

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

**SECRETARIA DE ESTADO DE TRANSPORTES E OBRAS PÚBLICAS
DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E ESTRADAS DE RODAGEM
DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

PROJETO DE ENGENHARIA RODOVIÁRIA DE OBRA DE ARTE ESPECIAL

RODOVIA : MG-173
TRECHO : Cachoeira de Minas – Paraisópolis
Travessia Urbana de Conceição dos Ouros
Ponte sobre o rio Sapucaí Mirim
km : 20,25

ANEXO 3C – PARTE B MEMÓRIA DE CÁLCULO ESTRUTURAL

Junho/2020

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS

**SECRETARIA DE ESTADO DE TRANSPORTES E OBRAS PÚBLICAS
DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E ESTRADAS DE RODAGEM
DO ESTADO DE MINAS GERAIS**

PROJETO DE ENGENHARIA RODOVIÁRIA DE OBRA DE ARTE ESPECIAL

RODOVIA : MG-173
TRECHO : Cachoeira de Minas – Paraisópolis
Travessia urbana de Conceição dos Ouros
Ponte sobre o rio Sapucaí Mirim
km : 20,25

ANEXO 3C – PARTE B MEMÓRIA DE CÁLCULO ESTRUTURAL

**FISCALIZAÇÃO: DIRETORIA DE PROJETOS
ELABORAÇÃO: EPC ENGENHARIA PROJETO CONSULTORIA S.A.
CONTRATO: PRC-24.007/18**

SUMÁRIO

1.0 OBJETIVO.....	5
2.0 METODOLOGIA.....	5
2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	5
2.2 REQUISITOS E PARÂMETROS DE DURABILIDADE DA CONSTRUÇÃO	5
2.3 PARÂMETROS DOS MATERIAIS UTILIZADOS	6
2.4 NORMAS E BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS	7
2.5 AÇÕES CONSIDERADAS	7
3.0 ANÁLISE ESTRUTURAL.....	9
3.1 MODELO ESTRUTURAL.....	9
3.2 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS.....	10
3.3 PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS UTILIZADAS	11
3.4 CARREGAMENTOS APLICADOS	18
3.5 RESULTADOS – 1ª FASE	24
3.6 RESULTADOS – 2ª FASE	26
4.0 COMBINAÇÕES.....	31
4.1 AÇÕES CONSIDERADAS	31
4.2 COMBINAÇÕES E FATORES	31
5.0 VERIFICAÇÃO DAS SEÇÕES – VIGAS METÁLICAS.....	32
5.1 VERIFICAÇÃO DA LONGARINA PRINCIPAL W610x195.....	32
5.2 LIGAÇÕES	37
6.0 ARMADURAS DAS LAJES	49
7.0 DIMENSIONAMENTO DAS TRANSVERSINAS–CONTRA-VENTAMENTOS	57
7.1 ESFORÇOS SOLICITANTES	57
7.2 VERIFICAÇÃO RESISTENTE DO PERFIL – SOBRE PILARES W 530x85 ..	58
7.3 VERIFICAÇÃO RESISTENTE DO PERFIL–SOBRE ENCONTROS W360x44,6	60
8.0 DEFORMAÇÕES DO TABULEIRO	66
8.1 1ª FASE - CONSTRUÇÃO	66
8.2 2ª FASE - PERFIL COMPOSTO	66
8.3 1º MODO DE VIBRAÇÃO – FREQUÊNCIA FUNDAMENTAL	67

9.0 SIMULAÇÃO DE MONTAGEM - SUGESTIVA	68
10.0 ANEXOS	70
10.1 COMBINAÇÕES UTILIZADAS.....	70
10.2 LIGAÇÕES DAS TRANSVERSINAS	75

1.0 OBJETIVO

Este documento tem a finalidade de apresentar a memória de cálculo do dimensionamento estrutural da ponte metálica sobre o Rio Sapucaí Mirim (Conceição dos Ouros) – Trecho Cachoeira de Minas – Paraisópolis. A ponte metálica comporá, junto a ponte em concreto existente e que será reforçada, uma única ponte, em função da necessidade de um alargamento que comporte o TB45 da NBR 7188-2013 e o atual tráfego de veículos e pedestres.

2.0 METODOLOGIA

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Com objetivo de encontrar os esforços solicitantes correspondentes a estrutura projetada, o tabuleiro foi modelado com o uso do software SAP2000, baseado no método dos elementos finitos. O cálculo e dimensionamento foram feitos por etapas, onde foram levados em consideração o perfil metálico longitudinal trabalhando com e sem a mesa colaborante, a depender da etapa construtiva (1ª e 2ª Etapas).

Os resultados da análise estrutural foram obtidos do software com as dimensões das peças necessárias para resistência dos esforços, em um processo iterativo: As dimensões eram atualizadas no programa após o dimensionamento das seções, para verificar se a redistribuição dos esforços, graças ao ganho de rigidez, ainda permanecia compatíveis com as peças selecionadas.

Houve, ainda, um cuidado em corrigir as inércias das peças longitudinais com a mesa colaborante nos trechos de momento positivo, após a consolidação da seção T, criando um sistema de distribuição de esforços semi-contínuo, com contribuição da mesa de concreto sendo desprezada nos trechos de momento negativo (concreto fissurado).

O trem tipo TB45 foi considerado passando sobre a laje onde poderia causar maior solicitação nas longarinas, principalmente na etapa de reforço da ponte existente, quando a ponte suportará sozinha o tráfego local.

É importante que a ponte metálica seja dimensionada sem a contribuição da ponte existente de concreto, visto que, além de entrar em funcionamento antes da consolidação de ambas, aquela última tende a absorver esforços da ponte metálica, resultando em reforço inexequível para uma estrutura já desgastada e com vida útil díspar da que virá a ser construída.

2.2 REQUISITOS E PARÂMETROS DE DURABILIDADE DA CONSTRUÇÃO

As exigências, previstas em projeto, de durabilidade das estruturas de concreto e fundações estão de acordo com o que estabelece a norma ABNT NBR 6118 e NBR 12655.

As condições de exposição da estrutura quanto a agressividade ambiental, as propriedades e a qualidade do concreto, o cobrimento nominal das armaduras e as exigências relativas à fissuração são classificadas em concordância com a prescrição normativa da ABNT NBR 6118 e NBR 12655. Abaixo, quadro resumo dos parâmetros adotados em projeto:

Elemento Estrutural		Classe de Concreto	Classe de Agressividade	Cobrimento Nominal (cm)	Abertura Máxima Característica wk (mm)
Concreto de regularização		C10	-	-	-
Infraestrutura	Estacas	Arg. 20 MPa	Forte (III)	5.0	0.2
Mesoestrutura	Pilares	C 40	Forte (III)	4.0	0.2
	Vigas Travessa, transversinas	C 40	Forte (III)	3.5	0.2
Superestrutura	Lajes, Longarinas	C 40	Forte (III)	3.5	0.2
	Guarda Rodas, Laje de Transição	C25	Moderada (II)	3.0	0.3

(*) wk = 0.1 mm nas faces onde se requer estanqueidade.

Tabela 1 – Quadro resumo dos parâmetros adotados em projeto.

A classe de agressividade foi adotada após observância que há esgoto junto a água sob a ponte e que aquele pode entrar em contato com pilares e blocos, e ainda, se aproximar, da estrutura do tabuleiro. O Fck 40MPa não acrescenta substancialmente no preço final das obras, e auxiliará, também, na redução da deformação com ganho na mesa colaborante da seção mista.

2.3 PARÂMETROS DOS MATERIAIS UTILIZADOS

- Concreto estrutural Pilares, Pilares-parede, Longarinas e Lajes C-40;
- Concreto estrutural Laje de Transição e Guarda Rodas C-25;
- Módulo de elasticidade secante do concreto C 40: $E = 30105 \text{ MPa}$;
- Módulo de elasticidade secante do concreto C 25: $E = 23800 \text{ MPa}$;
- Peso específico do concreto armado: $\gamma_{\text{concreto}} = 25 \text{ kN/m}^3$;
- Peso específico do Revestimento: $\gamma_{\text{revestimento}} = 24 \text{ kN/m}^3$;
- Aço estrutural = CA-50;
- Tensão característica de escoamento do aço CA-50: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$;
- Tensão característica de escoamento do aço CA-60: $f_{yk} = 600 \text{ MPa}$;
- Aço Para Perfil Metálico = ASTM - 588;
- Aço Para Chapas de ligação e enrijecedores = USI SAC300
- Tensão característica de escoamento do aço A-588: $f_{yk} = 350 \text{ MPa}$;
- Tensão característica de escoamento do aço USI SAC 300: $f_{yk} = 300 \text{ MPa}$.

2.4 NORMAS E BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

Normas Internacionais:

- AASHTOO – Standard Specifications for Highway Bridges;
- AISC360-05/IBC2600;
- EUROCODE3-2005.

Normas ABNT:

- NBR 7188 – Carga Móvel Rodoviária e de Pedestres;
- NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de Edifícios;
- NBR 6122 – Projeto e Execução de Fundações;
- NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto;
- NBR 7187 – Pontes de Concreto Armado e Protendido e Concreto Protendido.

Bibliografia:

- Pontes e Viadutos em Viga Mista – Fernando Ottoboni Pinho, Ildony Hélio Bellei.

2.5 AÇÕES CONSIDERADAS

2.5.1 PESO PRÓPRIO

O Peso Próprio da superestrutura foi aplicado diretamente pelo programa, com as densidades de materiais conforme já supra especificados. O Peso do perfil metálico foi multiplicado por 1,10 para englobar o peso das ligações.

Nome do carregamento:

- Dead

2.5.2 CARGAS PERMANENTES

As cargas permanentes foram aplicadas em “Frames” (vigas) e “Shells” (lajes) do modelo gerado, com as densidades dos materiais conforme supra especificados.

Nome dos carregamentos:

- PERM – Revestimento Asfáltico sobre a Laje (5 cm = 0,12tf/m²);
- PERM – FUT (0,20 tf/m²);
- GR – Guarda Rodas New Jersey (0,60 tf/m);
- GC – Guarda Corpo Metálico (0,10 tf/m).

2.5.3 CARGAS MÓVEIS

A carga móvel aplicada é correspondente ao TB45 da NBR 7188 - 2013. A carga consiste a um carregamento de 45 tf dividido por 6 rodas que ocupa uma área de 18 m² e uma carga de multidão de 0,50 tf/m² distribuída em todas as faixas, sendo ambos os carregamentos majorados pelo coeficiente de impacto. Nas áreas reservadas aos pedestres foram distribuídos 0,30tf/m² para análise da estrutura global e 0,50tf/m² para dimensionamento das lajes, sendo este carregamento não majorado por impacto. Em razão da ponte ser um hiperestático de 3 vãos, a carga de multidão e de pedestres foram aplicadas em cada vão isoladamente, para que, com o TB45 pudessem ser geradas combinações de esforços máximos e mínimos em cada vão. Posteriormente, uma única envoltória, com todas as combinações, apresentou os momentos máximos e mínimos ao longo das longarinas:

- TB 45 + SCM1 (+SCPED1)
- TB 45 + SCM2 (+SCPED2)
- TB 45 + SCM3 (+SCPED3)
- TB 45 + SCM1+SCM3 (SCPED1&3)
- TB 45 + SCMTOTAIS+SCPEDTOTAIS
- ENVOLTORIA – TB45+SCM (+SCPED)

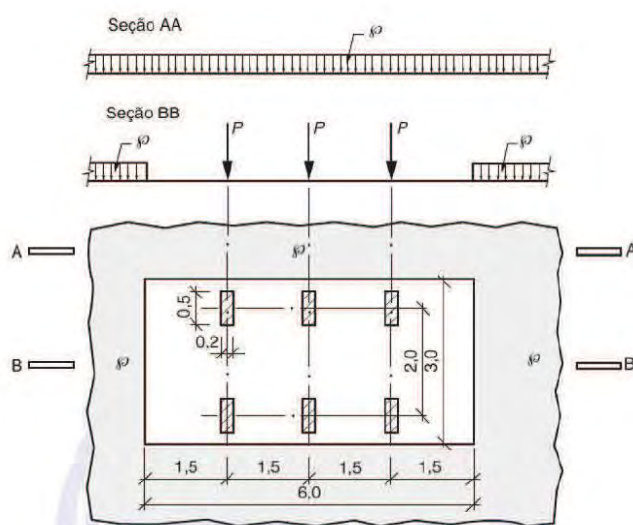


Figura 2.1 – Disposição das Rodas dos Veículos – NBR 7188-2013

O fator de impacto foi calculado para o vão de 17 metros (16,50m,18m,16,50m) (Média Aritmética dos vãos):

$$CIV = 1 + 1,06 \times \frac{20}{(Liv + 50)}$$

$$CIV = 1,316$$

$$CNF = 1,00 - 0,05 * (n - 2) > 0,90$$

$$CNF = 1,00$$

$$CIA = 1,25$$

3.0 ANÁLISE ESTRUTURAL

3.1 MODELO ESTRUTURAL

O modelo foi idealizado no SAP2000 conforme figura a seguir. O tabuleiro é constituído de 3 vãos hiperestáticos, sendo o central com 18 metros e os dois laterais com 16,50 metros (Vão teórico lançado aos extremos de 16,50 m). Os vãos foram idealizados de forma a aproveitar melhor o perfil metálico e gerar uma compatibilidade de deformações e esforços – Evitando variações de Seções.

