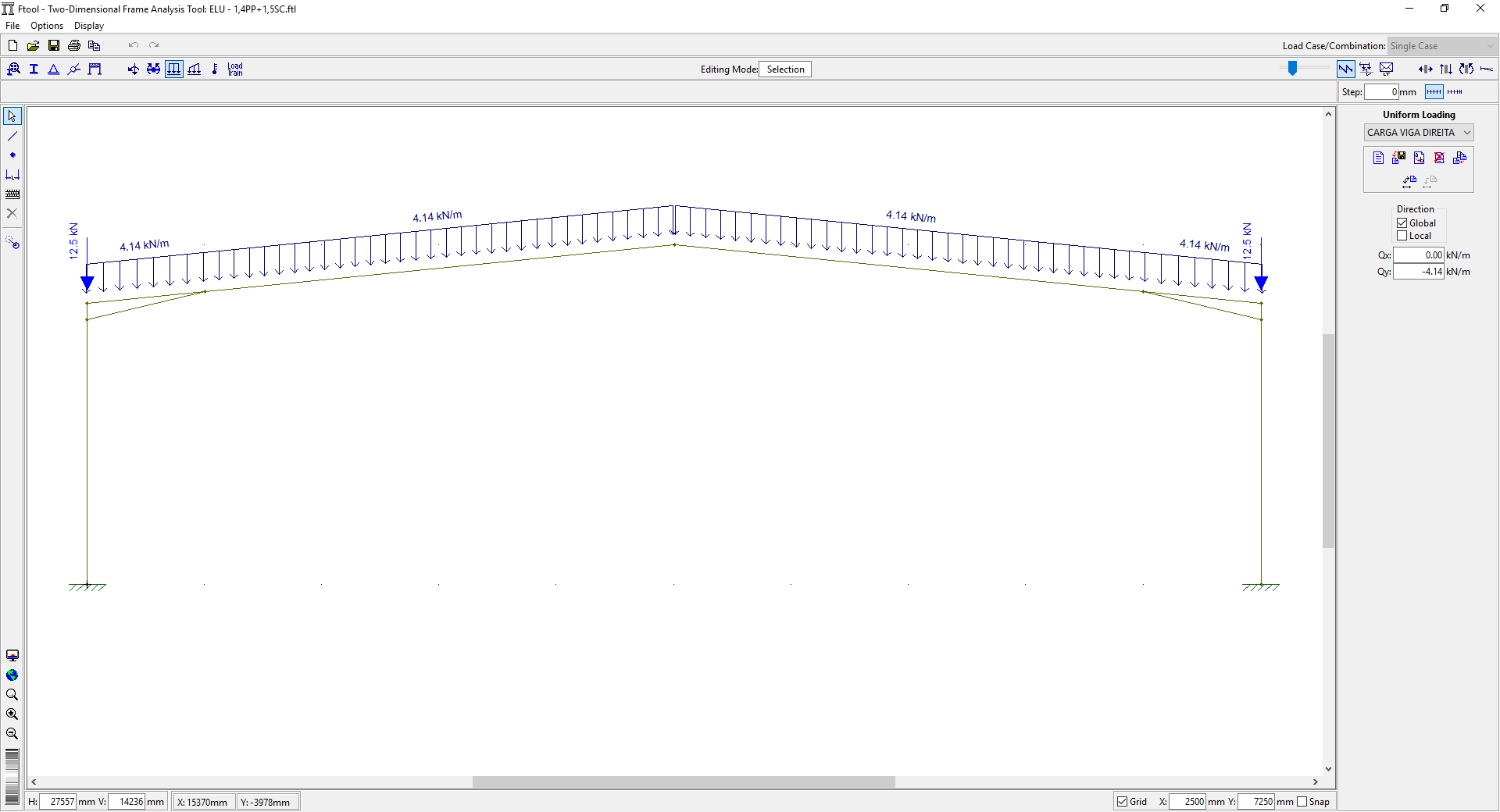
Pilar:

Flecha Limite: L/300 = 6000/300=20mm

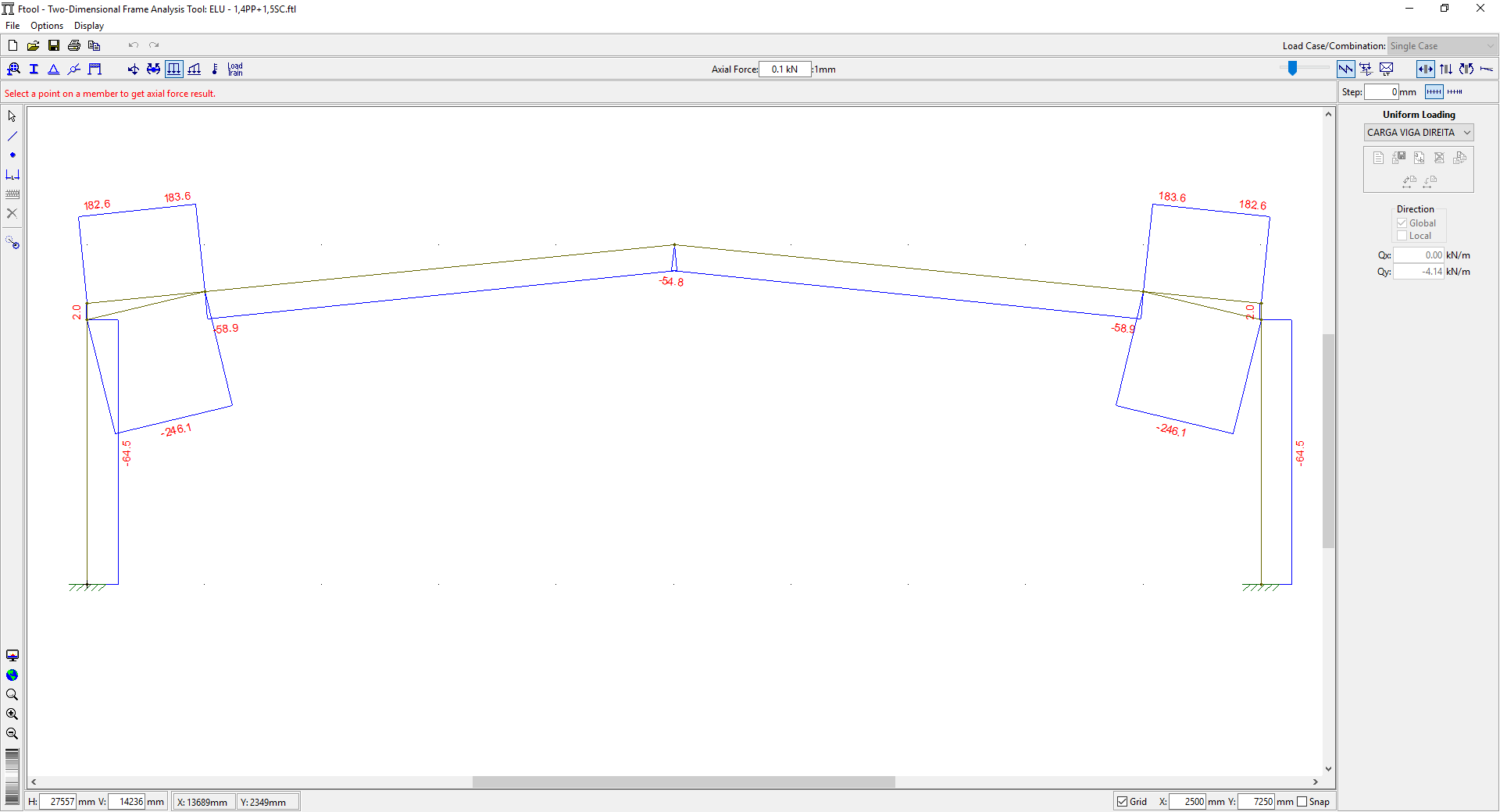
3,94mm

OK!

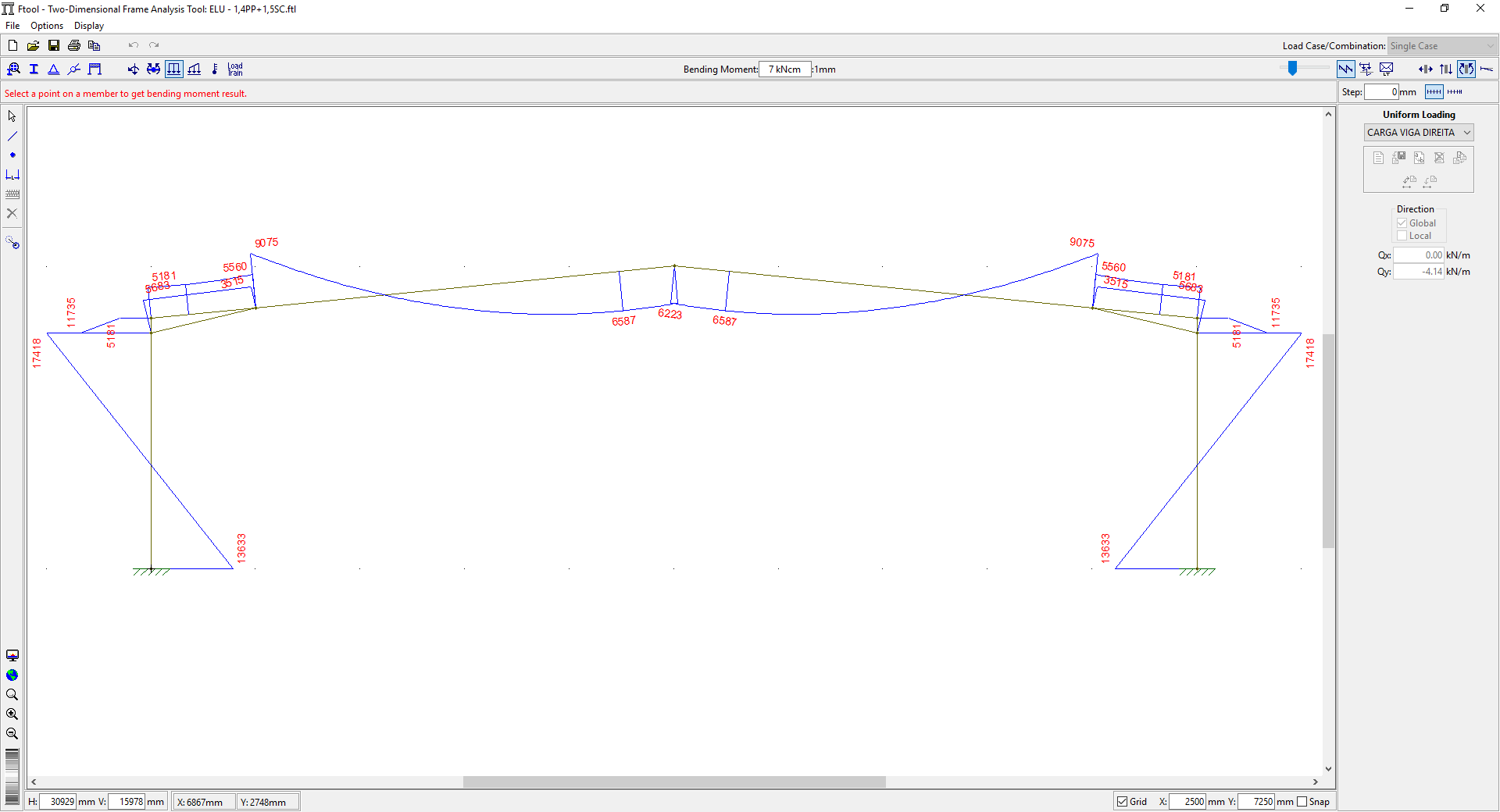
**Combinação 1,4PP+ 1,5SC, verificação Estados Limites Últimos**