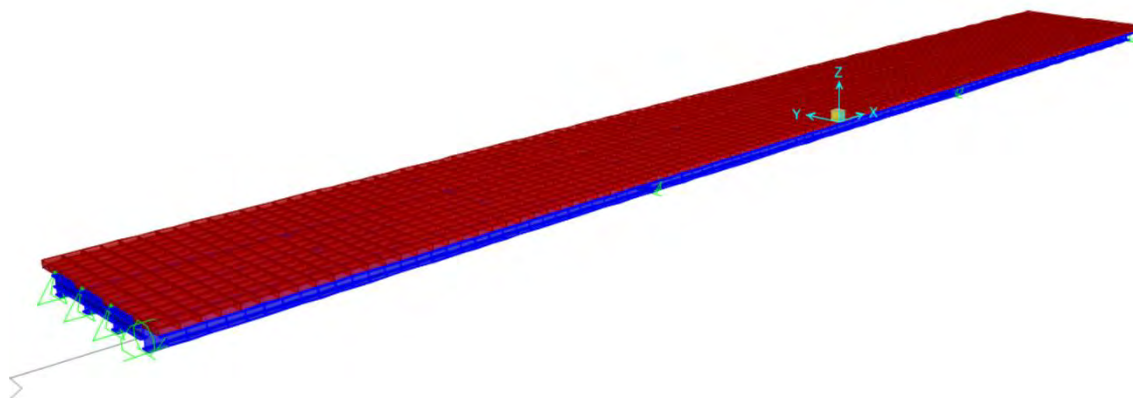


Figura 3.1 – Vista Tridimensional do Modelo Lançado

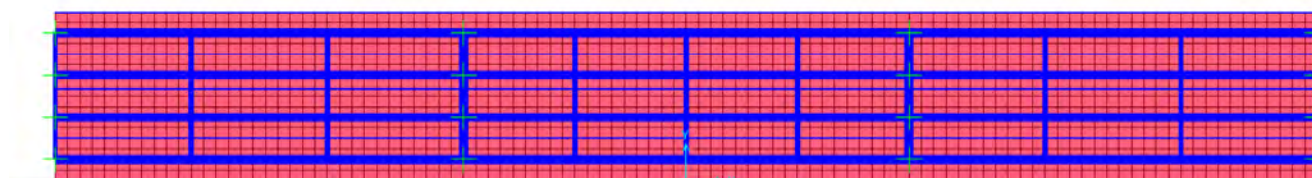
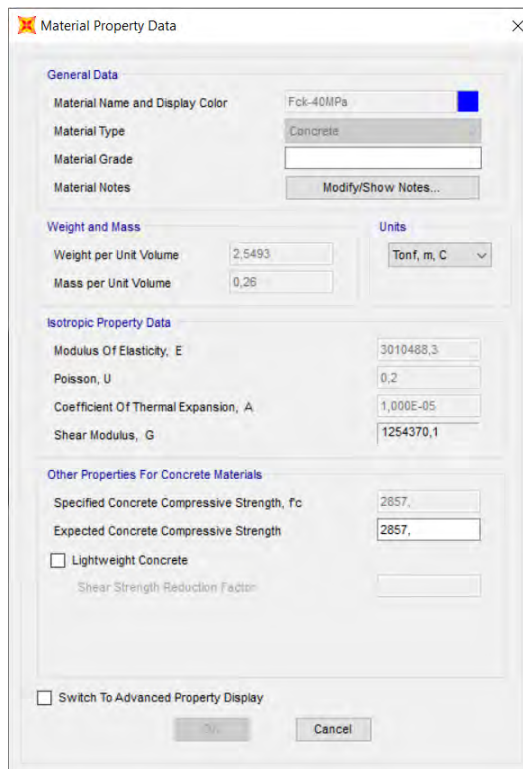


Figura 3.2 – Vista em Planta do Tabuleiro

3.2 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Concreto Utilizado: 40 Mpa



Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Fck-40MPa [Color: Blue]

Material Type: Concrete

Material Grade: [Empty]

Material Notes: [Empty] [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 2,5493

Mass per Unit Volume: 0,26

Units

Tonf, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 3010488,3

Poisson, U: 0,2

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,000E-05

Shear Modulus, G: 1254370,1

Other Properties For Concrete Materials

Specified Concrete Compressive Strength, Fc: 2857,

Expected Concrete Compressive Strength: 2857,

☐ Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor: [Empty]

☐ Switch To Advanced Property Display

[OK](#) [Cancel](#)

Figura 3.3 – Propriedades do Concreto

Aço ASTM A-588



Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: A588 [Color: Red]

Material Type: Steel

Material Grade: Grade 50

Material Notes: [Empty] [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7,849

Mass per Unit Volume: 0,8004

Units

Tonf, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 20389019,

Poisson, U: 0,3

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1,170E-05

Shear Modulus, G: 7841930,

Other Properties For Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 35153,48

Minimum Tensile Stress, Fu: 45699,53

Expected Yield Stress, Fye: 38668,83

Expected Tensile Stress, Fue: 50269,48

☐ Switch To Advanced Property Display

[OK](#) [Cancel](#)

Figura 3.4 – Propriedades do Aço

3.3 PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS UTILIZADAS

3.3.1 PROPRIEDADES DAS SEÇÕES

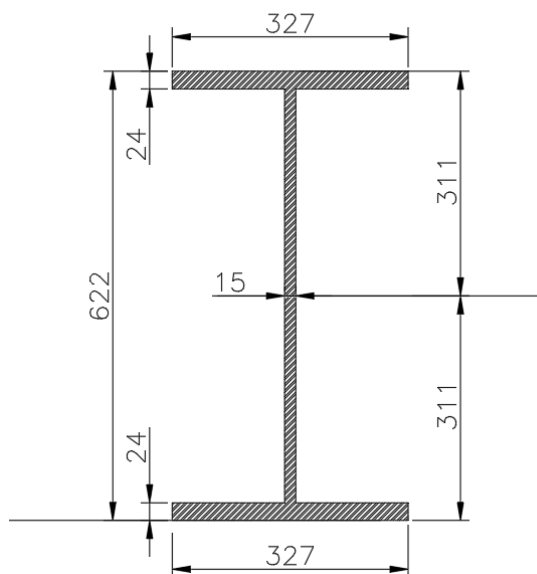


Figura 3.5 – Seção da Viga I – Para 1ª Fase

3.3.2 W 610x195 – MESA COLABORANTE EM CONCRETO - 2ª FASE

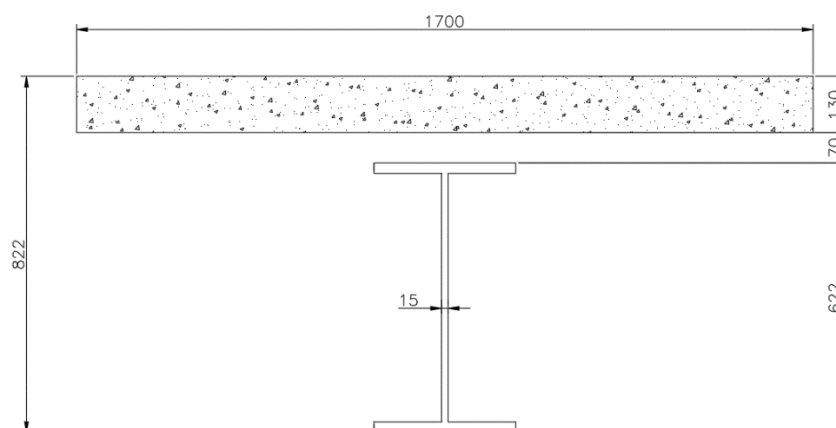


Figura 3.6 – Seção da Viga Mista – Para 2ª Fase

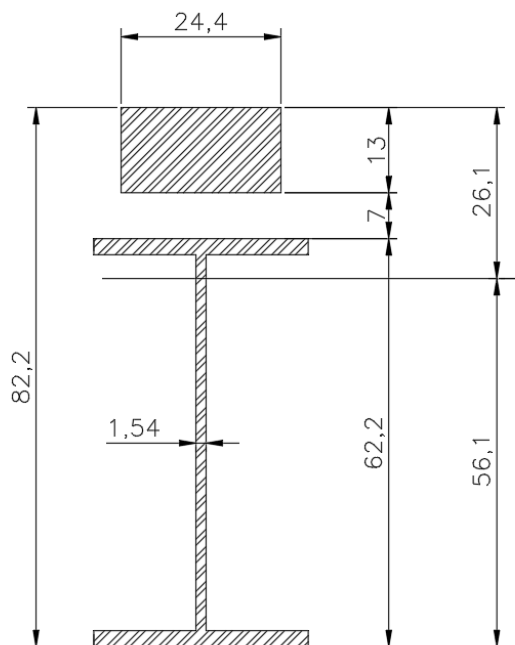
$$n = \frac{E_c}{E_a}$$

$$n = \frac{30104,88}{210000}$$

$n = 0,1433$ - Fator Modular de Transformação

3.3.3 W 610x195 – MESA COLABORANTE EM AÇO - 2ª FASE

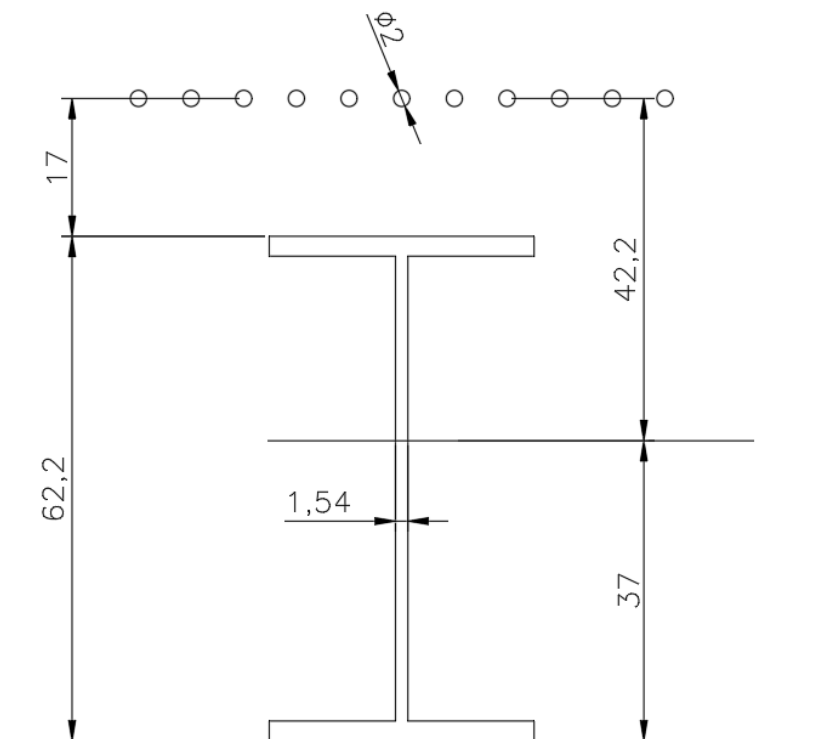
- Seção Transformada para análise de esforços com curta duração:



REGIONS	
Area:	564.65880
Perimeter:	326.86000
Bounding box:	X: 629.78531 -- 662.48531 Y: 0.00000 -- 82.20000
Centroid:	X: 646.13531 Y: 56.12348
Moments of inertia:	X: 2226380.00042 Y: 235769795.87119
Product of inertia:	XY: -20476425.29540
Radii of gyration:	X: 62.79233 Y: 646.17631
Principal moments and X-Y directions about centroid:	I: 447792.54407 along [1.00000 0.00000] J: 29916.23714 along [0.00000 1.00000]

Figura 3.7 – Viga Mista Transformada (Região de Momento Positivo) – Para 2ª Fase

- Seção Transformada com Aço CA-50 para regiões de Momento Negativo



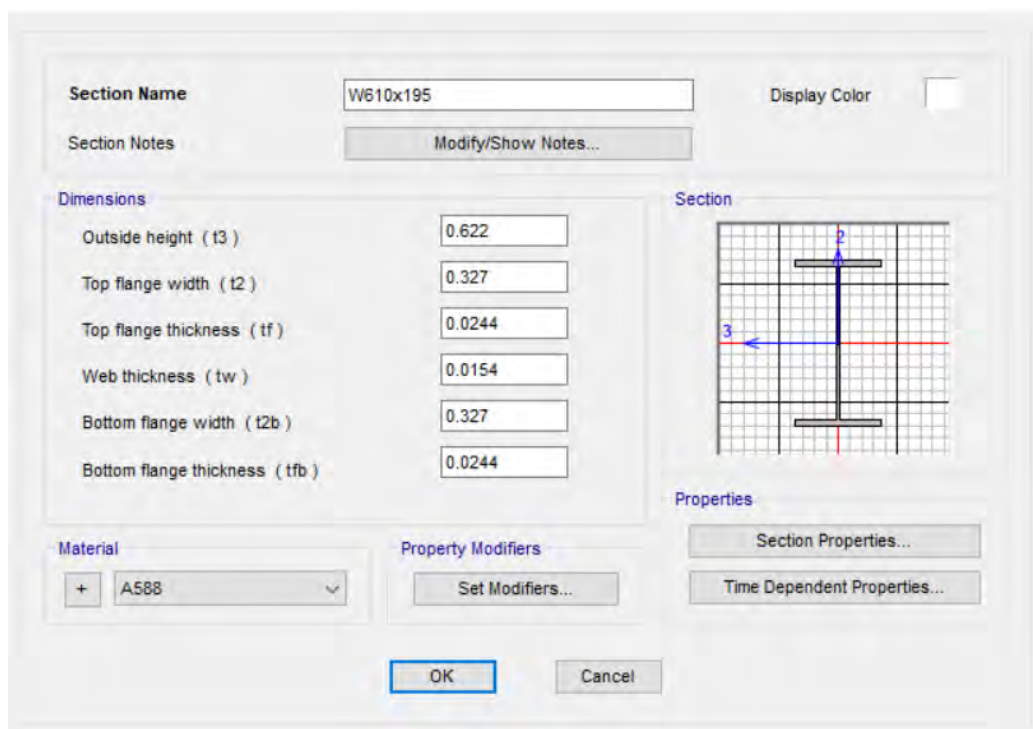
```

----- REGIONS -----
Area:                282.40632
Perimeter:           321.23504
Bounding box:        X: 852.52171 -- 919.52171
                    Y: 0.00000 -- 80.20000
Centroid:            X: 886.02171
                    Y: 36.98590
Moments of inertia:  X: 623217.23924
                    Y: 221727540.31526
Product of inertia:  XY: -9254543.87592
Radii of gyration:   X: 46.97670
                    Y: 886.07935
Principal moments and X-Y directions about centroid:
                    I: 236897.49731 along [1.00000 0.00000]
                    J: 28846.05531 along [0.00000 1.00000]
  
```

Figura 3.8 – Mista Transformada (Região de Momento Negativo) – Para 2ª Fase

3.3.4 LANÇAMENTO DAS SEÇÕES – SAP2000

3.3.4.1 Perfil Longitudinal

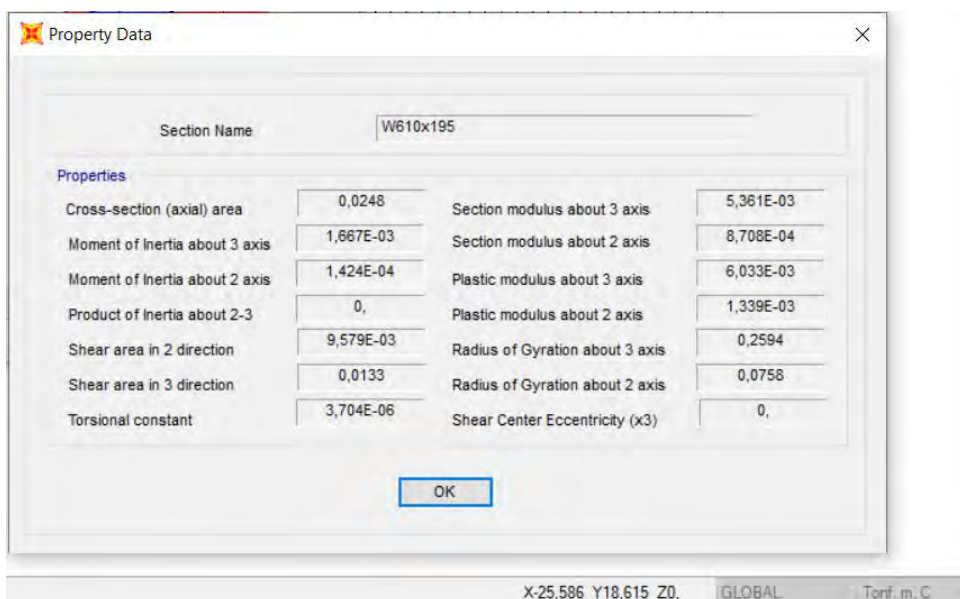


The screenshot shows the 'Section Properties' dialog box for a W610x195 section. The 'Section Name' is 'W610x195'. The 'Display Color' checkbox is unchecked. The 'Section Notes' field is empty, and the 'Modify/Show Notes...' button is visible. The 'Dimensions' section contains the following values:

Dimension	Value
Outside height (t3)	0.622
Top flange width (t2)	0.327
Top flange thickness (tf)	0.0244
Web thickness (tw)	0.0154
Bottom flange width (t2b)	0.327
Bottom flange thickness (tfb)	0.0244

The 'Material' dropdown is set to 'A588'. The 'Property Modifiers' section has a 'Set Modifiers...' button. The 'Section' preview shows a cross-section of the I-beam on a grid. The 'Properties' section has buttons for 'Section Properties...' and 'Time Dependent Properties...'. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Figura 3.9 – Viga Longarina e Transversina Principal



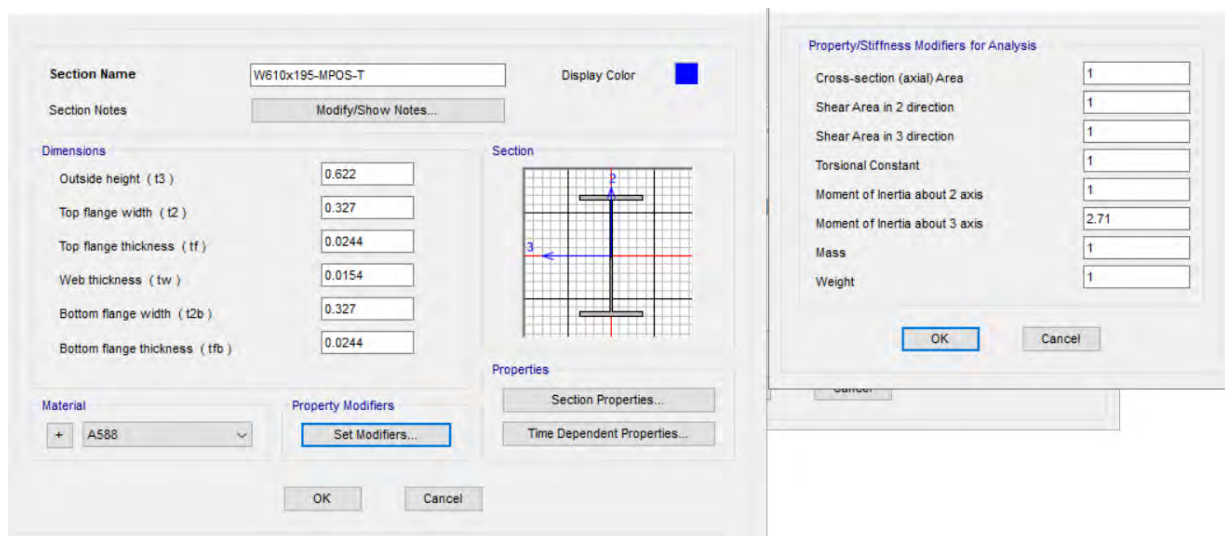
The screenshot shows the 'Property Data' dialog box for a W610x195 section. The 'Section Name' is 'W610x195'. The 'Properties' section contains the following values:

Property	Value	Property	Value
Cross-section (axial) area	0,0248	Section modulus about 3 axis	5,361E-03
Moment of Inertia about 3 axis	1,667E-03	Section modulus about 2 axis	8,708E-04
Moment of Inertia about 2 axis	1,424E-04	Plastic modulus about 3 axis	6,033E-03
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	1,339E-03
Shear area in 2 direction	9,579E-03	Radius of Gyration about 3 axis	0,2594
Shear area in 3 direction	0,0133	Radius of Gyration about 2 axis	0,0758
Torsional constant	3,704E-06	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

The 'OK' button is at the bottom. The status bar at the bottom shows 'X-25,586 Y18,615 Z0, GLOBAL Tonif, m, C'.

Figura 3.10 – Propriedades da Viga

3.3.4.2 Perfil Longitudinal – Seções para Trechos de Momento Positivo



Section Name: W610x195-MPOS-T

Section Notes: Modify/Show Notes...

Dimensions

Outside height (t3)	0.622
Top flange width (t2)	0.327
Top flange thickness (tf)	0.0244
Web thickness (tw)	0.0154
Bottom flange width (t2b)	0.327
Bottom flange thickness (tfb)	0.0244

Material: A588

Property Modifiers: Set Modifiers...