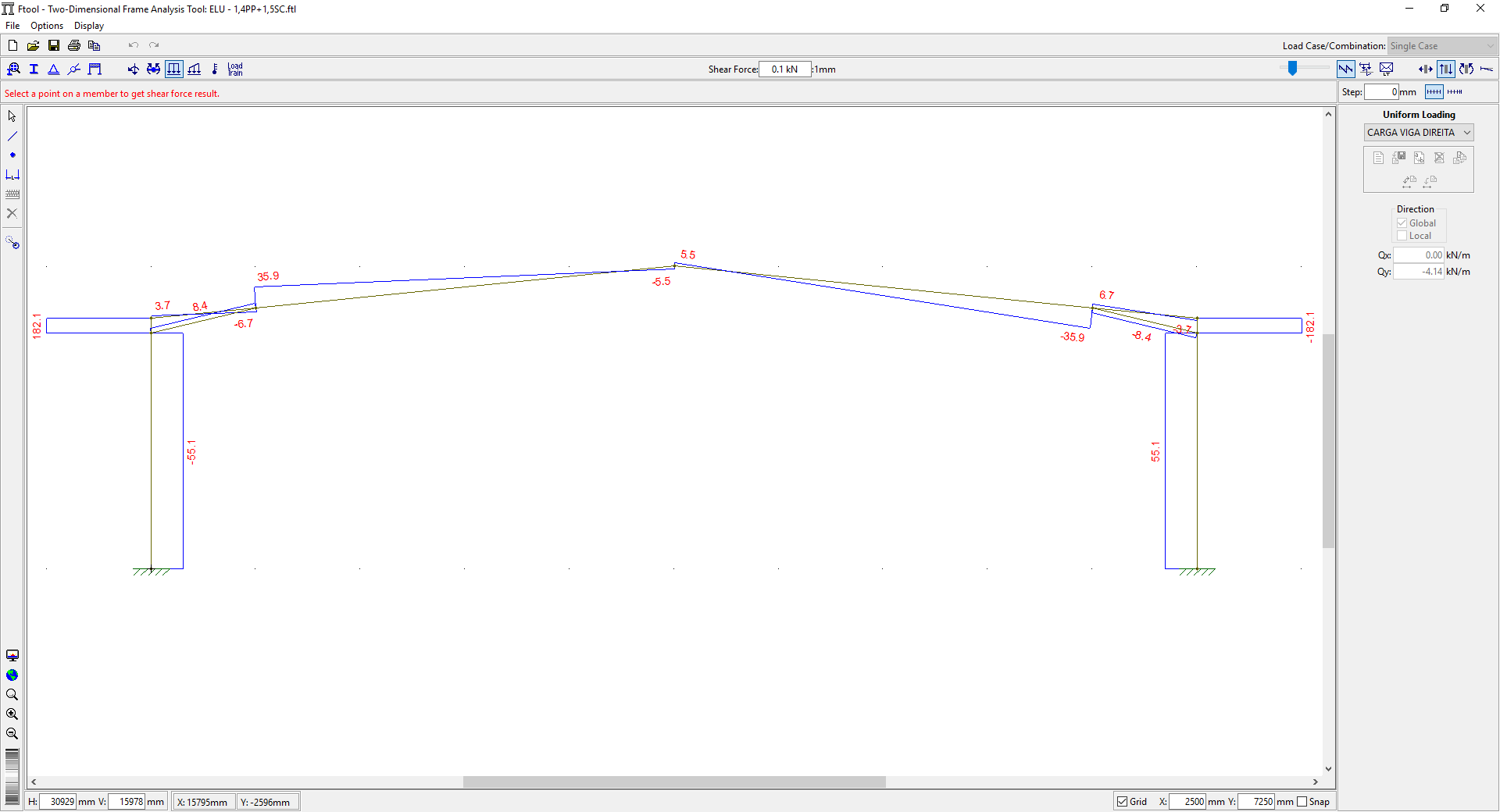
**Esforços axiais:**



**Momentos Fletores:**

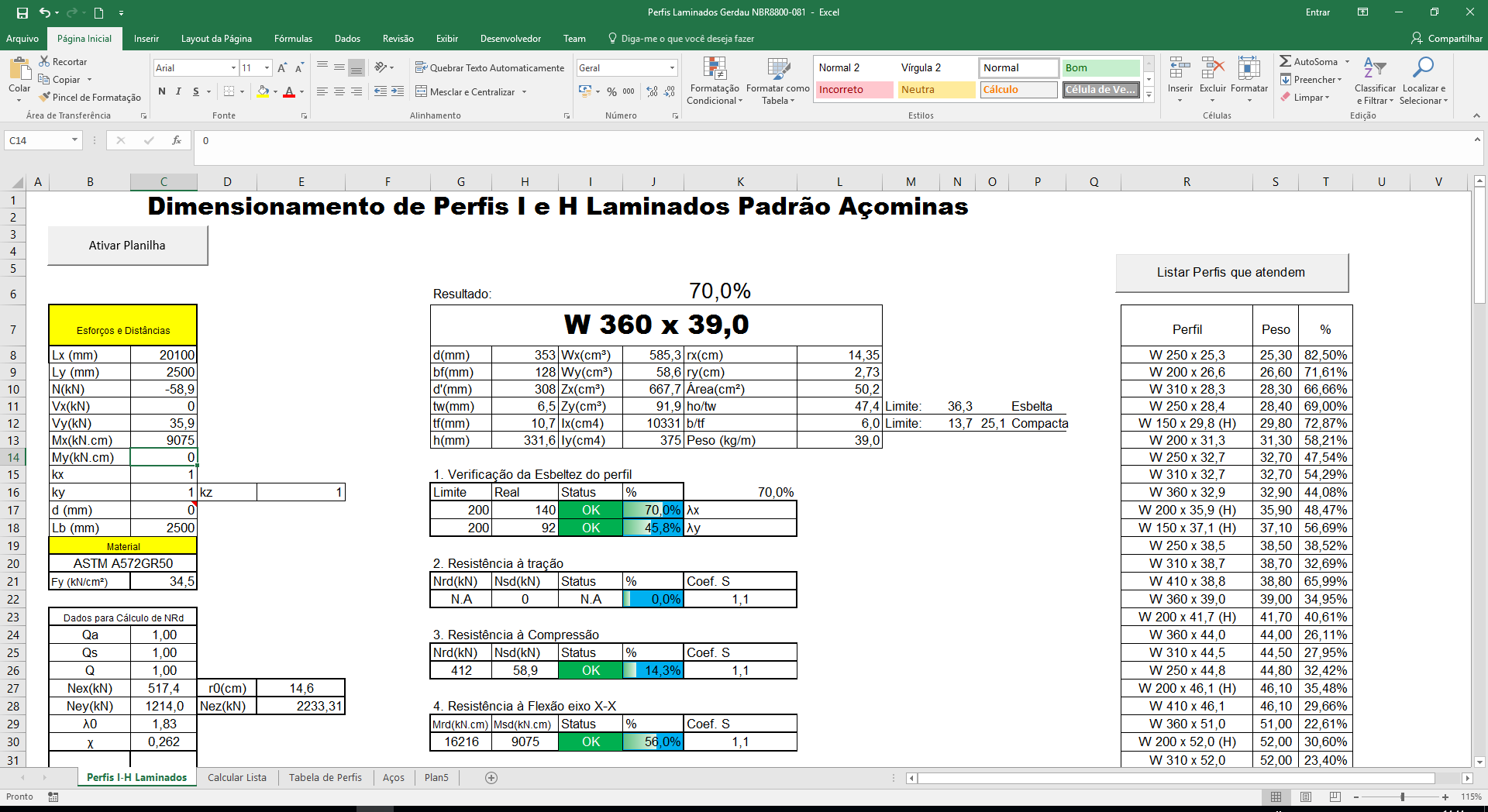


**Força Cortante:**



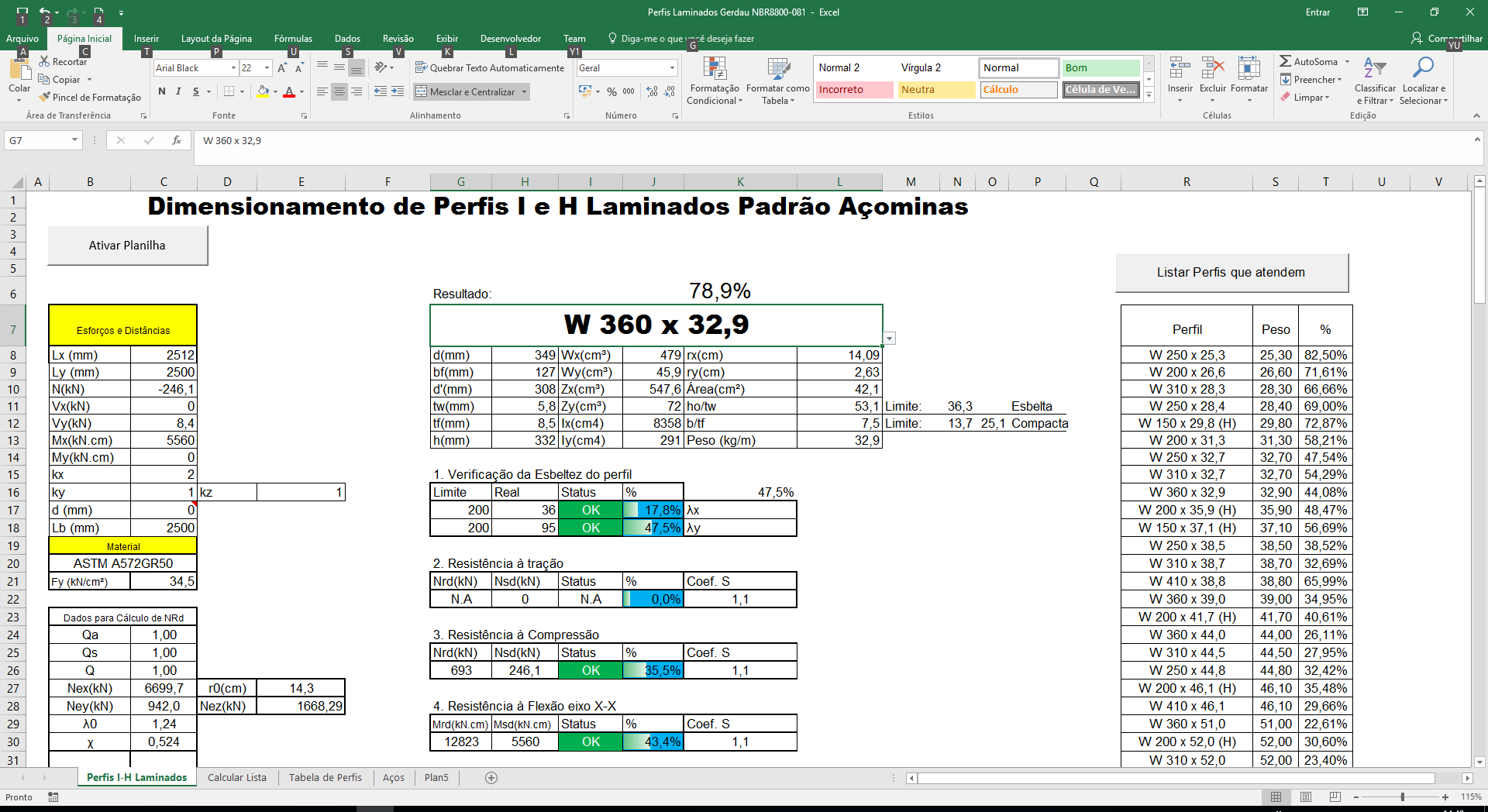
**4. Verificação dos pórticos aos ELU**

Verificação da Viga da Cobertura para 1,4PP+1,5SC:



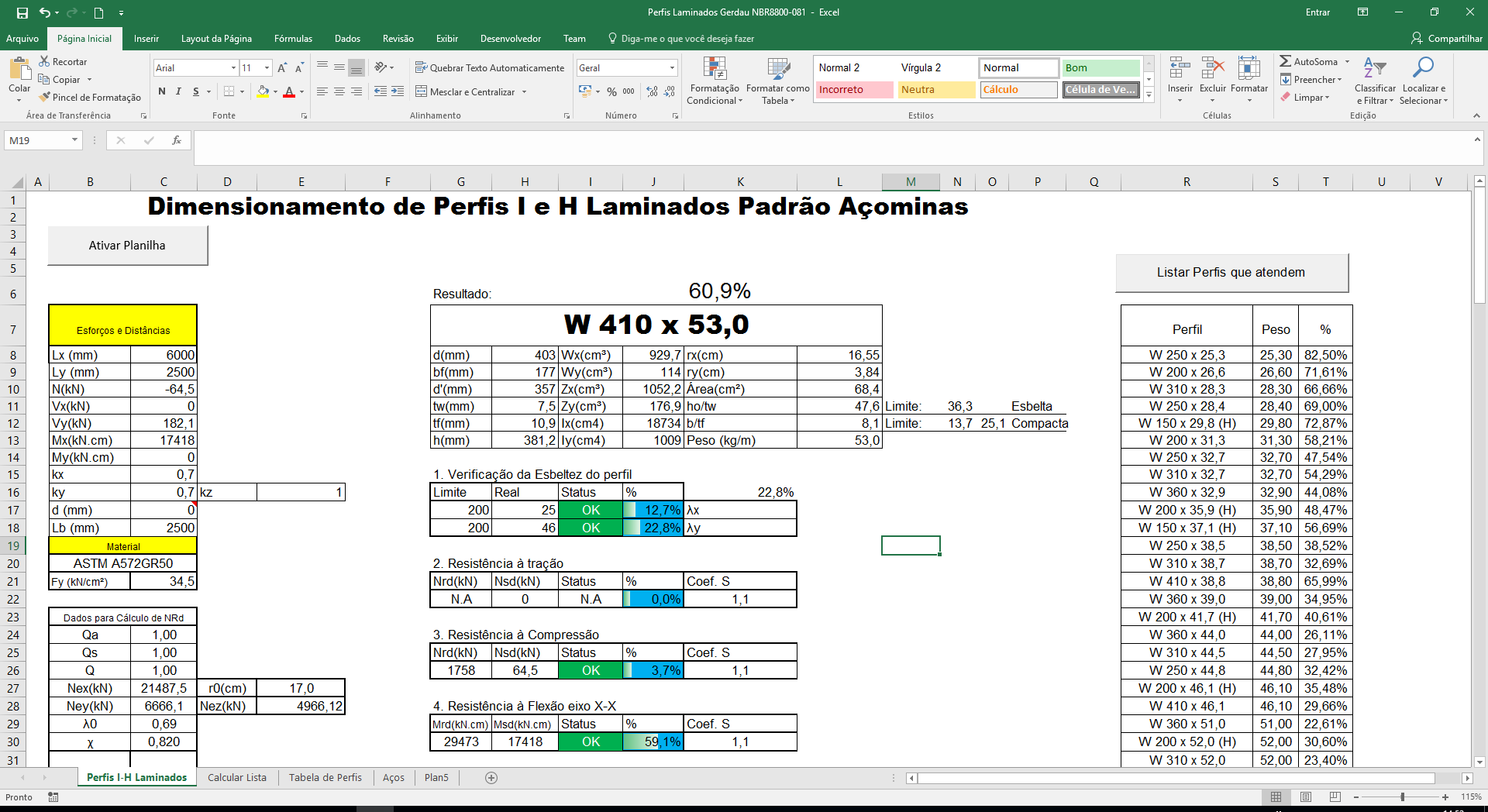
**PERFIL APROVADO PARA ESTA COMBINAÇÃO**

Verificação da Misula para 1,4PP+1,5SC:



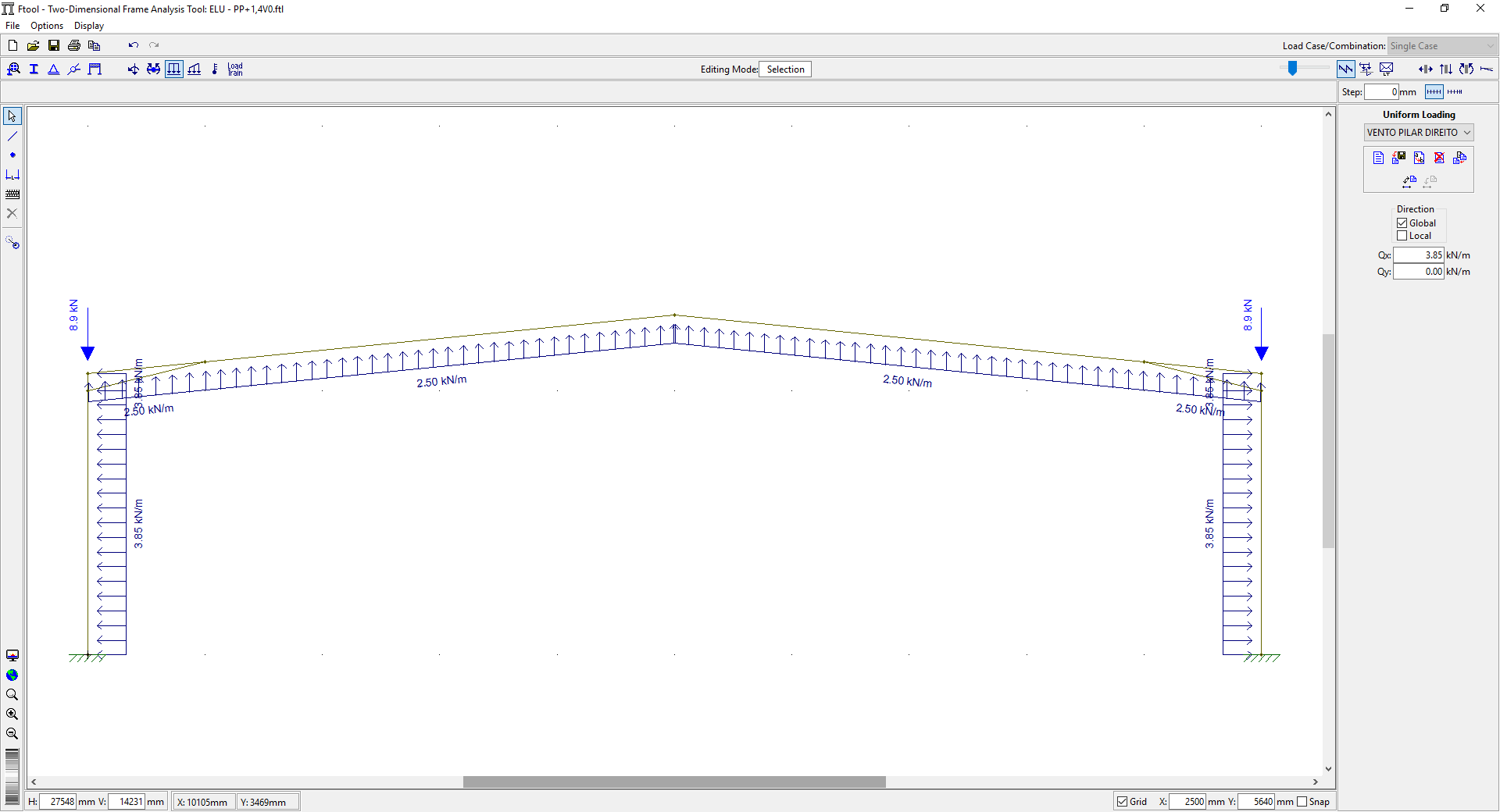
**PERFIL APROVADO PARA ESTA COMBINAÇÃO**

Verificação dos pilares para 1,4PP+1,5SC:

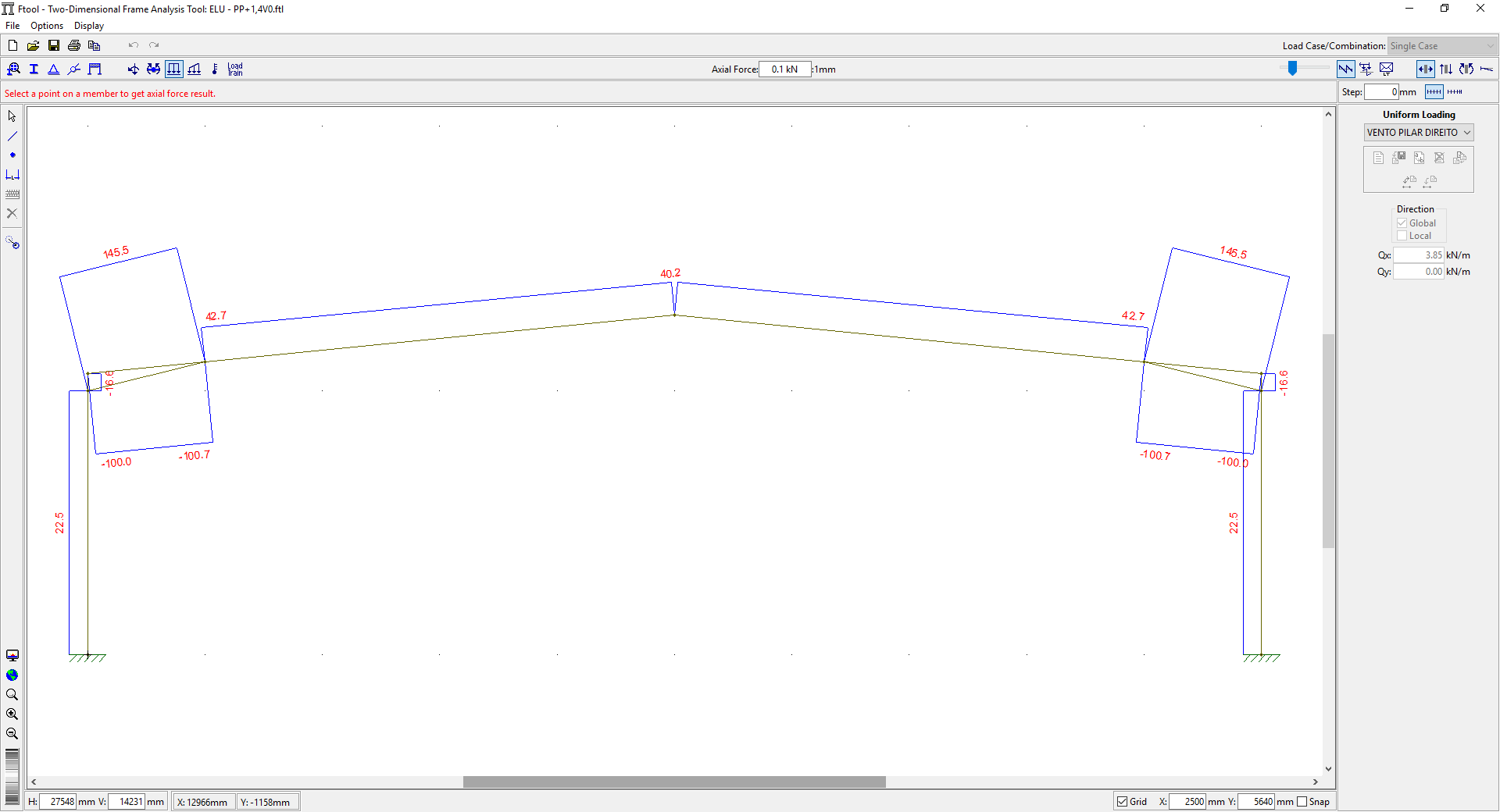


**PERFIL APROVADO PARA ESTA COMBINAÇÃO**

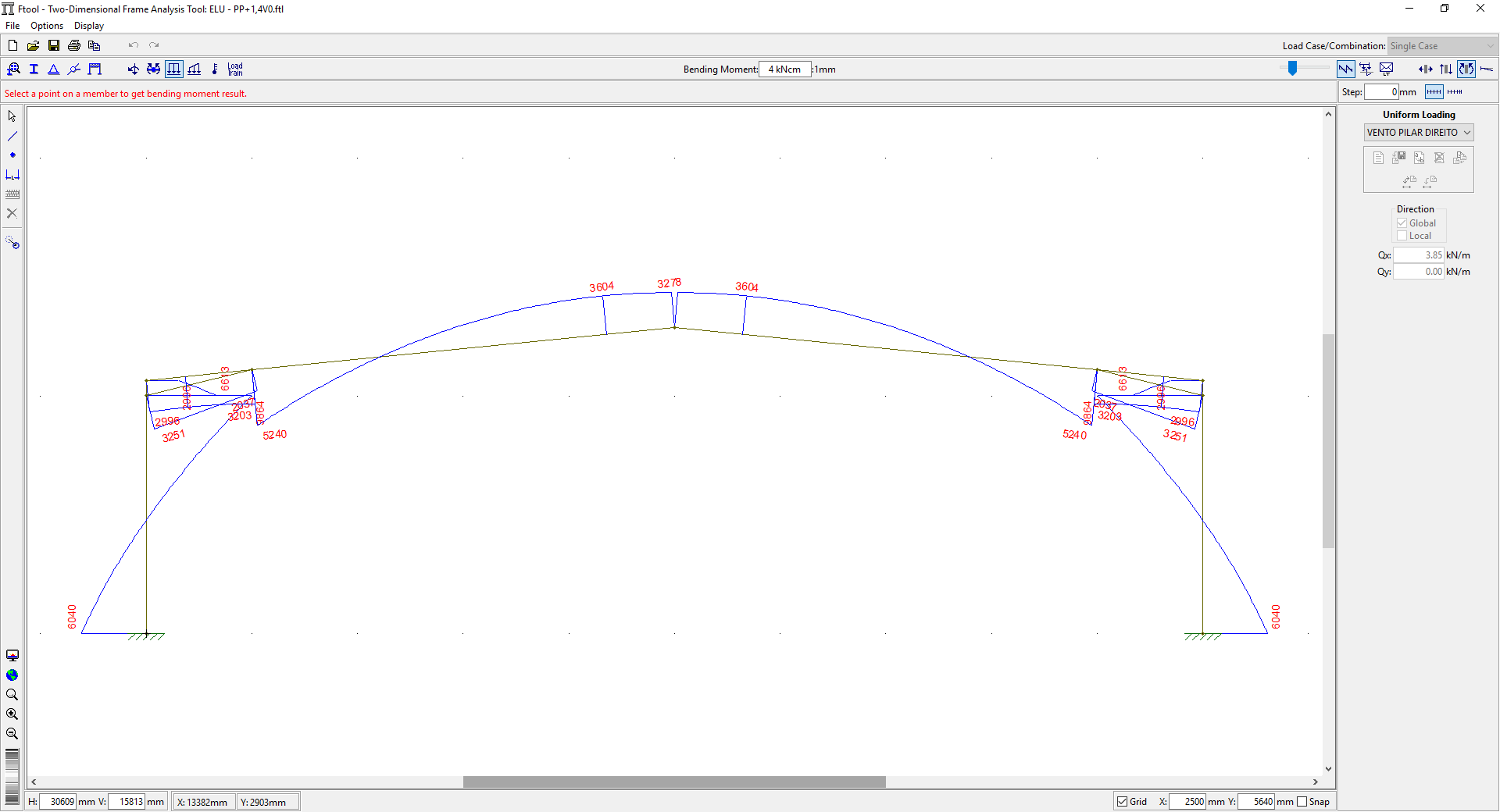
**Combinação PP+1,4V0, verificação Estados Limites Últimos**



Esforços axiais:



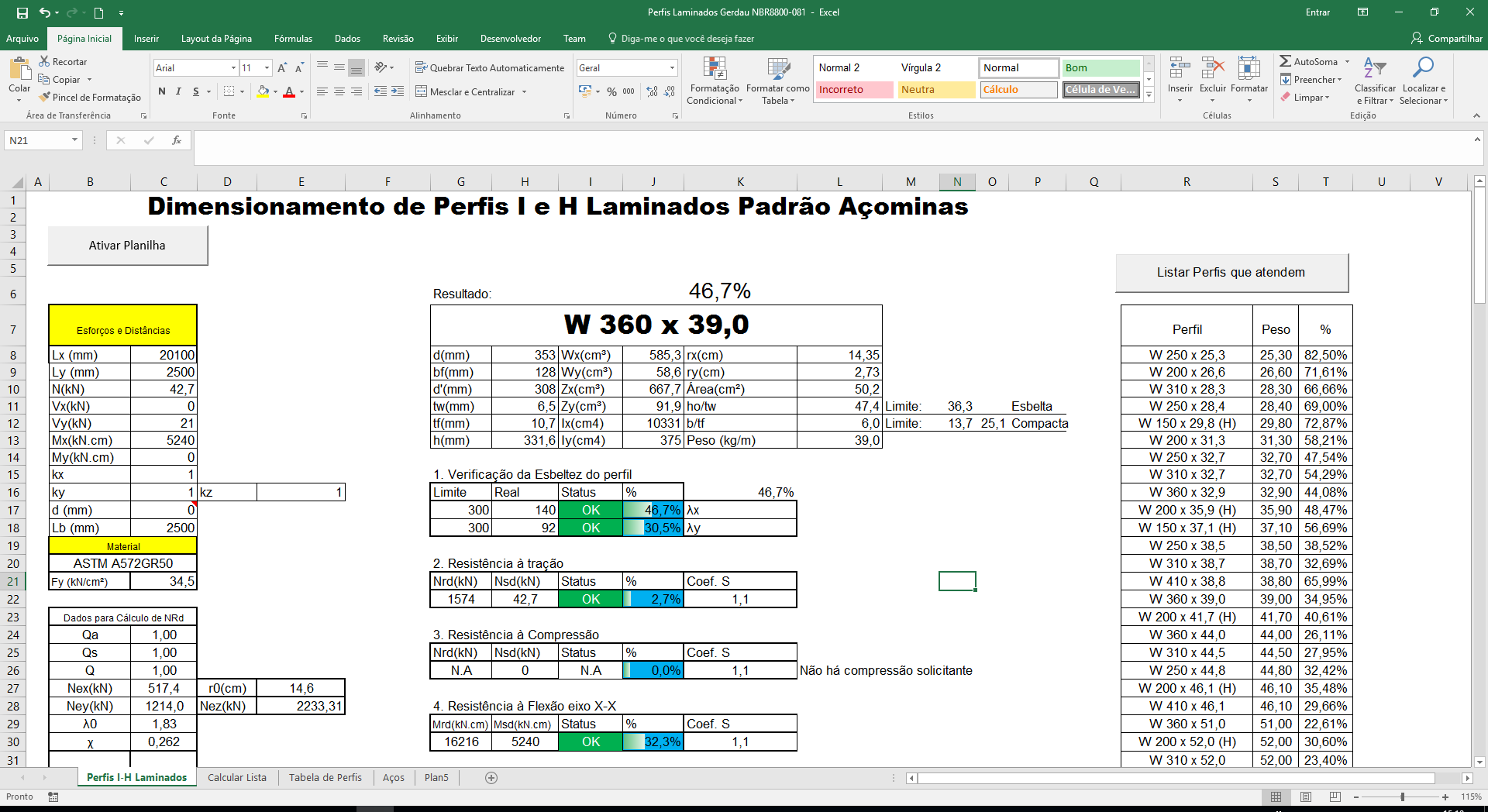
Momentos Fletores:



Esforços Cortantes:

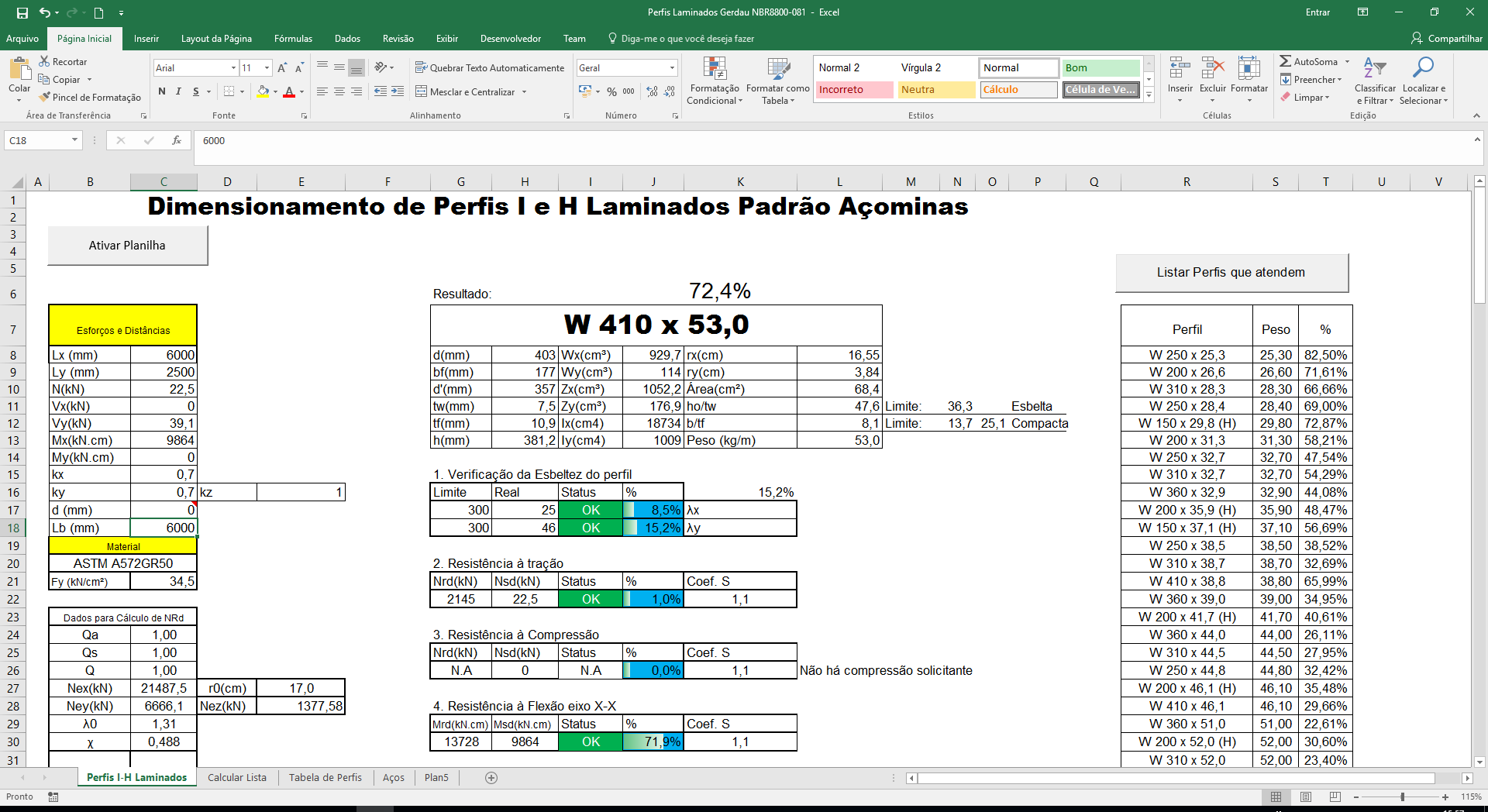


Verificação da Viga da Cobertura para a combinação PP+1,4V0



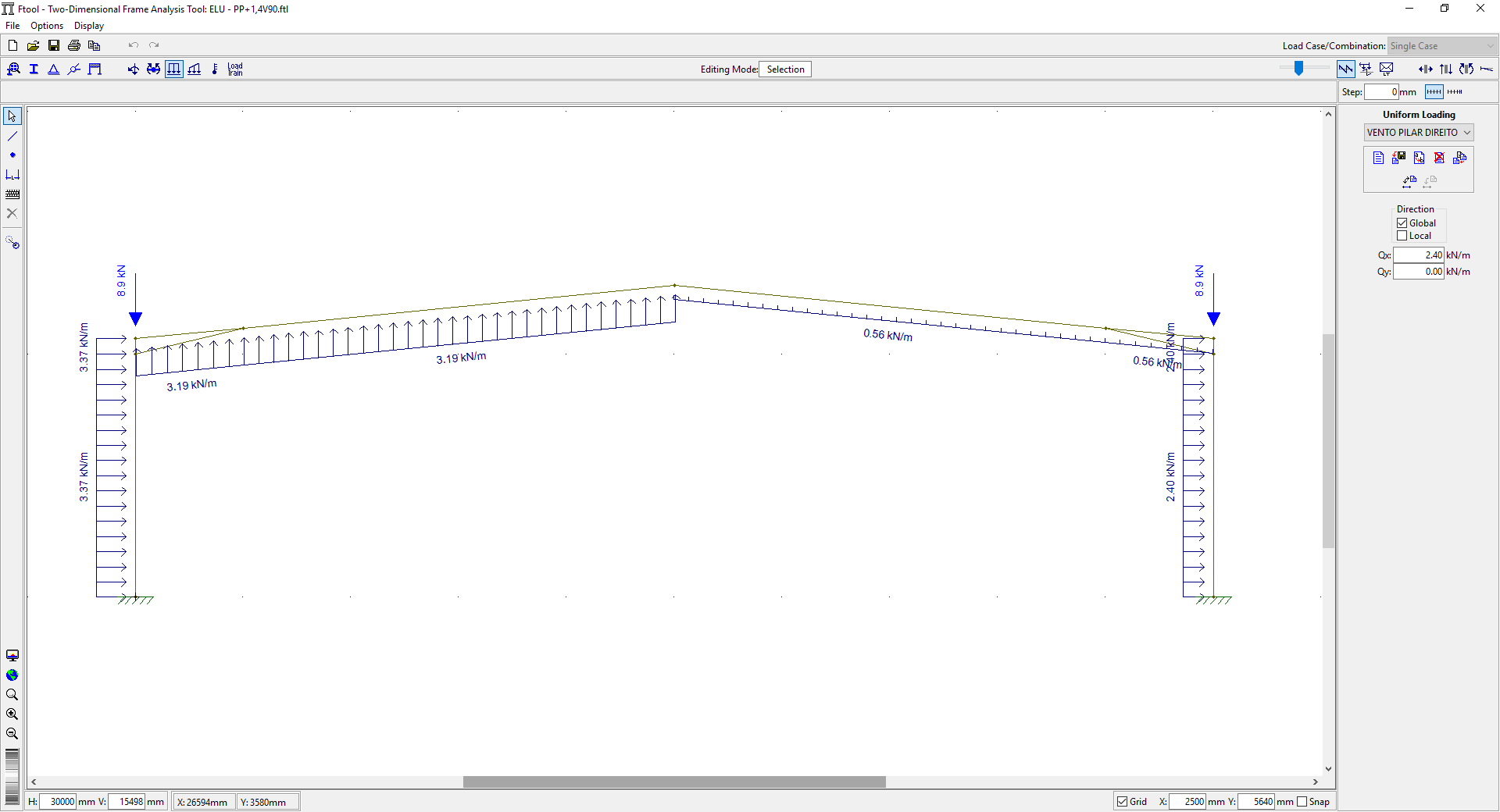
**Perfil provado para essa combinação**

Verificação dos pilares do pórtico para a combinação PP+1,4V0

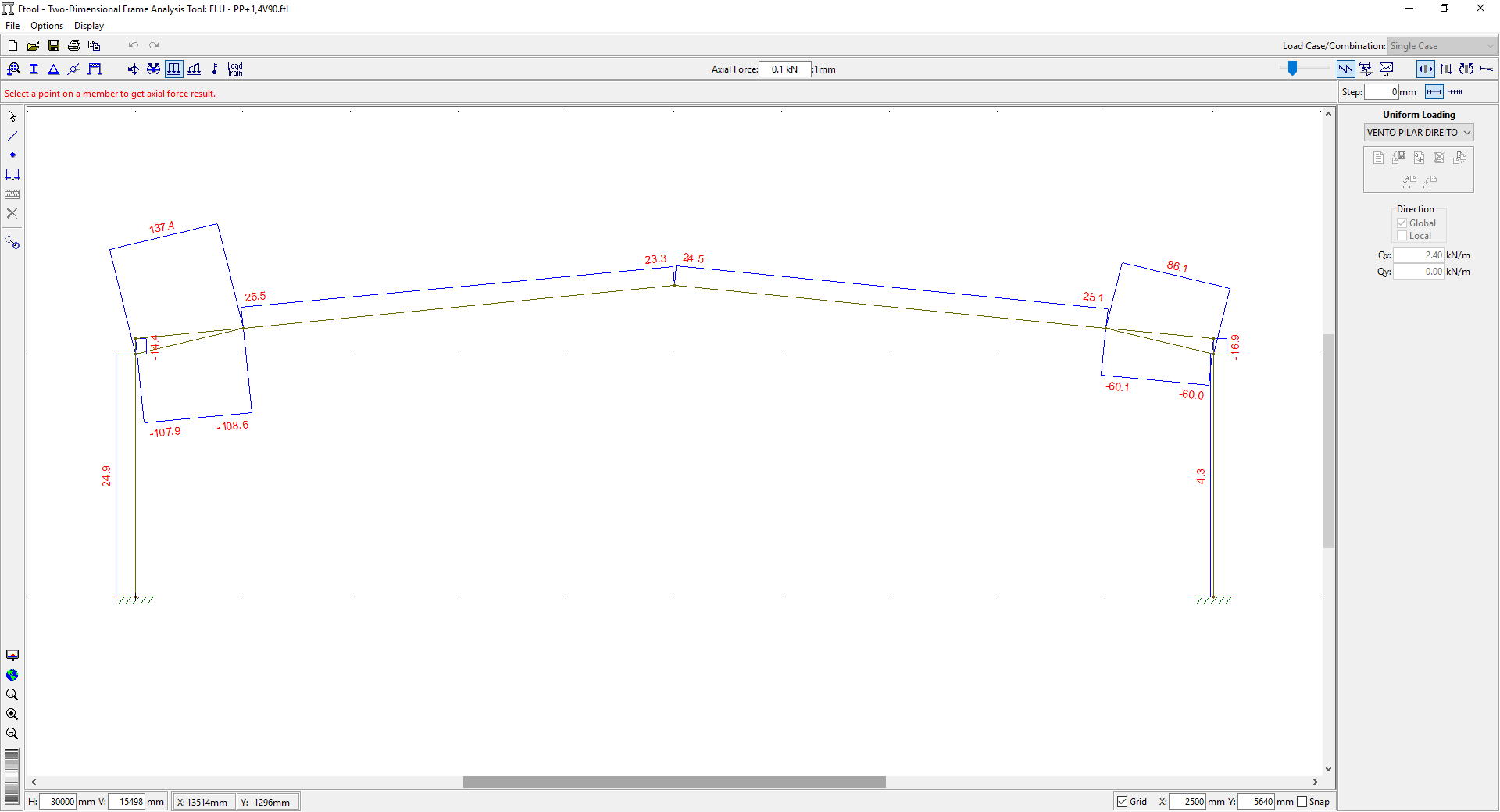


**Perfil provado para essa combinação**

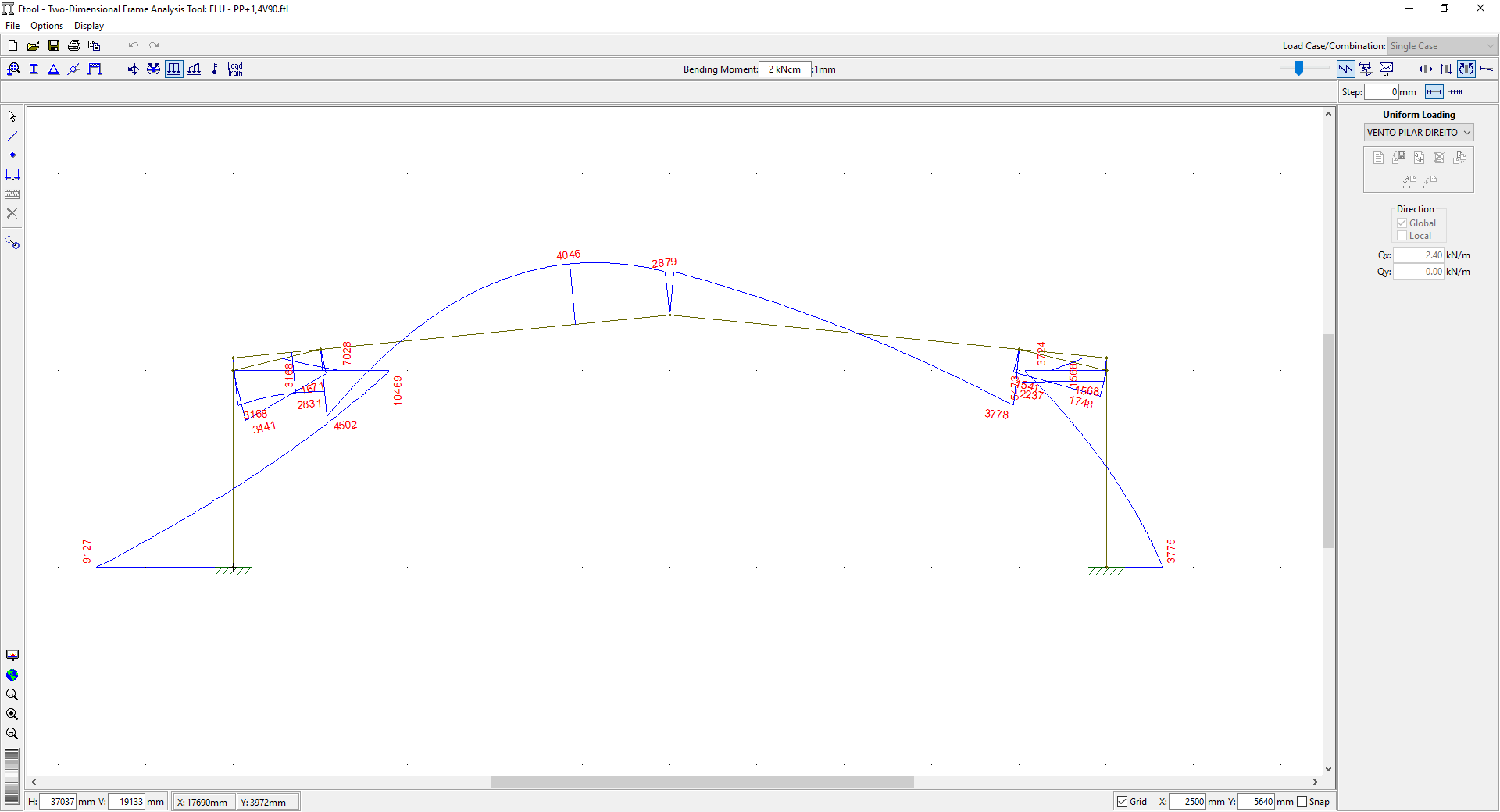
**Combinação PP+1,4V90, Verificação dos Estados Limites Últimos**



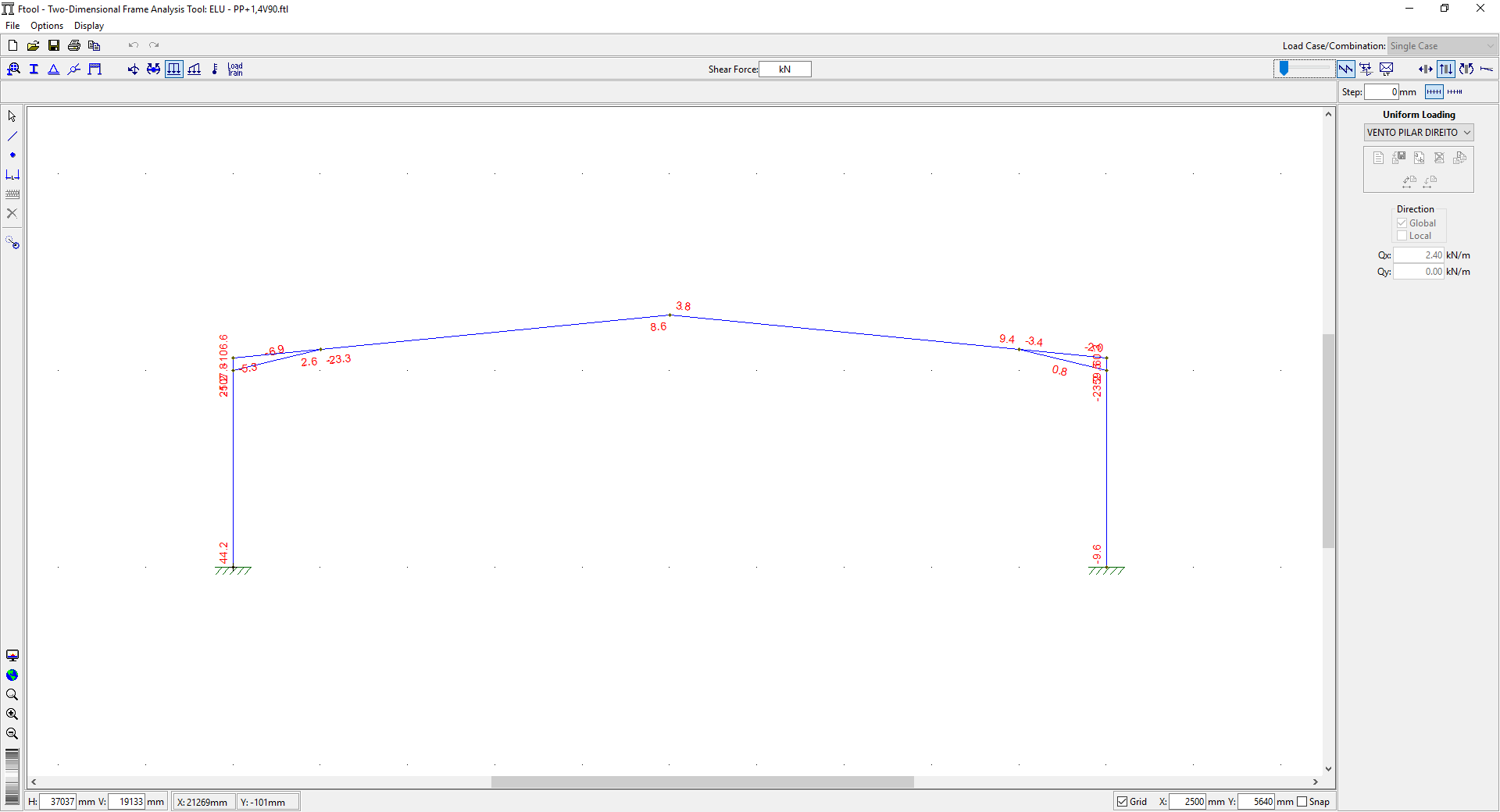
Esforços axiais



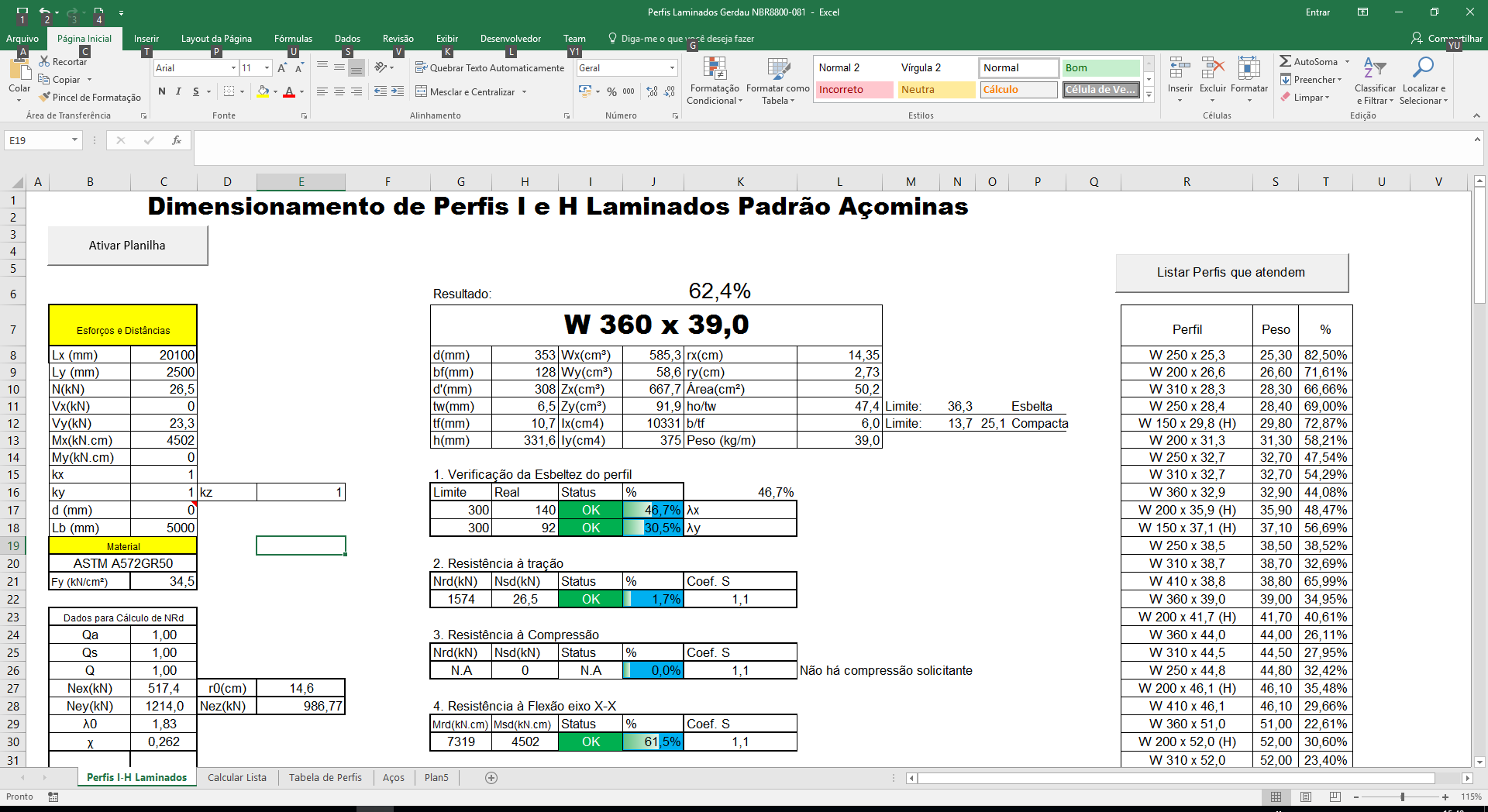