Section: [Diagram of I-section with axes 2 and 3]

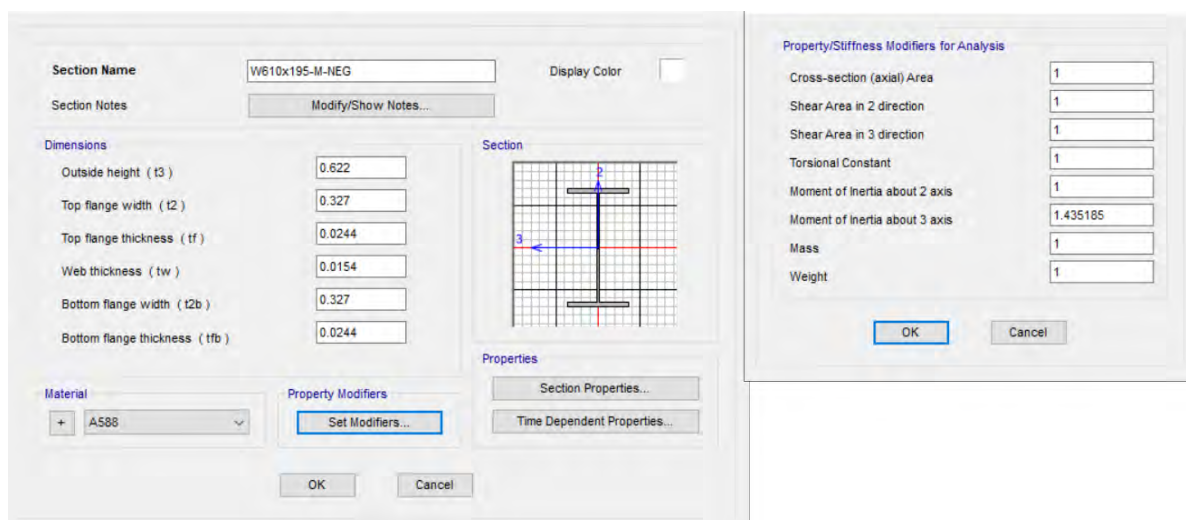
Properties: Section Properties..., Time Dependent Properties...

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	1
Moment of Inertia about 3 axis	2.71
Mass	1
Weight	1

Figura 3.11 – Entrada da Transformação no SAP (Reg. de Momento Positivo)

3.3.4.3 Perfil Longitudinal – Seções para trecho de Momento Negativo



Section Name: W610x195-M-NEG

Section Notes: Modify/Show Notes...

Dimensions

Outside height (t3)	0.622
Top flange width (t2)	0.327
Top flange thickness (tf)	0.0244
Web thickness (tw)	0.0154
Bottom flange width (t2b)	0.327
Bottom flange thickness (tfb)	0.0244

Material: A588

Property Modifiers: Set Modifiers...

Section: [Diagram of I-section with axes 2 and 3]

Properties: Section Properties..., Time Dependent Properties...

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

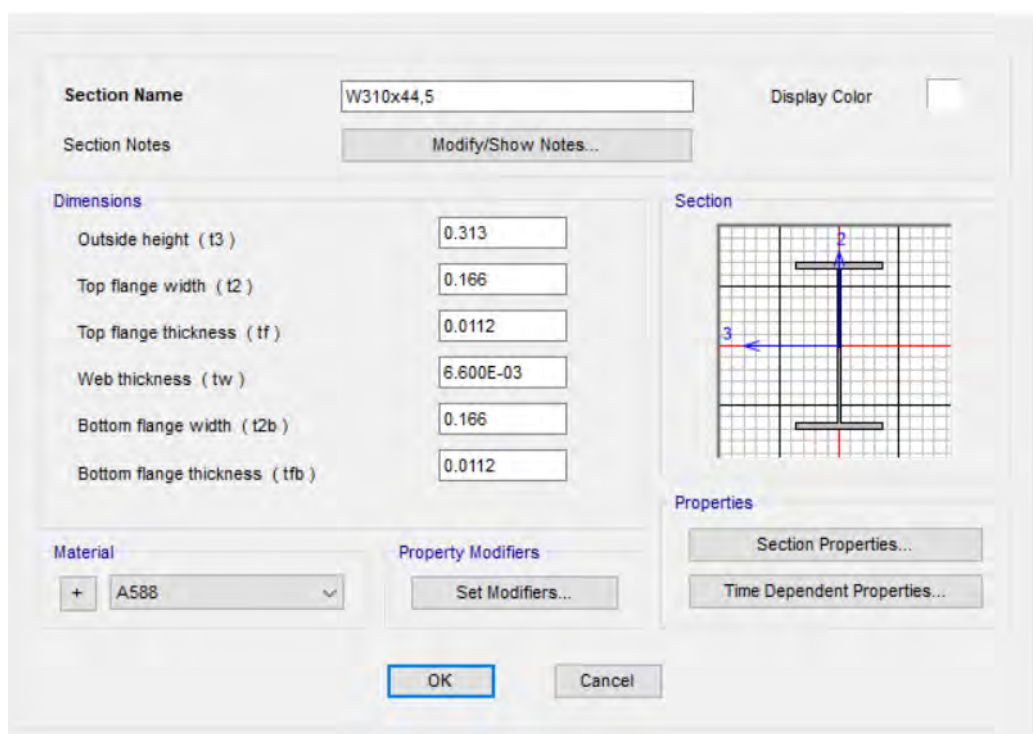
Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	1
Moment of Inertia about 3 axis	1.435185
Mass	1
Weight	1

Figura 3.12 – Entrada da Transformação no SAP (Reg. De Momento Negativo)



Figura 3.13 – Exemplo de Aplicação das Propriedades das Seções

3.3.4.4 Transversinas – Entre Pilares



Section Name W310x44,5 **Display Color** ☐

Section Notes

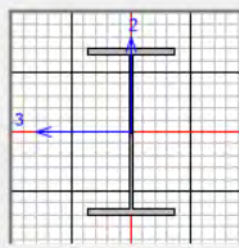
Dimensions

Outside height (t3)	0.313
Top flange width (t2)	0.166
Top flange thickness (tf)	0.0112
Web thickness (tw)	6.600E-03
Bottom flange width (t2b)	0.166
Bottom flange thickness (tfb)	0.0112

Material A588

Property Modifiers

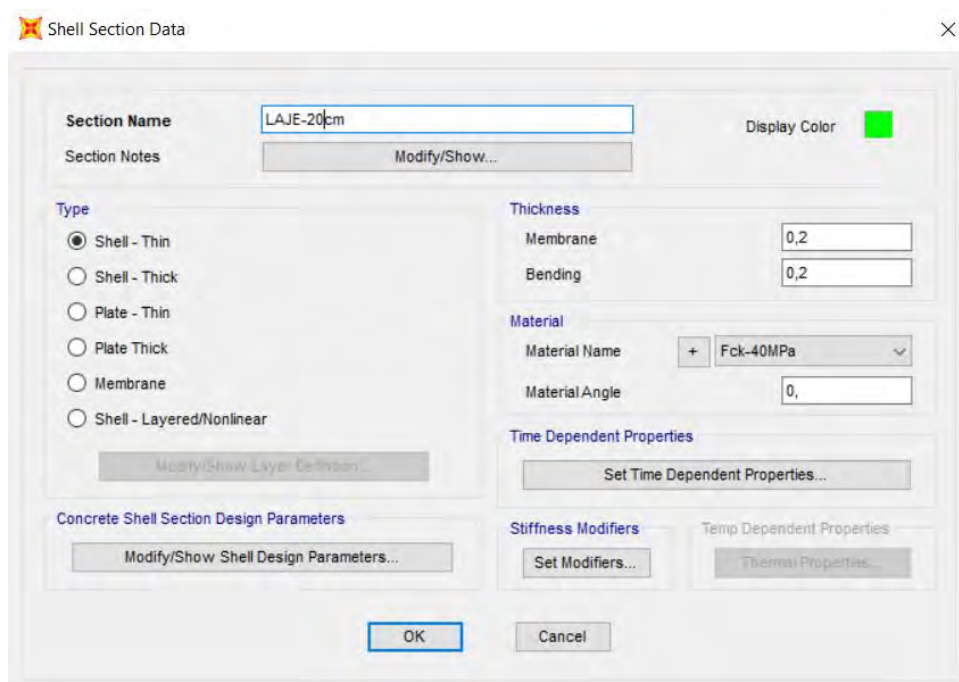
Section



Properties

Figura 3.14 – Viga Transversina Secundária

3.3.4.5 Laje do Tabuleiro



The image shows a software dialog box titled "Shell Section Data". It contains several input fields and buttons for configuring a concrete slab section. The "Section Name" field is set to "LAJE-20cm". The "Display Color" is a green square. Under the "Type" section, "Shell - Thin" is selected. The "Thickness" section has "Membrane" and "Bending" both set to 0,2. The "Material" section has "Material Name" set to "Fck-40MPa" and "Material Angle" set to 0. There are buttons for "Modify/Show...", "Modify/Show Layer Definition...", "Modify/Show Shell Design Parameters...", "Set Time Dependent Properties...", "Set Modifiers...", and "Thermal Properties...". At the bottom are "OK" and "Cancel" buttons.

Shell Section Data

Section Name: LAJE-20cm

Section Notes: Modify/Show...

Display Color: [Green]

Type:

- ☒ Shell - Thin
- ☐ Shell - Thick
- ☐ Plate - Thin
- ☐ Plate Thick
- ☐ Membrane
- ☐ Shell - Layered/Nonlinear

Modify/Show Layer Definition...

Thickness:

Membrane: 0,2

Bending: 0,2

Material:

Material Name: + Fck-40MPa

Material Angle: 0,

Time Dependent Properties:

Set Time Dependent Properties...

Concrete Shell Section Design Parameters:

Modify/Show Shell Design Parameters...

Stiffness Modifiers:

Set Modifiers...

Temp Dependent Properties:

Thermal Properties...

OK Cancel

Figura 3.15 – Propriedades da Laje de Concreto

3.4 CARREGAMENTOS APLICADOS

3.4.1 Peso Próprio - 1ª Fase – “DEAD”+Concretagem

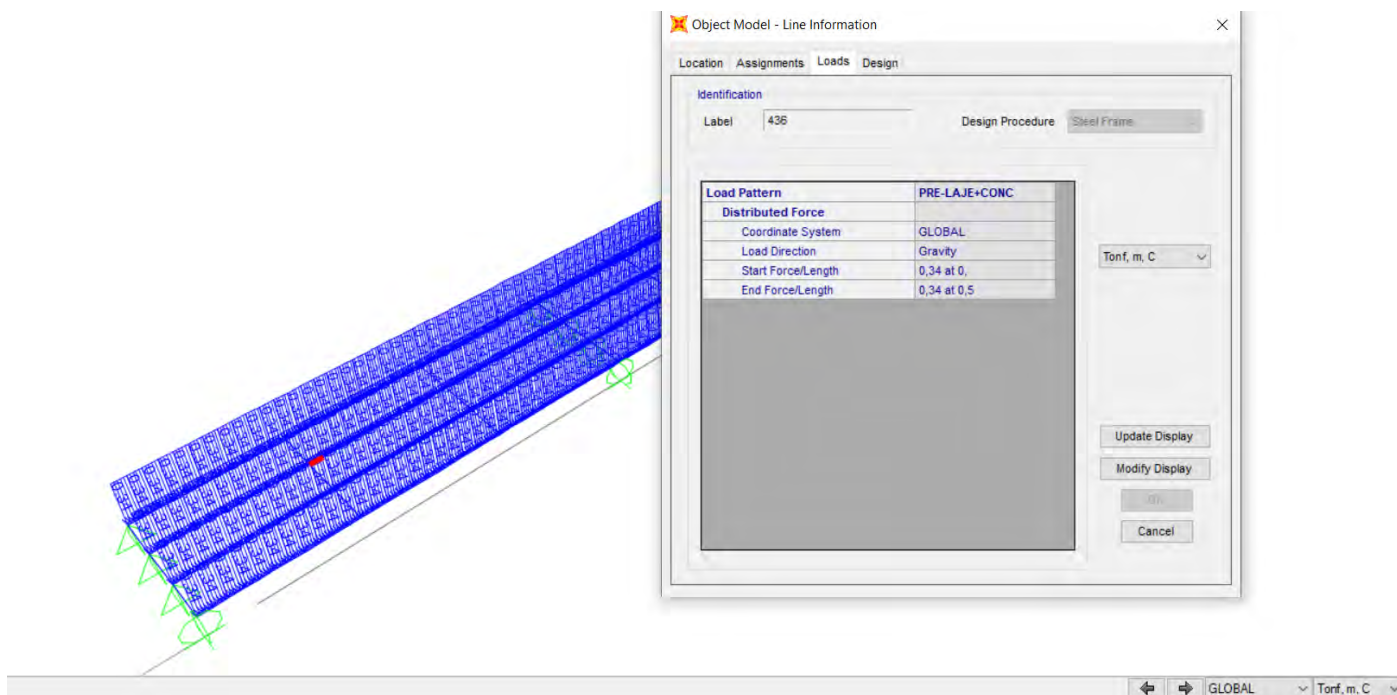


Figura 3.16 – Carregamento devido a Concretagem

3.4.2 Permanentes - 2ª Fase – “PERM”

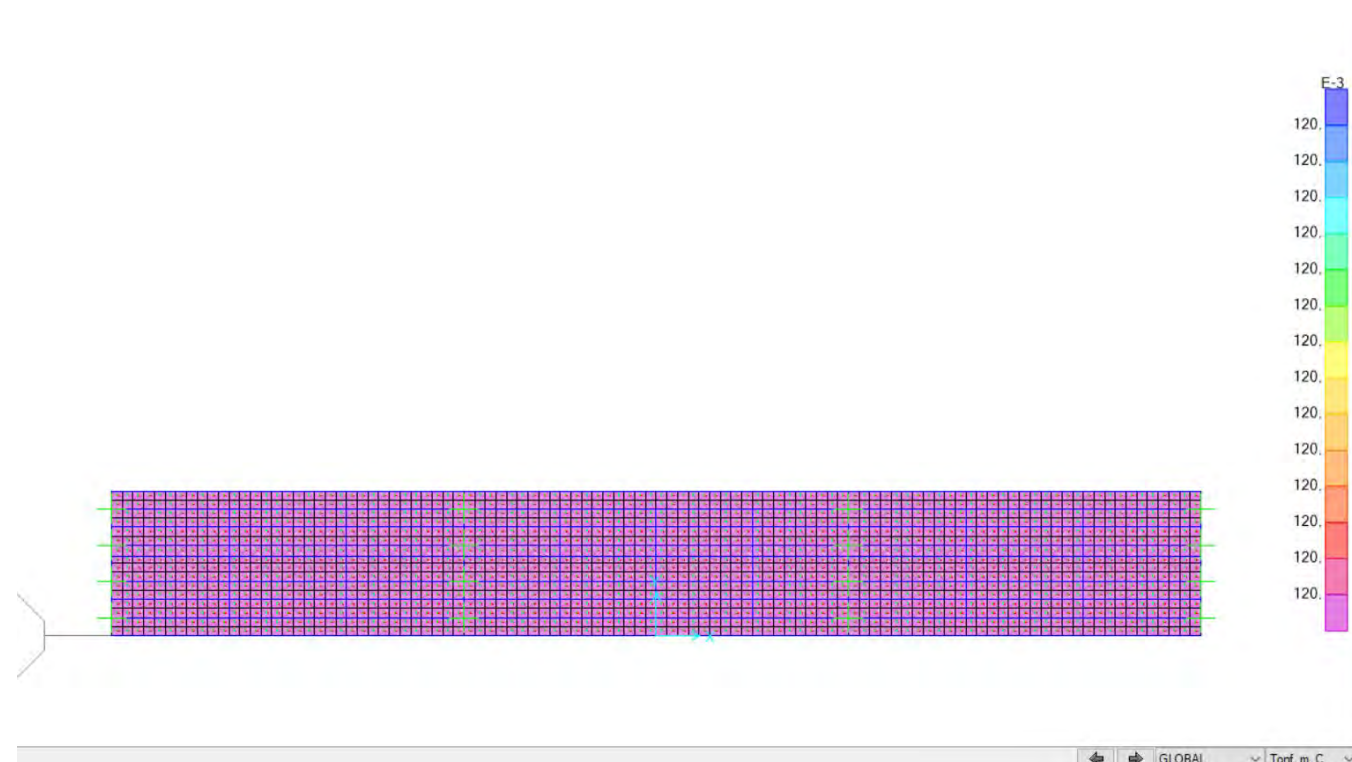


Figura 3.17 – Carregamento do Revestimento Sobre A Ponte

3.4.3 Permanentes Futura - 2ª Fase – “PERM-FUT”

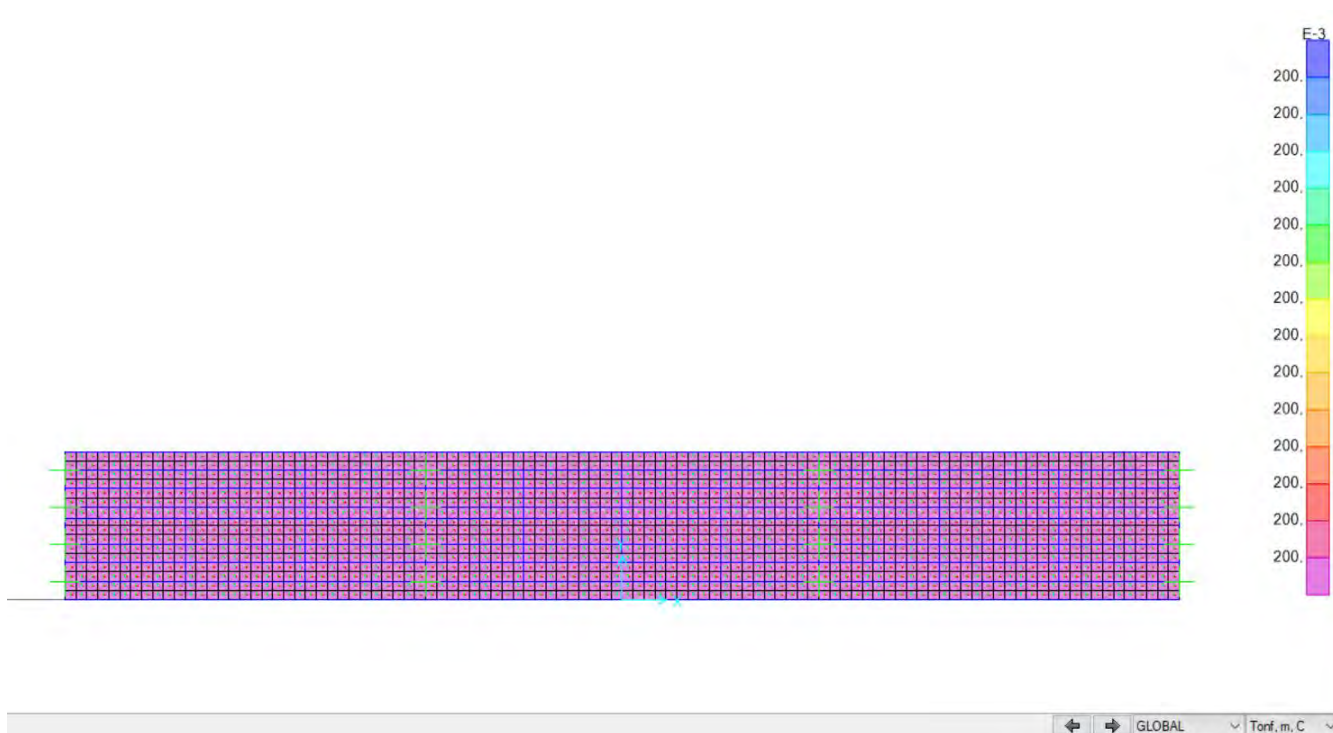


Figura 3.18 – Cargas Devido a Pavimento Futura

Assumido como 5 centímetros de espessura a primeira pavimentação e 0,20 tf/m² para pavimentação futura, conforme instrução normativa.