Momentos Fletores



Esforços cortantes



Verificação da Viga da cobertura à combinação PP+1,4V90



Observação importante: Faz-se necessário instalar contenção lateral na mesa inferior da viga da cobertura, no mínimo a cada 5000mm

**PERFIL APROVADO PARA ESSA COMBINAÇÃO, DESDE QUE SEJA ATENDIDA A OBSERVAÇÃO ACIMA**

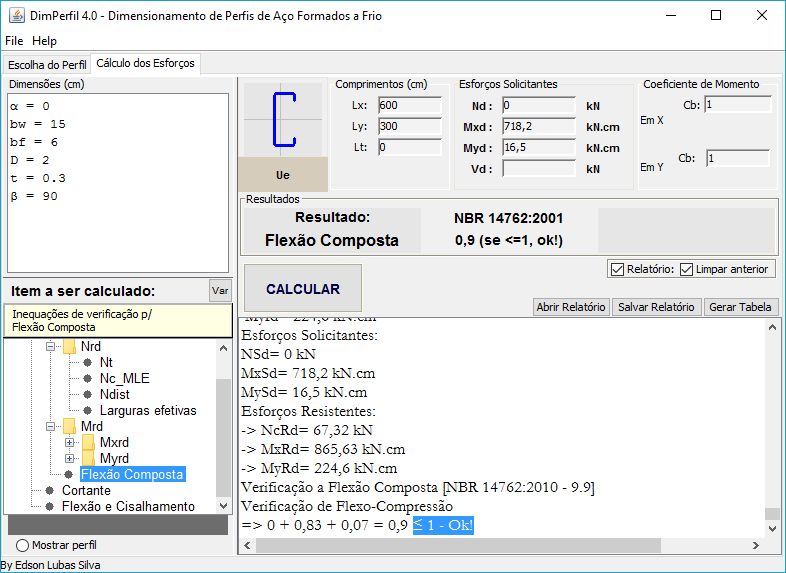
**Verificação dos pilares para a combinação PP+1,4V90**

****

**PERFIL APROVADO PARA ESSA COMBINAÇÃO**

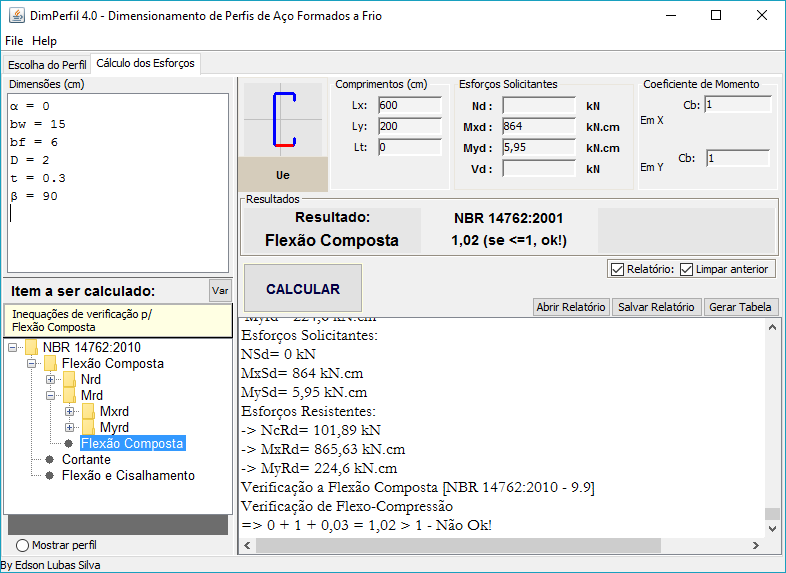
**5. Verificação das terças do fechamento lateral**