3.4.4 Permanentes Guarda Corpo - 2ª Fase – “GC”

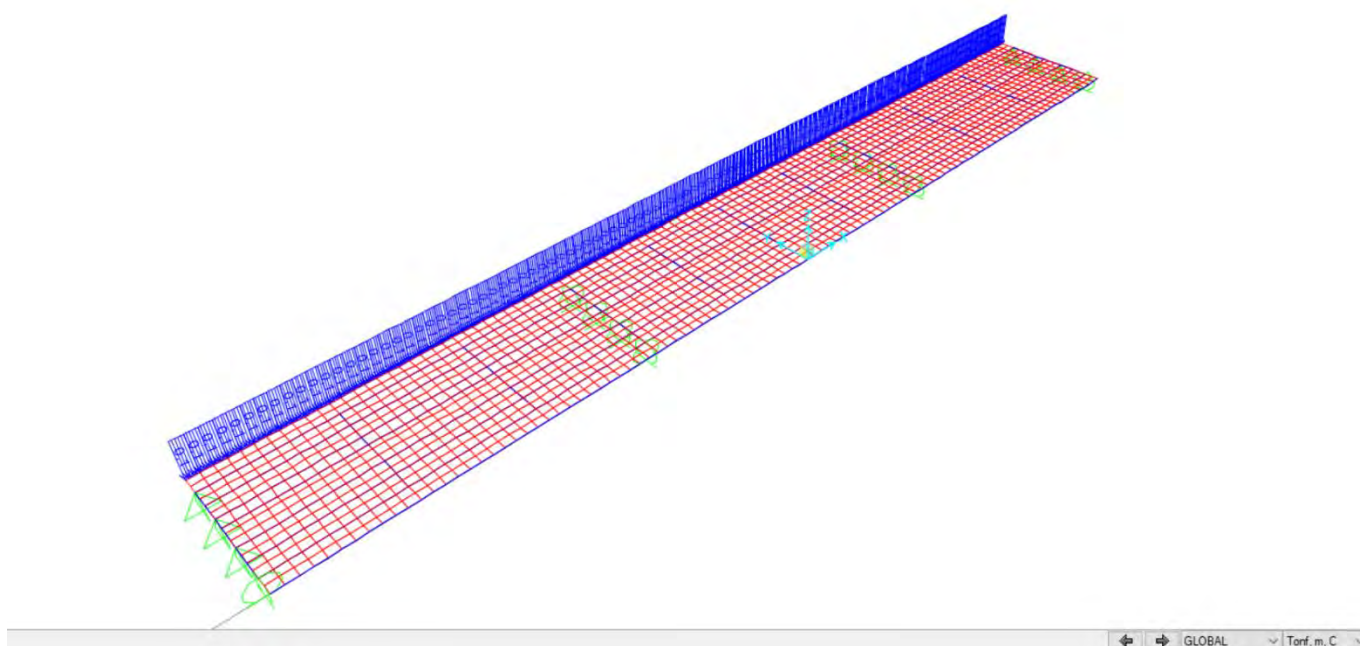


Figura 3.19 – Cargas Guarda Corpo - GC

3.4.5 Permanentes Guarda Rodas - 2ª Fase – “Gr”

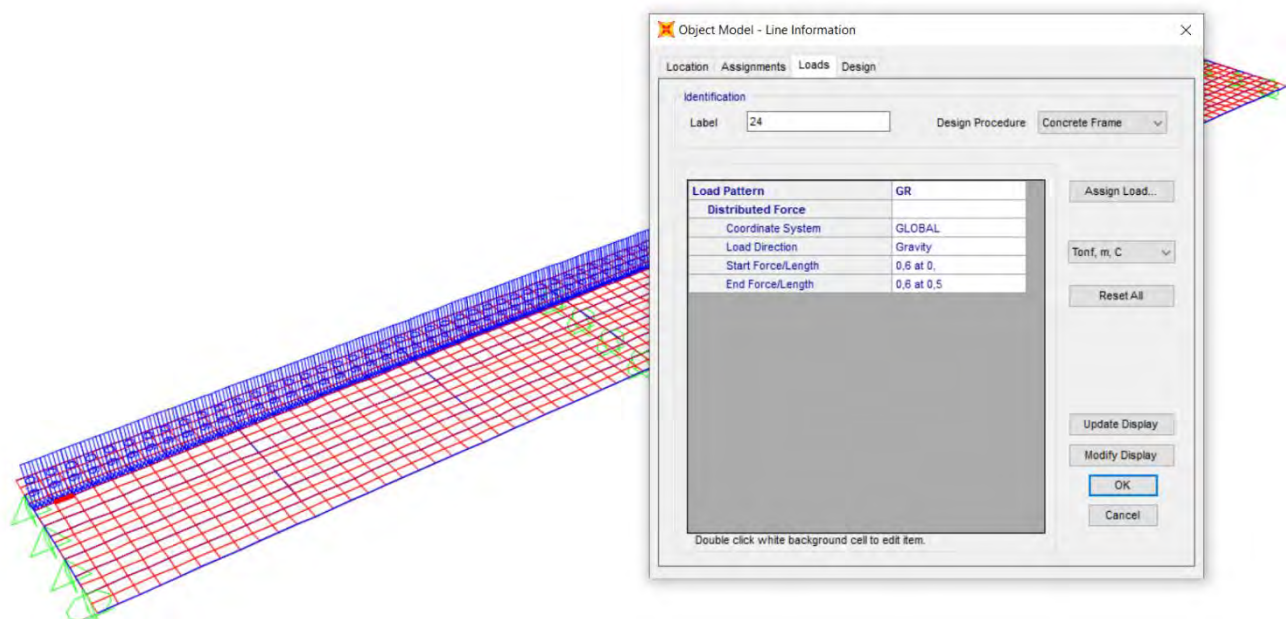


Figura 3.20 – Cargas Guarda Rodas – GR

3.4.6 Carregamento Móvel - Lanes

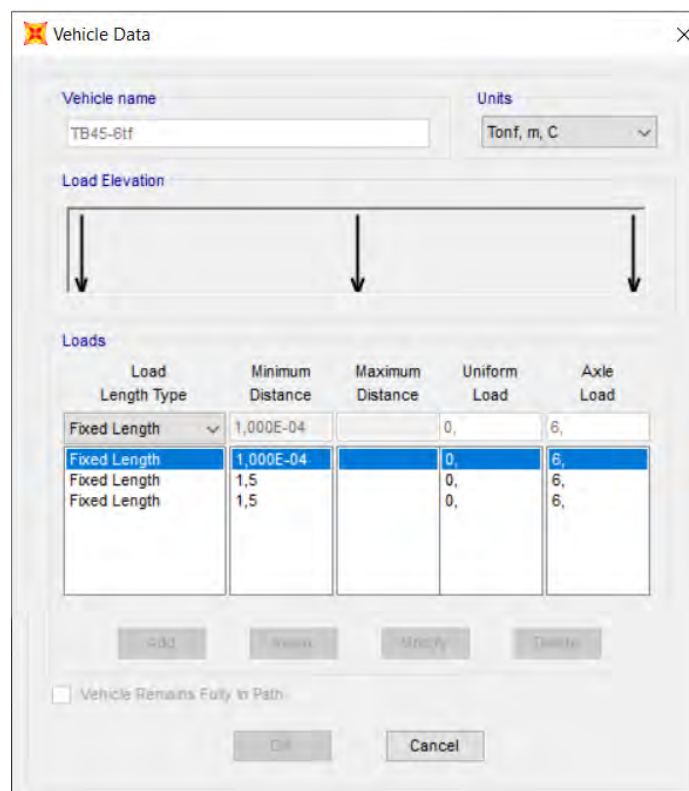
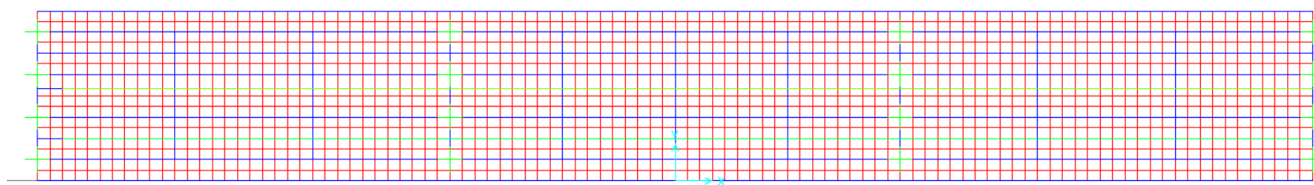


Figura 3.21 – Lançamento do Trem Tipo

A título de simplificação foi descontado das cargas concentradas o equivalente a carga distribuída de multidão na área de 18 m² ocupada pelo veículo.



3 Z=0 X0,055 Y13,516 Z0 GLOBAL Torf, m, C

Figura 3.22 – Lançamento das Lanes / Path

3.4.7 Carregamento Móvel – SCM-1



Figura 3.23 – Sobrecarga de Multidão (SCM) – Vão 1

3.4.8 Carregamento Móvel – SCM-2

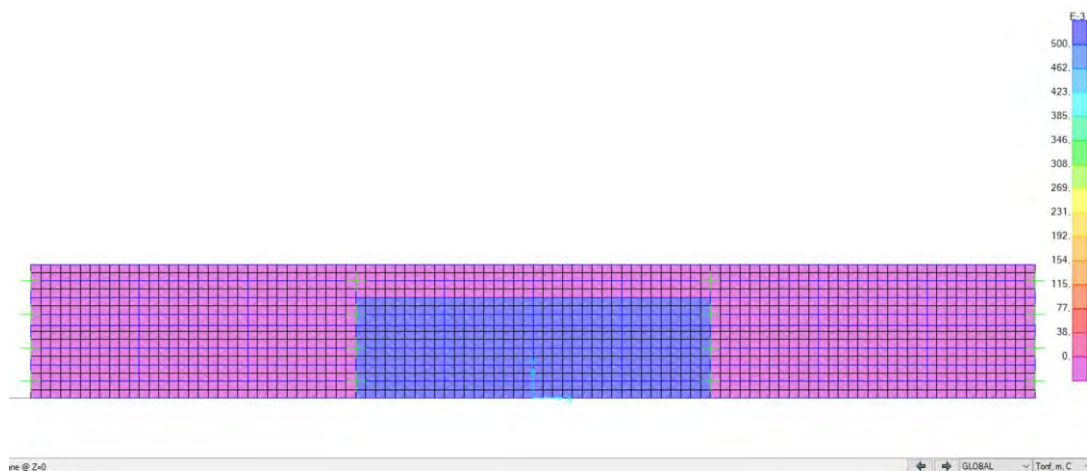


Figura 3.24 – Sobrecarga de Multidão (SCM) – Vão 2

3.4.9 Carregamento Móvel – SCM-3



Figura 3.25 – Sobrecarga de Multidão (SCM) – Vão 3

3.4.10 Carregamento Móvel – SPED1

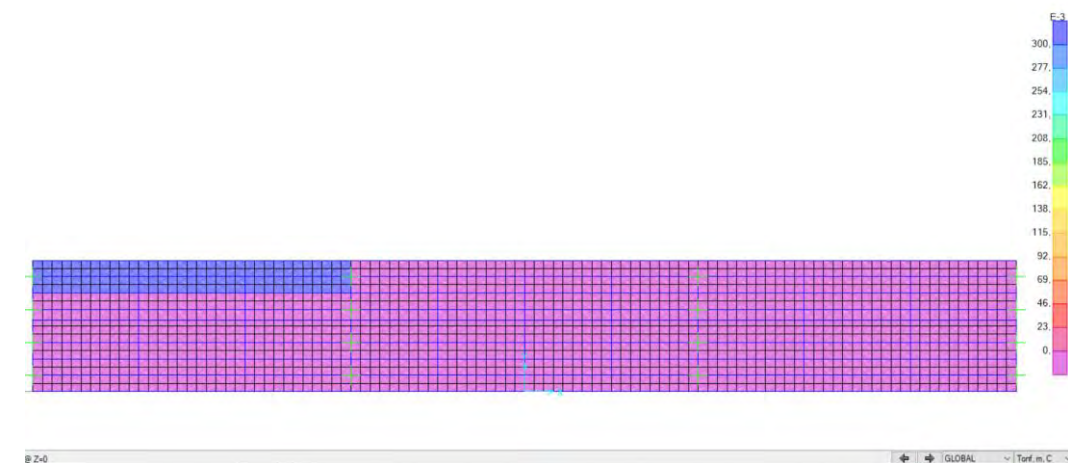


Figura 3.26 – Sobrecarga Pedestres (SPED) – Vão 1

3.4.11 Carregamento Móvel – SPED2

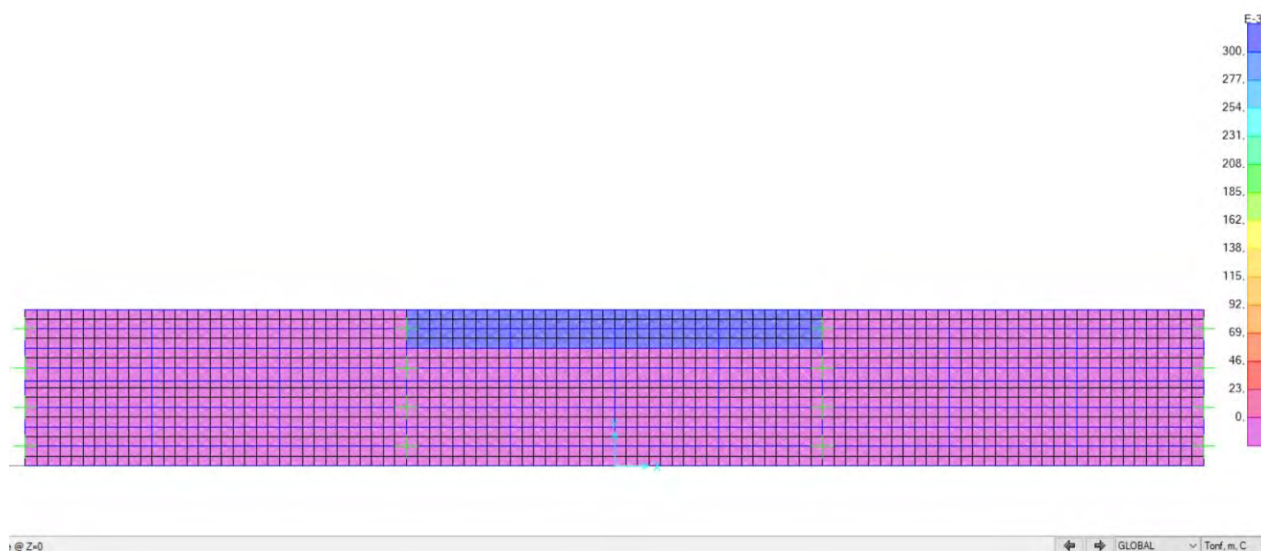


Figura 3.27 – Sobrecarga Pedestres (SPED) – Vão 2

3.4.12 Carregamento Móvel – SPED3

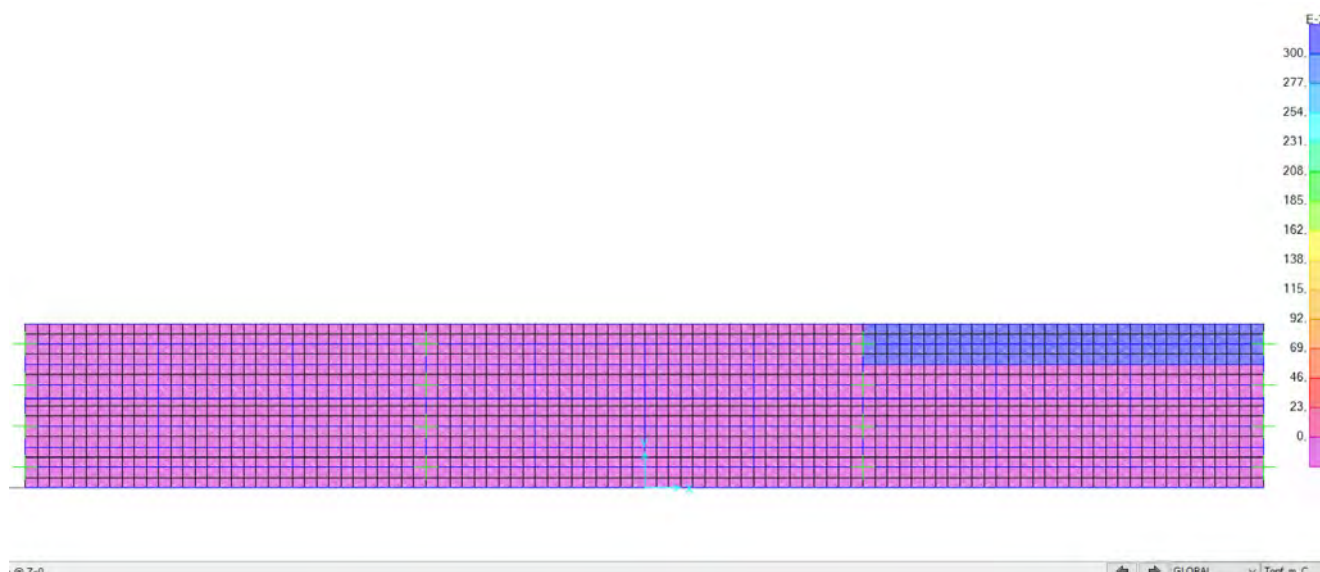


Figura 3.28 – Sobrecarga Pedestres (SPED) – Vão 3

3.5 RESULTADOS – 1ª FASE

3.5.1 Diagrama de Momento Fletor – tf x m – Peso próprio

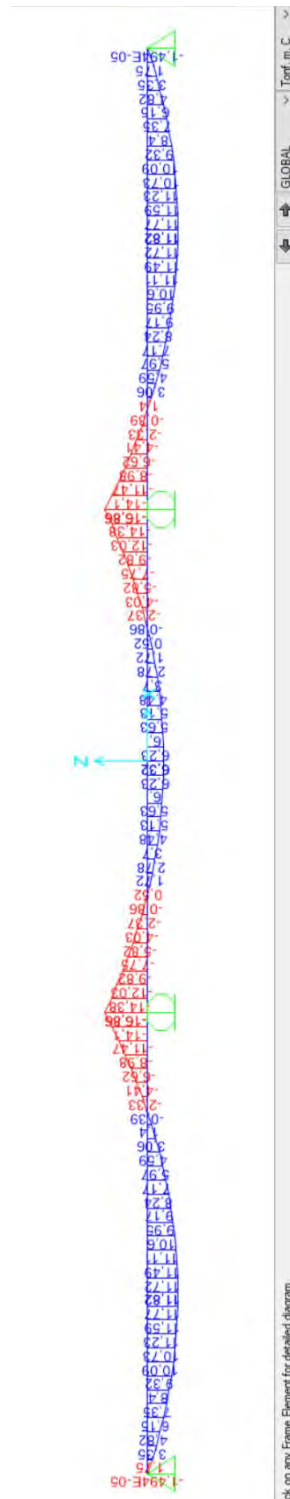
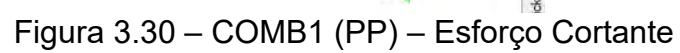


Figura 3.29 – COMB1 (PP) - MOMENTO FLETOR



3.6 RESULTADOS – 2ª FASE

3.6.1 Diagrama de Momento Fletor – tfxm – Comb. Permanentes

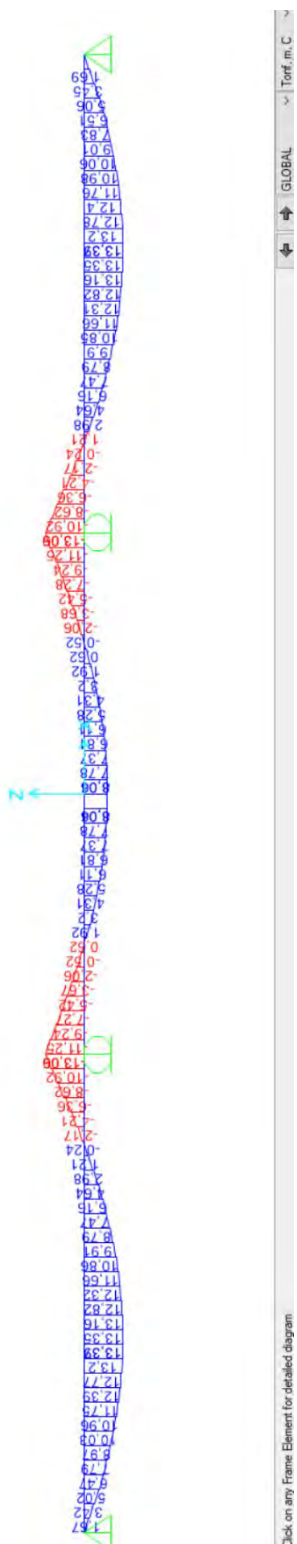
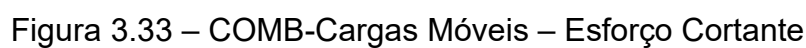


Figura 3.31 – COMB-Permanentes – Momento Fletor





3.6.4 Diagrama de Momento Fletor – $t_f \times m$ – Cargas Móveis

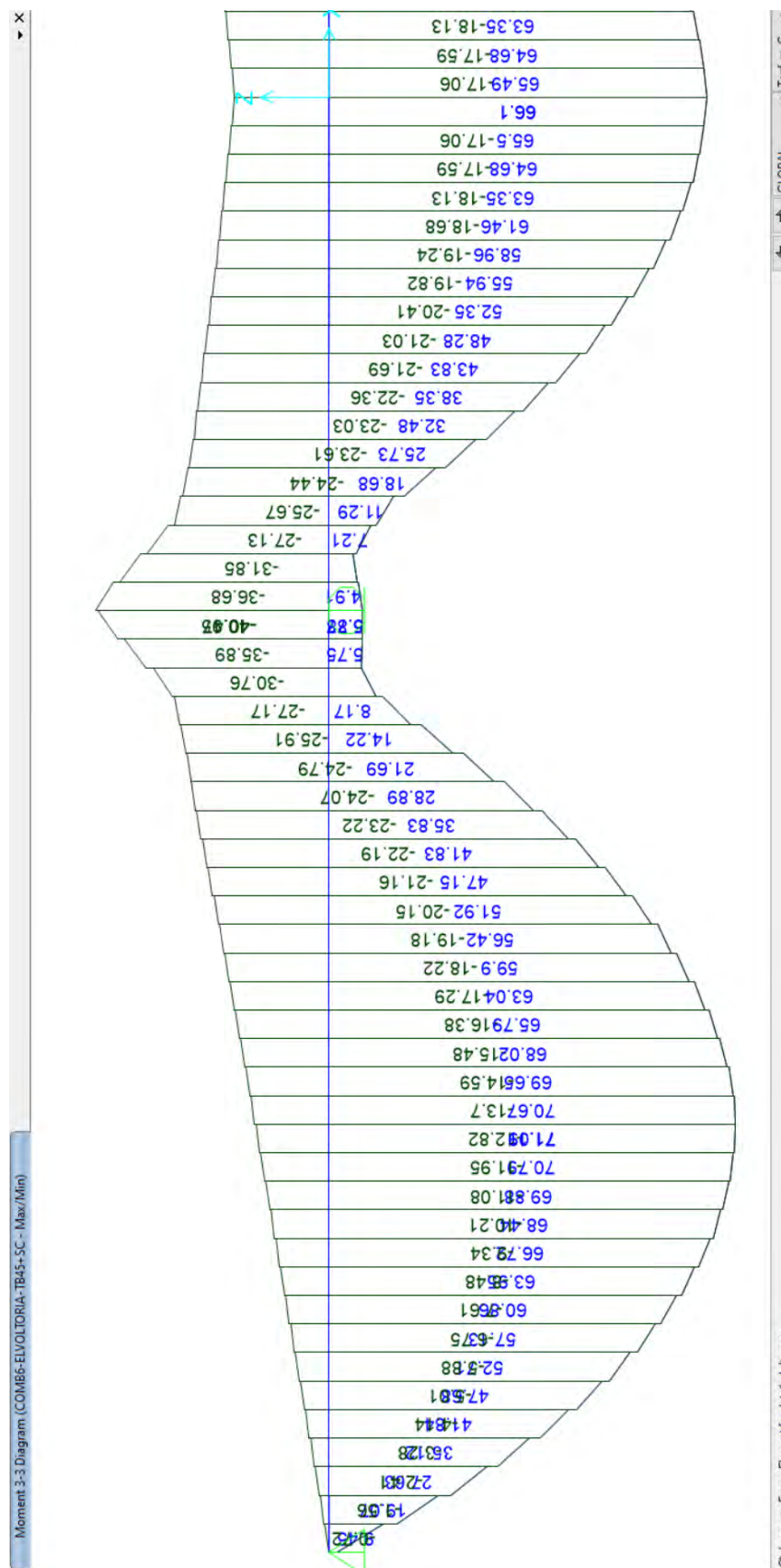


Figura 3.34 – COMB-Cargas Móveis – Momento Fletor

3.6.5 TABELA RESUMO DE ESFORÇOS SOLICITANTES E COMBINAÇÕES

MEMÓRIA DE CÁLCULO - PARTE B - ESTRUTURA METÁLICA - M (tfxm)								
TIPO	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	ETAPA
Peso Próprio (VG)	0.00	4.18	-5.97	2.25	-5.97	4.18	0.00	1a - Fase
Peso Próprio (LJ)	0.00	7.08	-10.07	5.97	-10.07	7.08	0.00	
SC-CONST	0.00	7.08	-10.07	3.70	-10.07	7.08	0.00	
C. Permanentes	0.00	13.39	-20.09	8.08	-20.09	13.39	0.00	2a - Fase
C. Móvel (TB45 +SC) +	0.00	73.46	-40.80	67.82	-40.86	73.80	0.00	
COMB - ELS - CONSTR.	0.00	23.84	-33.94	15.50	-33.94	23.84	0.00	CONSTR.
COMB-ELU	0.00	143.05	-109.38	123.51	-109.47	143.56	0.00	E.L.U.
MEMÓRIA DE CÁLCULO - PARTE B - ESTRUTURA METÁLICA - V (tf)								
TIPO	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	ETAPA
Peso Próprio (VG+LJ)	3.63	0.00	5.68	0.00	5.68	0.00	3.63	1a - Fase
C. Permanentes	2.92	0.00	5.84	0.00	5.84	0.00	2.96	2a - Fase
C. Móvel (TB45 +SC) +	16.20	8.36	17.90	6.54	17.85	4.36	16.20	
COMB-ELU	33.14	12.54	42.40	9.81	42.33	6.54	33.20	E.L.U.

Tabela 2 – Tabela resumo de esforços solicitantes.