Verificação pelo DImPerfil 4.0



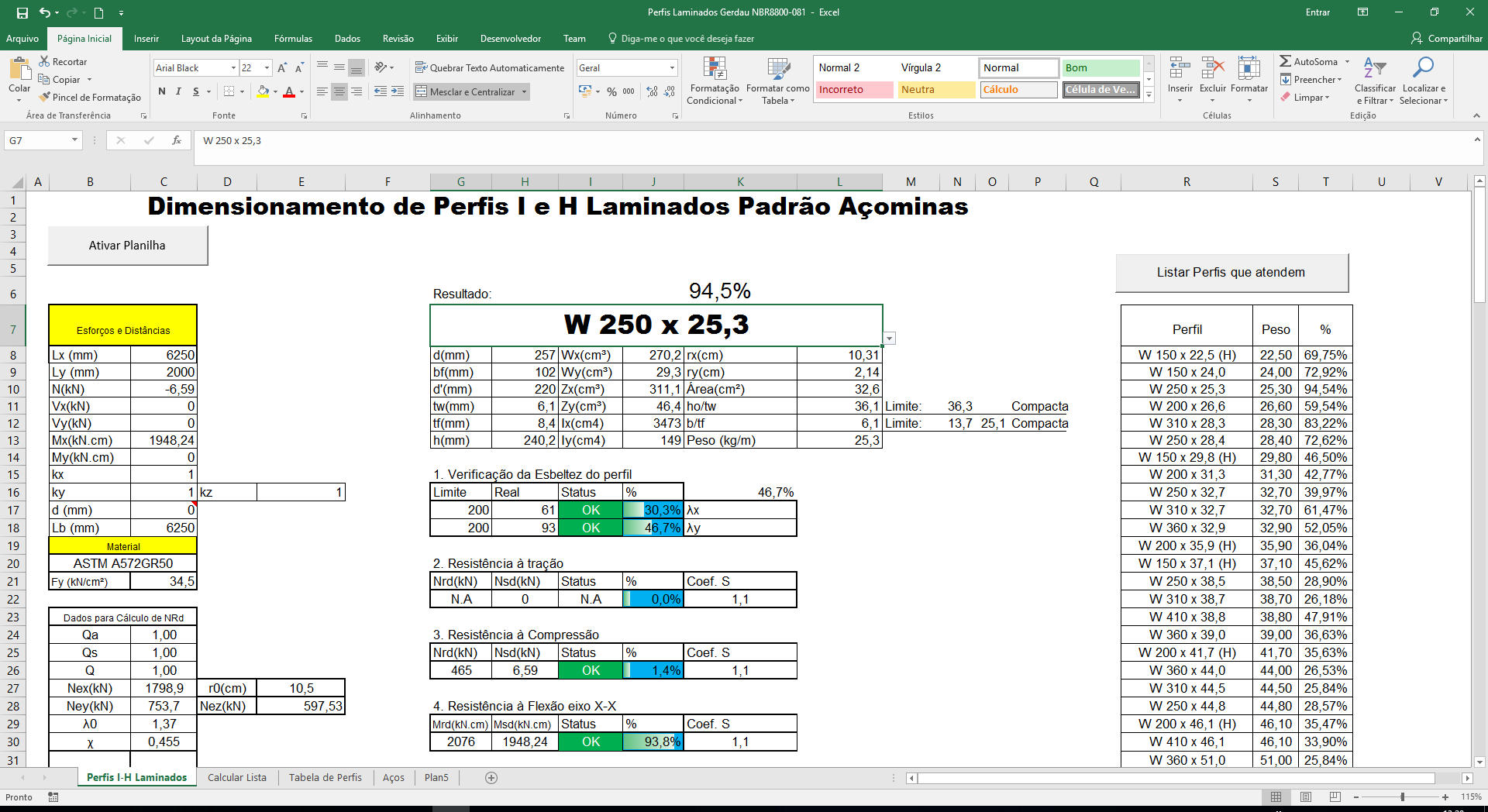
**OK PERFIL APROVADO PARA OS ESFORÇOS MÁXIMOS POSSÍVEIS**

**6. Cálculo das terças da cobertura:**



OBSERVAÇÃO: Apesar de a peça não ser aprovada por uma margem de 2%, será admitida no projeto em decorrência de não oferecer risco de ruína ou patologia em caso de atingir a carga crítica.

**7. Cálculo dos Pilares Frontais:**

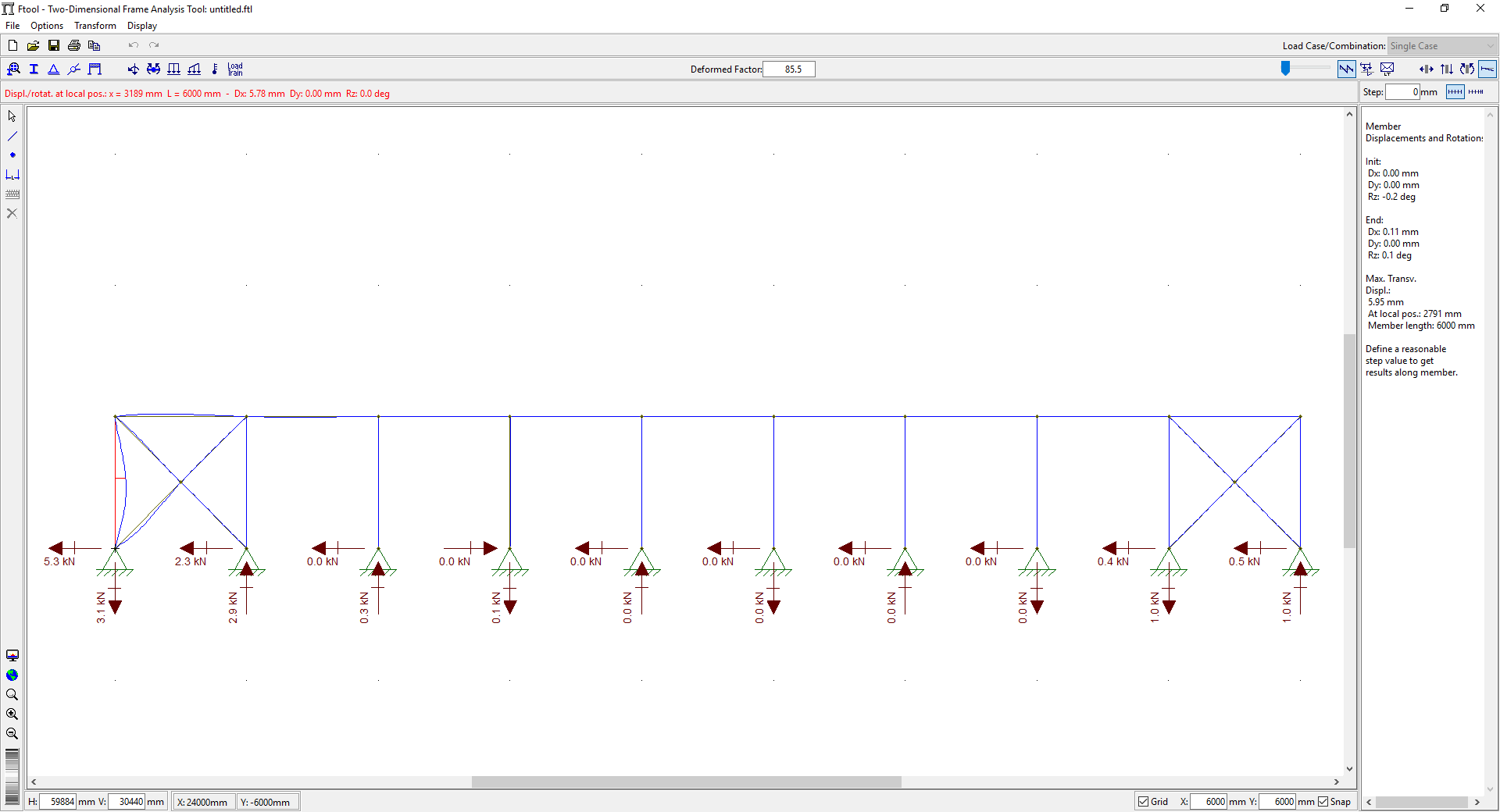
****

**PERFIL APROVADO PARA A COMBINAÇÃO**

**8. Cálculo dos contraventamentos Verticais**

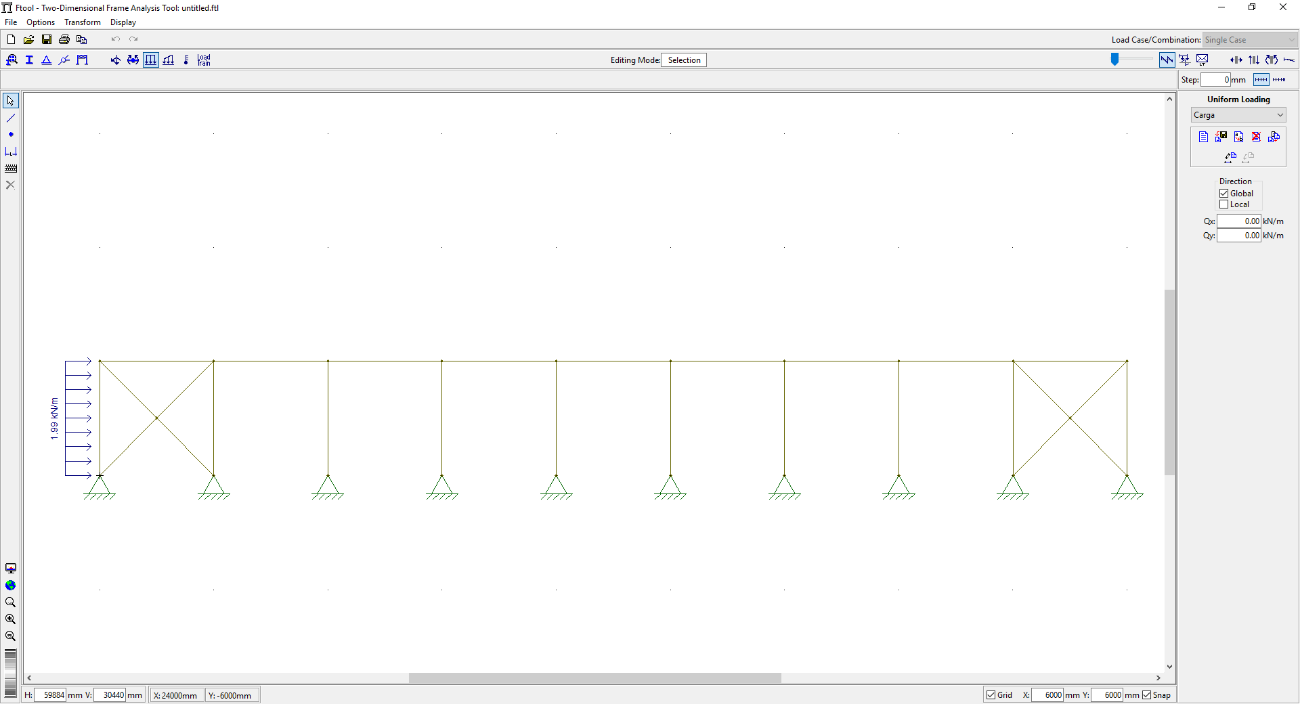
**Verificação ELS**

****

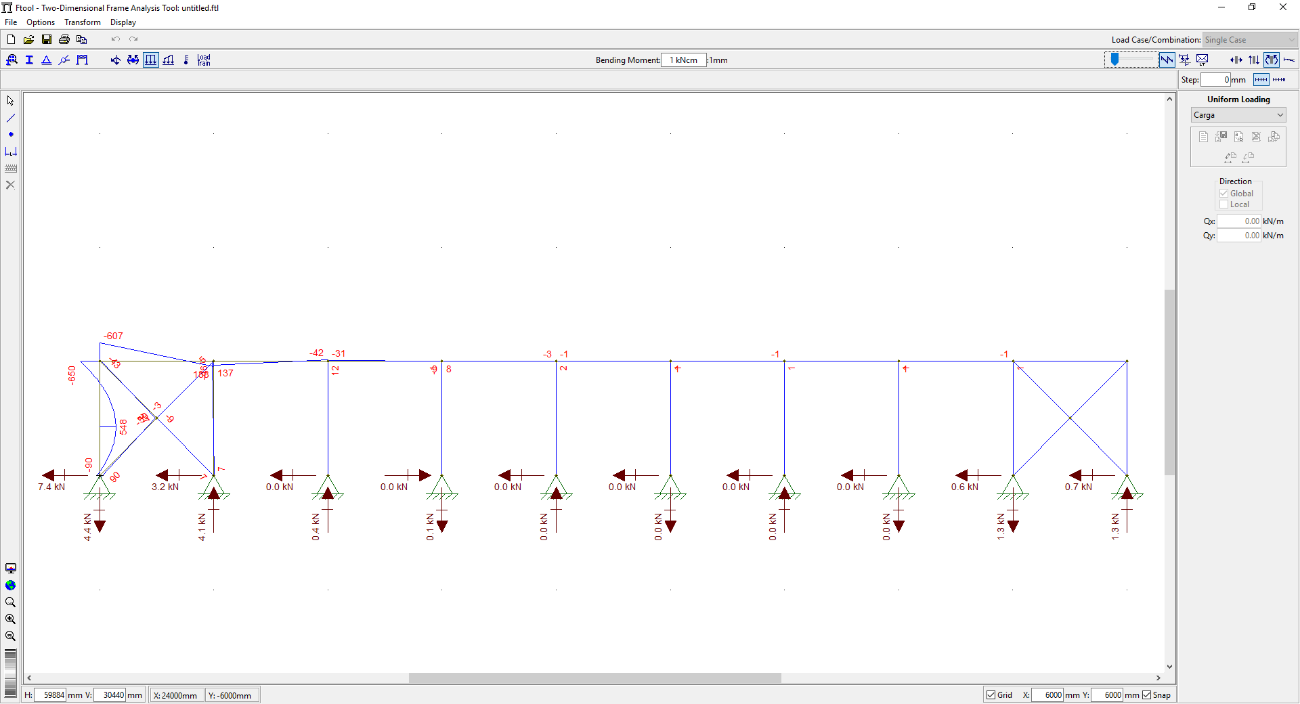
****

**Flecha atuante: 5,95mm OK**

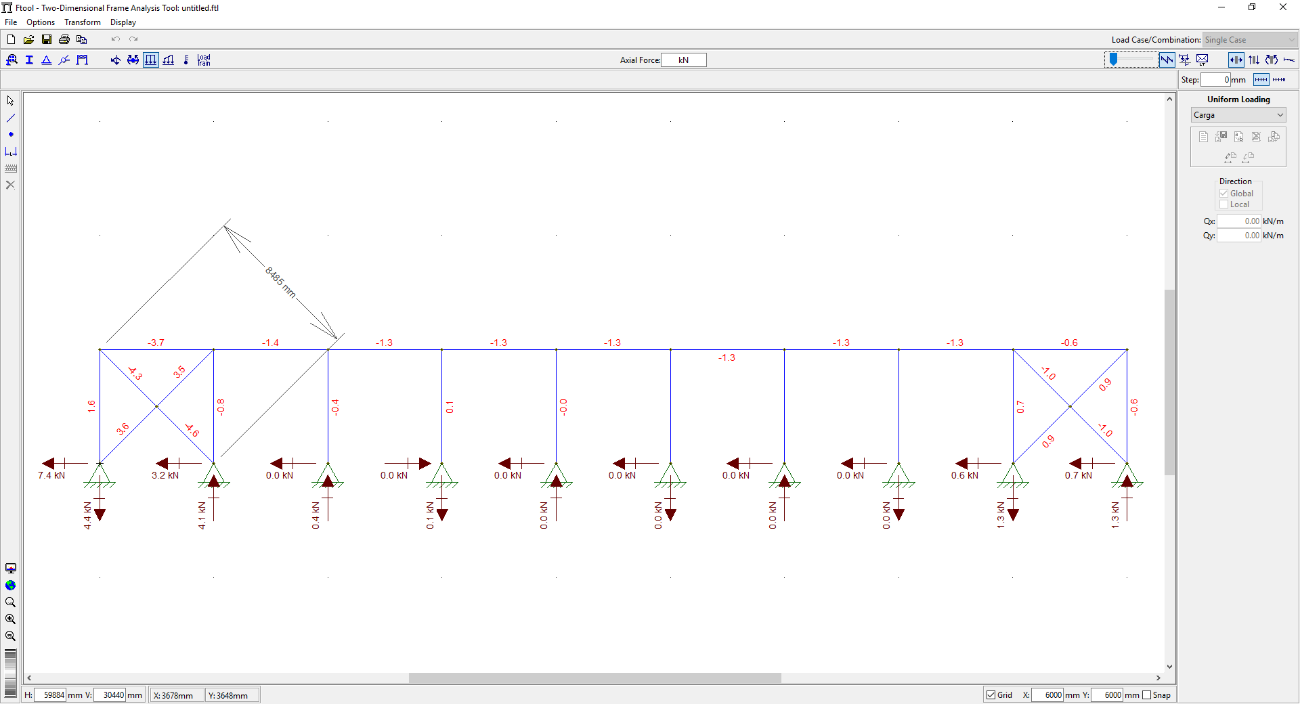
**Verificação ELU**

****

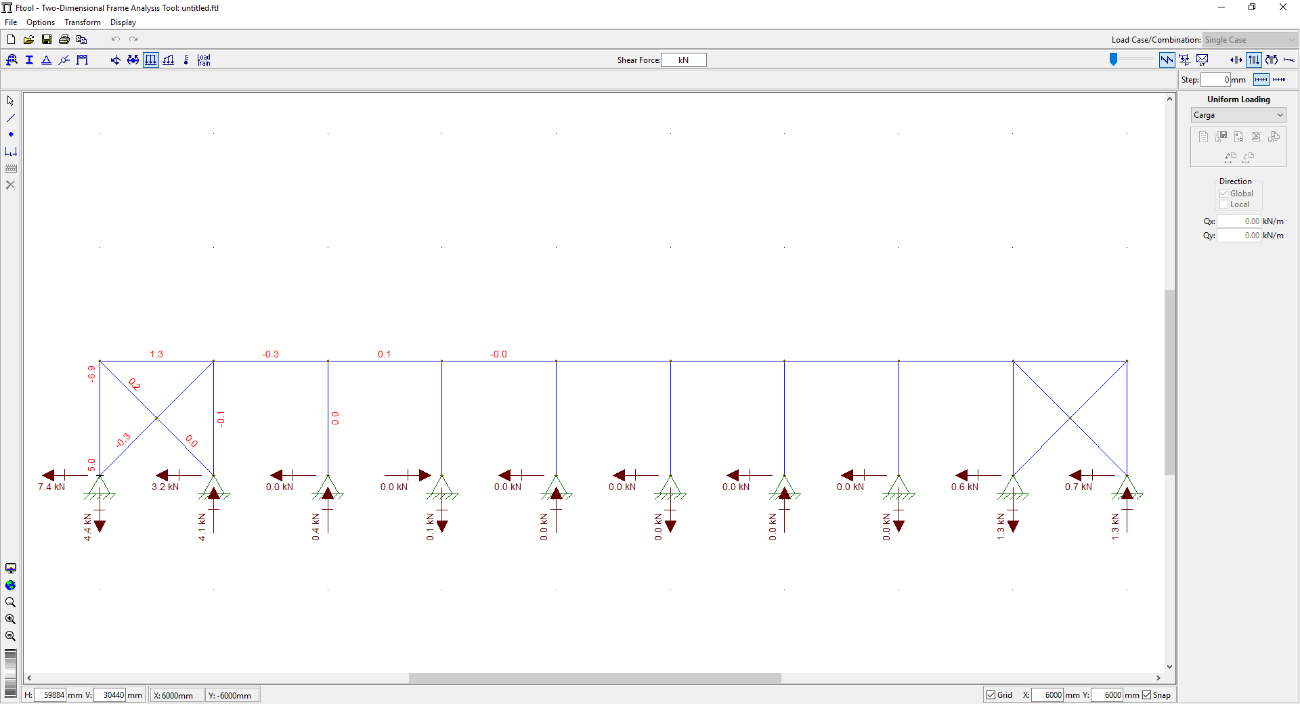
**Momentos Fletores**

****

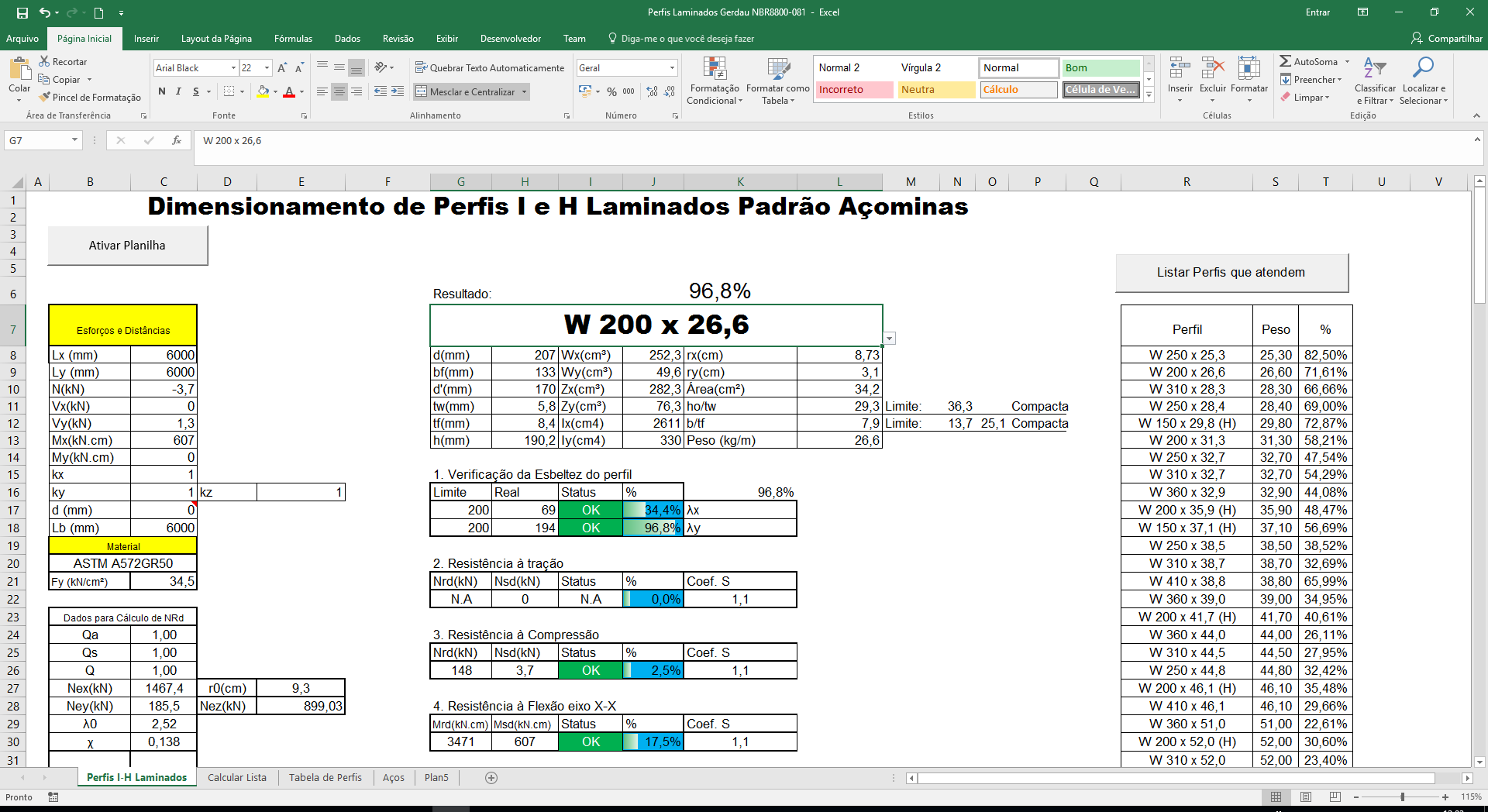
**Cargas Axiais**

****

**Esforços Cortantes**

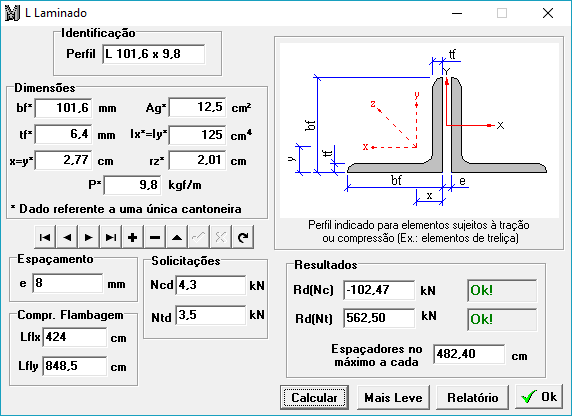
****

**Verificação da Viga do Beiral:**

****

**Perfil Aprovado**

**Verificação dos contraventamentos:**

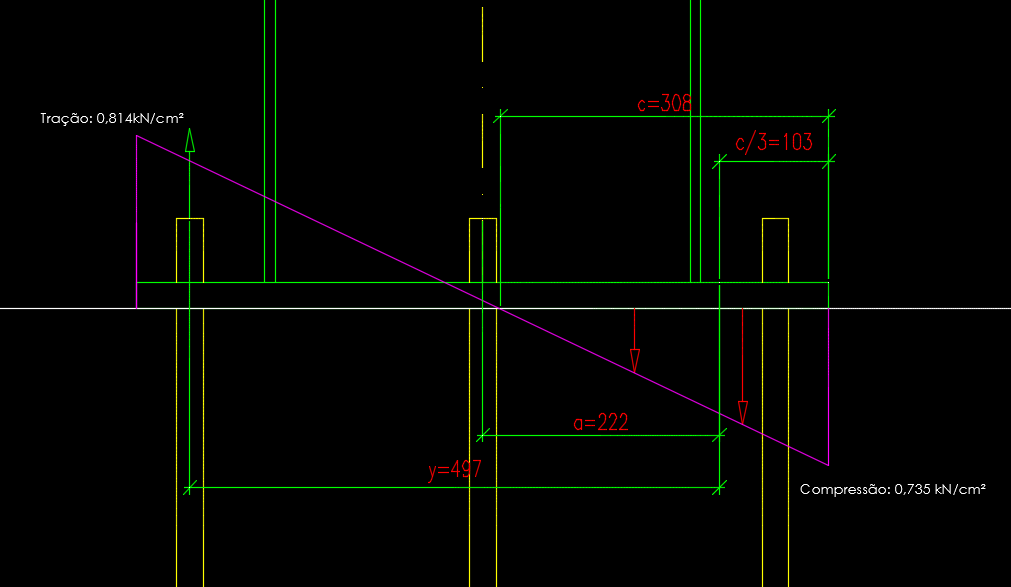
****

**Perfil aprovado**

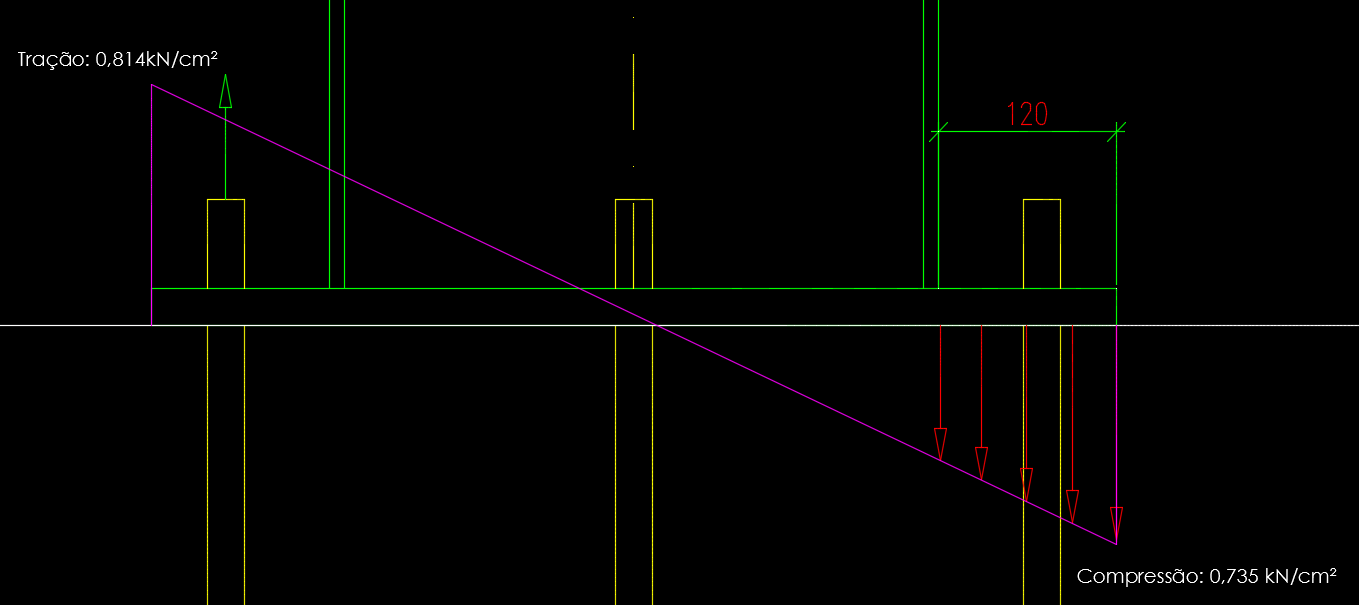
**9. Verificação das bases dos Pilares frontais**

< 16mm OK

**10. Verificação dos Pilares do pórtico**

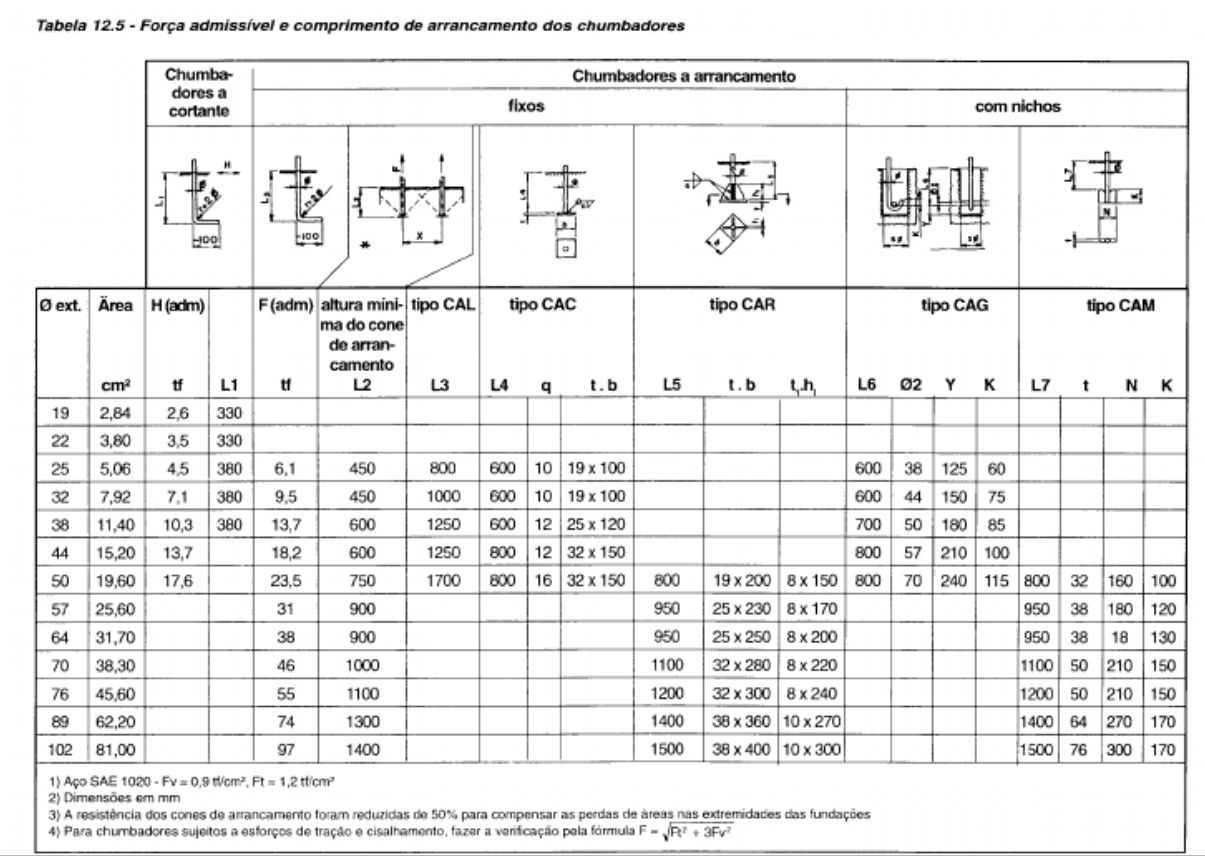
****

Carga nominal = 122,74/1,4 = 87,5kN

****

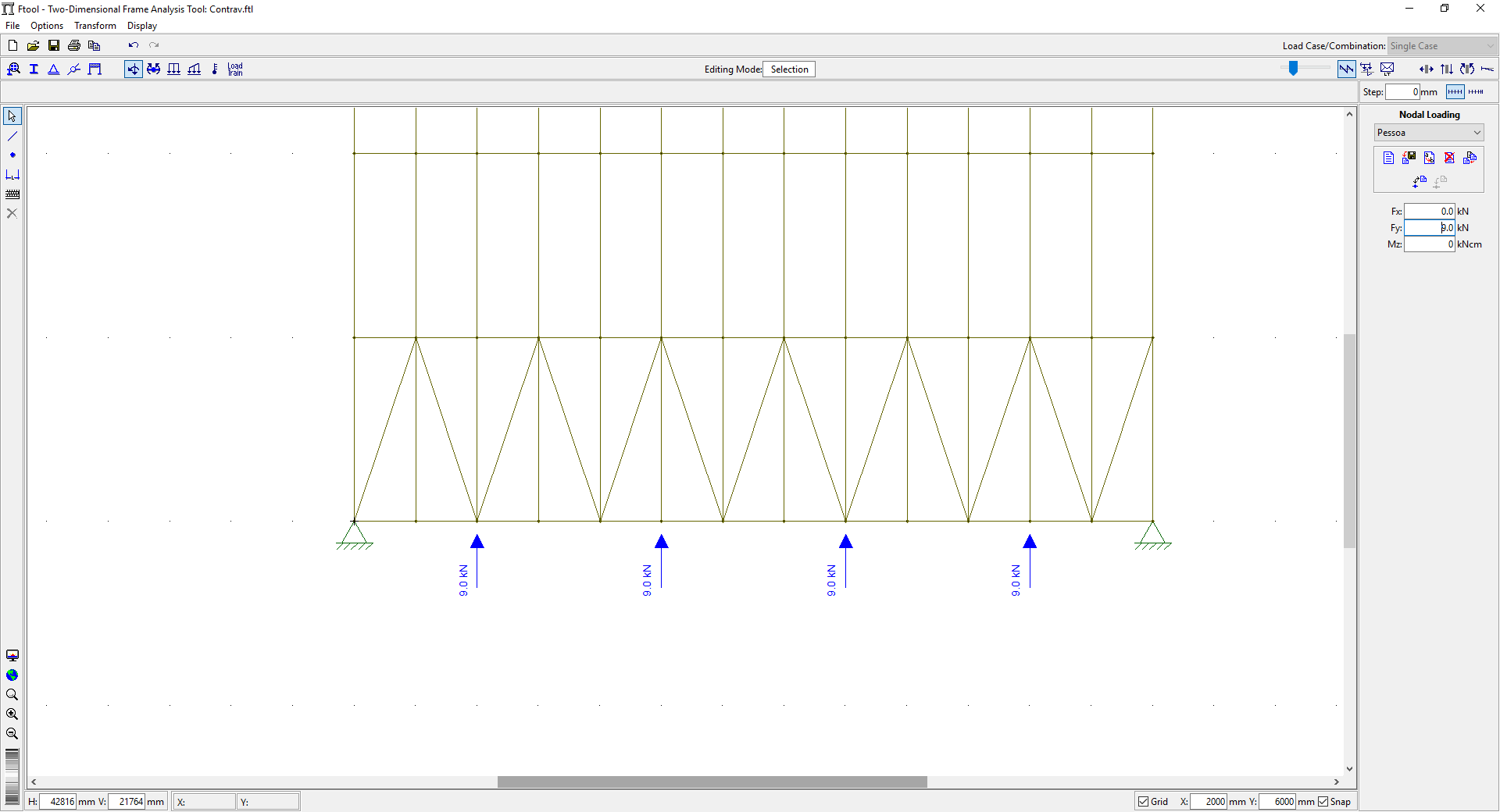
**OK, BASE APROVADA**

**Determinação da profundidade dos chumbadores:**

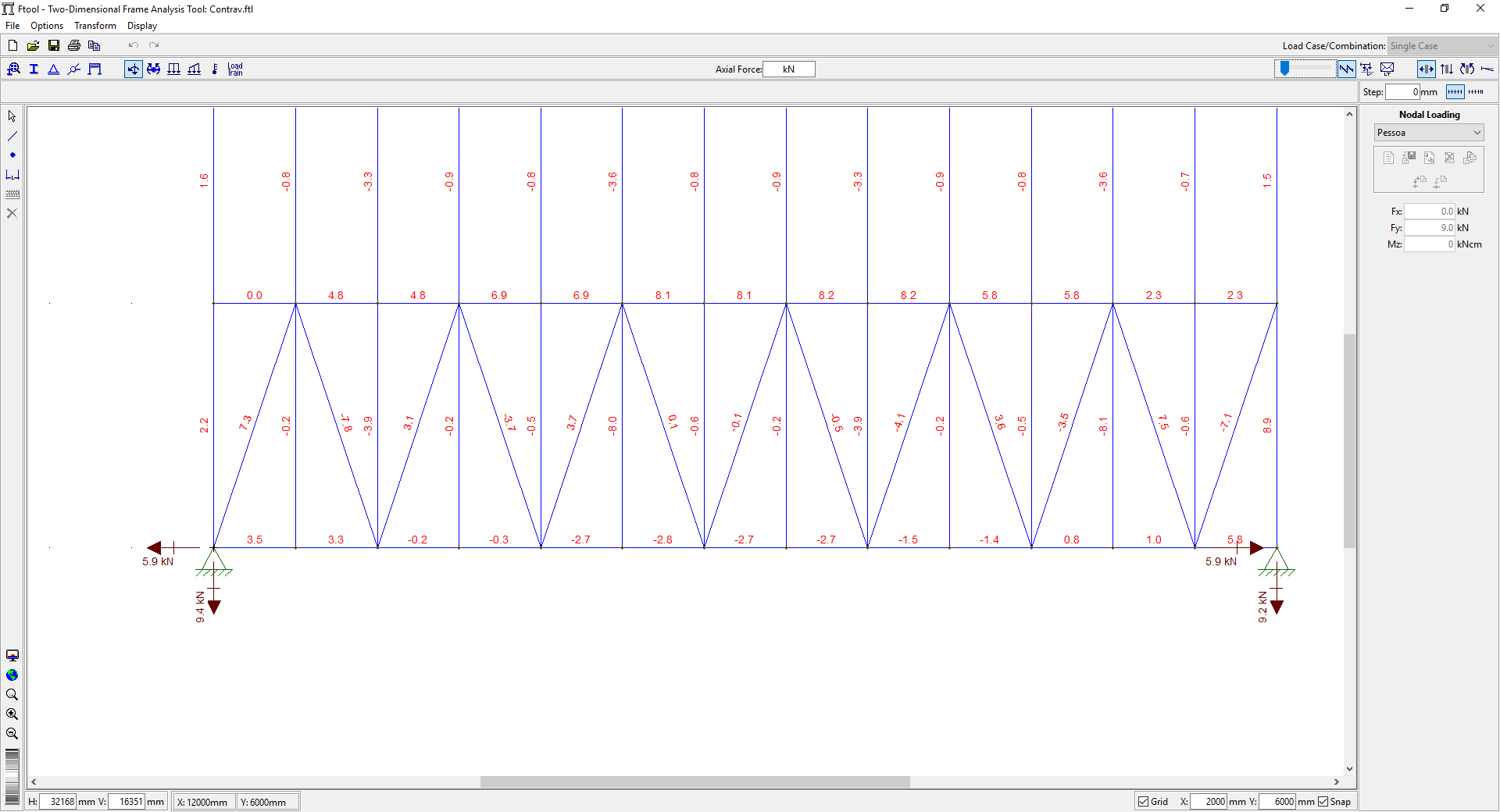
****

**Fonte: Bellei, 2008**

**11. Verificação dos contraventamentos Horizontais**

****

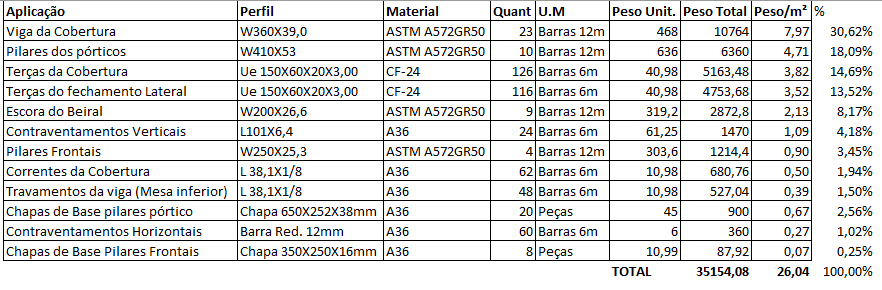
**Esforços axiais**

****

**Cálculo da barra redonda (Ignora-se compressão para esse cálculo)**

7,3 kN OK Aprovado

**12. Lista de Materiais**

****

**CONCLUSÃO**

Sem mais, e utilizando das atribuições profissionais a mim concedidas pelo sistema CONFEA-CREA do Estado de São Paulo, lavro este memorial de cálculo de análise estrutural para que possa servir de documentação complementar ao projeto de posse do construtor.

São José dos Campos, 04 de Agosto de 2017

Eng. Felipe Jacob Moraes Pereira

Engenheiro Mecânico

CREA-SP 5069138036-SP