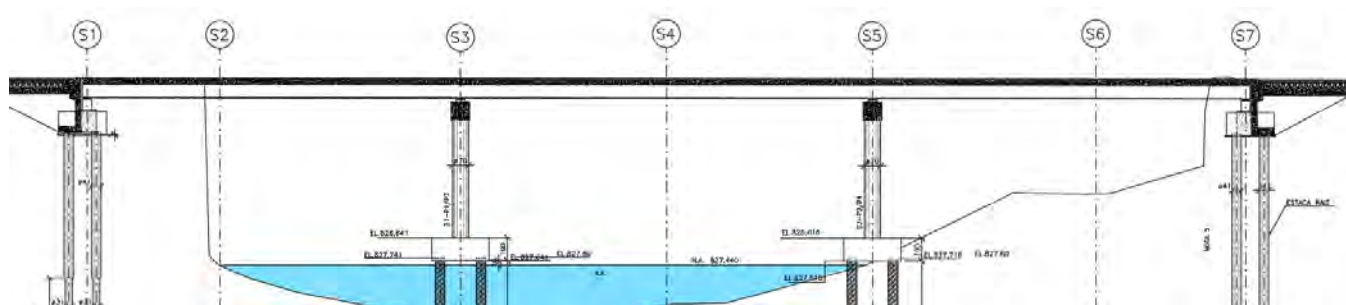


Figura 3.35 – Localização das Seções de Cálculo

4.0 COMBINAÇÕES

4.1 AÇÕES CONSIDERADAS

- Peso Próprio – DEAD – Atribuído pelo Programa
- Carga Permanente – PERM – 0,120 tf/m²
- Permanente Futura – PERM-FUT – 0,20 tf/m²
- Sobrecarga de Multidão – SC-MULT – 0,50 tf/m²
- TB45 – NBR 7188 – 45 tf
- Guardo Rodas New Jersey – GRODAS – 0,6tf/m
- Guardo Corpo Metálico – GCORPO – 0,2tf/m
- Empuxo de Solo – EMPUXO – (0,60tf/m² à 5,70) tf/m²
- Vento – VT
- Frenagem – FR
- Temperatura- TEMP

4.2 COMBINAÇÕES E FATORES

- Peso Próprio – DEAD – ELU = 1,25 / ELS =1,0 (Metálica)
- Peso Próprio – DEAD – ELU = 1,35 / ELS =1,0 (Concreto)
- Carga Permanentes – ELU = 1,35 / ELS =1,0
- TB45 – NBR 7188 – ELU = 1,5 / ELS (Longarinas / lajes) = 1,00 / 0,80

ELS: ESTADO LIMITE DE SERVIÇO

- CR: $1,0 \times \text{DEAD} + 1,0 \times (\text{PERM} + \text{PER-FUT}) + 1,0 \times \text{EMP} + 1,0 \times \text{CIV} \times (\text{TB45} + \text{SC-MULT} + \text{FN}) + 0,5 \times \text{VT} + 0,5 \times \text{TEMP}$
- CF: $1,0 \times \text{DEAD} + 1,0 \times (\text{PERM} + \text{PER-FUT}) + 1,0 \times \text{EMP} + 0,50 \times \text{CIV} \times (\text{TB45} + \text{SC-MULT} + \text{FN}) + 0,3 \times \text{VT} + 0,3 \times \text{TEMP}$
- QP: $1,0 \times \text{DEAD} + 1,0 \times (\text{PERM} + \text{PER-FUT}) + 1,0 \times \text{EMP} + 0,30 \times \text{CIV} \times (\text{TB45} + \text{SC-MULT} + \text{FN})$

ELU: ESTADO LIMITE ÚLTIMO

- $1,35/1,25 \times \text{DEAD} + 1,35 \times (\text{PERM} + \text{PER-FUT}) + 1,4 \times \text{EMP} + 1,5 \times \text{CIV} \times (\text{TB45} + \text{SC-MULT} + \text{FN}) + 0,84 \times \text{VT}$

5.0 VERIFICAÇÃO DAS SEÇÕES – VIGAS METÁLICAS

5.1 VERIFICAÇÃO DA LONGARINA PRINCIPAL W610x195

5.1.1 TENSÕES DE SERVIÇO

Para verificação das tensões nas seções, foi criada uma tabela em Excel para o cálculo das tensões nas seções principais S1 (Metade do Primeiro Vão), S2 (Sobre os Pilares), S3 (Metade do vão central). As tensões foram calculadas considerando o Perfil “I” para as fases de lançamento e concretagem da laje superior, e o Perfil Misto, para as cargas que atuam após a solidarização da seção. Foi considerado, de acordo com recomendações normativas, um fator 3 que reduz o tamanho da mesa de concreto na composição do Perfil Misto, com objetivo de estimar perdas de retração e fluência da seção para cargas de longa duração. Considerou-se, ainda, que a combinação quase permanente para cargas móveis é de longa duração, fazendo com que 30% dos esforços das cargas móveis fossem calculados com as propriedades reduzidas da seção.

TENSÕES ELÁSTICAS NAS SEÇÕES PRINCIPAIS			
PROPRIEDADES DAS SEÇÕES - 1ª FASE			
SEÇÃO	S1	S2	S3
H Perfil (cm)	62,2	62,2	62,2
yg (cm)	31,1	31,1	31,1
Ixx (cm ⁴)	168484,0	168484,0	168484,0
Ws (cm ³)	1354,4	1354,4	1354,4
Wi (cm ³)	1354,4	1354,4	1354,4
PROPRIEDADES DAS SEÇÕES - 2ª FASE			
SEÇÃO	S1	S2	S3
H Perfil (cm)	82,2	82,2	82,2
αE	6,8	6,8	6,8
yg (cm)	26,1	42,2	26,1
d' (cm)	0,0	4,0	0,0
H(laje) cm	20,0	20,0	20,0
Ixx (cm ⁴) -	447792,5	236897,0	447792,5
Ixx (cm ⁴) - Fluência	315619,0	-	315619,0
Propriedades - Seção Sem Fluência			
Ws'' (cm ³) - Laje Cocr.	17156,8	0,0	17156,8
Ws' (cm ³) - As'	0,0	5613,7	0,0
Ws (topo-Perfil)	73408,6	9041,9	73408,6
Wi	7982,0	6580,5	7982,0
Propriedades - Fluência			
yg (cm)	37,8	0,0	37,8
Ws'' (cm ³) - Lj Cocr.	8349,7	0,0	8349,7
Ws' (cm ³) - As'	0,0	5613,7	0,0
Ws (topo-Perfil)	17731,4	9041,9	17731,4
Wi	7108,5	6580,5	7108,5

Figura 5.1 – Propriedades Para Verificação das Tensões de Serviços nas Seções Principais

ESFORÇOS SOLICITANTES E TENSÕES - 1ª FASE			
SEÇÃO	S1	S2	S3
M(PP) - kNxc	11820,0	-16860,0	6320,0
σ_s (Top Perfil)-kN/cm ²	8,7	-12,4	4,7
σ_i - kN/cm ²	8,7	-12,4	4,7
ESFORÇOS SOLICITANTES E TENSÕES - 2ª FASE			
SEÇÃO	S1	S2	S3
M(Perm) - kNxc	11630,0	-11980,0	780,0
M(CMóvel) - kNxc	71070,0	-40930,0	66090,0
σ_s'' (cm ³) - Laje Cocr.	-0,6	-	-0,5
σ_s' (cm ³) - As'	0,0	9,4	0,0
σ_s (topo-Perfil)	-2,5	5,9	-1,8
σ_i	10,9	-8,0	8,7
TENSÕES DE SERVIÇO - ELS - COMBINAÇÃO RARA - kN/cm ²			
	S1	S2	S3
σ_s'' (cm ³) - Laje Cocr.	-0,6	-	-0,5
σ_s' (cm ³) - As'	-	9,4	-
σ_s (topo-Perfil)	6,2	-6,6	2,9
σ_i	19,6	-20,5	13,4

Figura 5.2 – Verificação das Tensões de Serviços nas Seções Principais

5.1.2 VERIFICAÇÃO A FADIGA SEÇÃO DE MAIOR MOMENTO POSITIVO

VERIFICAÇÃO À FADIGA - FLEXÃO			
VERIFICAÇÃO À FADIGA DO AÇO			
M _{cm}	71100,0	kNxc	(M.Fletor Cargas móveis) x Impacto
Sr1	8,9	kN/cm ²	Tensão atuante Fibra Inferior
Sr	11,2	kN/cm ²	Tensão Limite Resistente a fadiga (*)
Sr/Sr1	1,26	-	Relação entre Sr/Sr1
VERIFICAÇÃO À FADIGA DO CONCRETO			
$\sigma_{cm\acute{a}x}$	0,7	kN/cm ²	Tensão Máxima de Compressão
$f_{cd\&f\acute{a}diga}(1)$ -Eucode	1,5	kN/cm ²	Tensão Limite Resistente a fadiga (*)
σ_{rara}	0,7	kN/cm ²	Tensão da Combinação rara
$f_{cd\&f\acute{a}diga}(2)$ -NBR6118-20014	1,3	kN/cm ²	Tensão Limite Resistente a fadiga (*)
$\eta_c \cdot \gamma \cdot \sigma_{cm\acute{a}x\acute{m}a}$	0,6	kN/cm ²	Tensão da Combinação rara ($\eta \cdot \gamma$)
$\sigma_{(lim-fadiga)}/(\sigma_{cm})$	2,31	-	Relação entre $\sigma_{(lim-fadiga)}/(\sigma_{cm})$
OK! (Sr1<Sr)			

Figura 5.3 – Verificação a Fadiga do Concreto no Flange da Viga

5.1.3 VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE NA FASE DE CONSTRUÇÃO

Verificação do Perfil I com seus contraventamentos submetidos ao peso próprio, concretagem da laje e sobrecarga de construção igual a 0,20 tf/m². $M_{cp1,sd} = -33,94$ tfxm (ver item 3.6.5)

1 - VERIFICAÇÕES DA 1ª FASE - CONSTRUÇÃO					
1.1 - FLA - FLAMBAGEM LATERAL DA ALMA					
λ	37.22				
λ_p	91.00				
λ_r	137.95				
$\lambda < \lambda_p$					
M_{RK}	211157.80	Momento Resistente Nominal $kNxc m$			
1.2 - FLM - FLAMBAGEM LATERAL DA MESA					
λ	6.70				
λ_p	9.20				
λ_r	22.25				
$\lambda < \lambda_p$					
M_{RK}	211157.80	Momento Resistente Nominal $kNxc m$			
1.3 - FLT - FLAMBAGEM LATERAL A TORÇÃO					
A forma contém lateralmente a viga?		NÃO	Lb	550.00	cm
Msc1(M-Fase 1)	33940.00				
λ	72.57				
λ_p	42.59				
λ_r	129.44				
$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$					
M_{RK}	187626.88				
OK - $M_{SC1} < M_{RK} / \gamma_{aço}$					
RESULTADO FINAL DA VERIFICAÇÃO					
$M_{Rd} - (M_{RK} / \gamma_{aço})$	170569.89	Momento Fletor Resistente de Cálculo			
$M_{CP1,Sd}$	33940.00	Momento Majorado da Primeira Fase			
$M_{Rd} / M_{CP1,Sd}$	5.03	Relação entre $M_{Rd} / M_{CP1,Sd}$			
OK! $M_{CP1,Sd} < M_{Rd}$					

Figura 5.4 – Verificação das Longarinas com a Pré-laje e Concretagem

5.1.4 VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO

$V_d = 42,40$ tf (ver item 3.6.5)

2.4 - VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO				
$\lambda (h/tw)$	37.2		$\lambda < \lambda_p$	
V_{sd}	424.40		$kNxc m$	Esforço Majorado Máximo ao Cisalhamento
V_{Rd}	1685.21		$kNxc m$	Esforço Resistente ao Cisalhamento
V_{Rd} / V_{sd}	3.97		-	Relação entre V_{Rd} / V_{sd}
OK! $V_{sd} < V_{Rd}$				

Figura 5.5 – Verificação das Longarinas aos Esforço de Cisalhamento

Pelo V_{rd} outras seções estão verificadas.

5.1.5 CONECTORES DE CISALHAMENTO

Abaixo segue diagrama de cortante de onde foram retirados os esforços para dimensionamento dos conectores de cisalhamento pela fadiga.

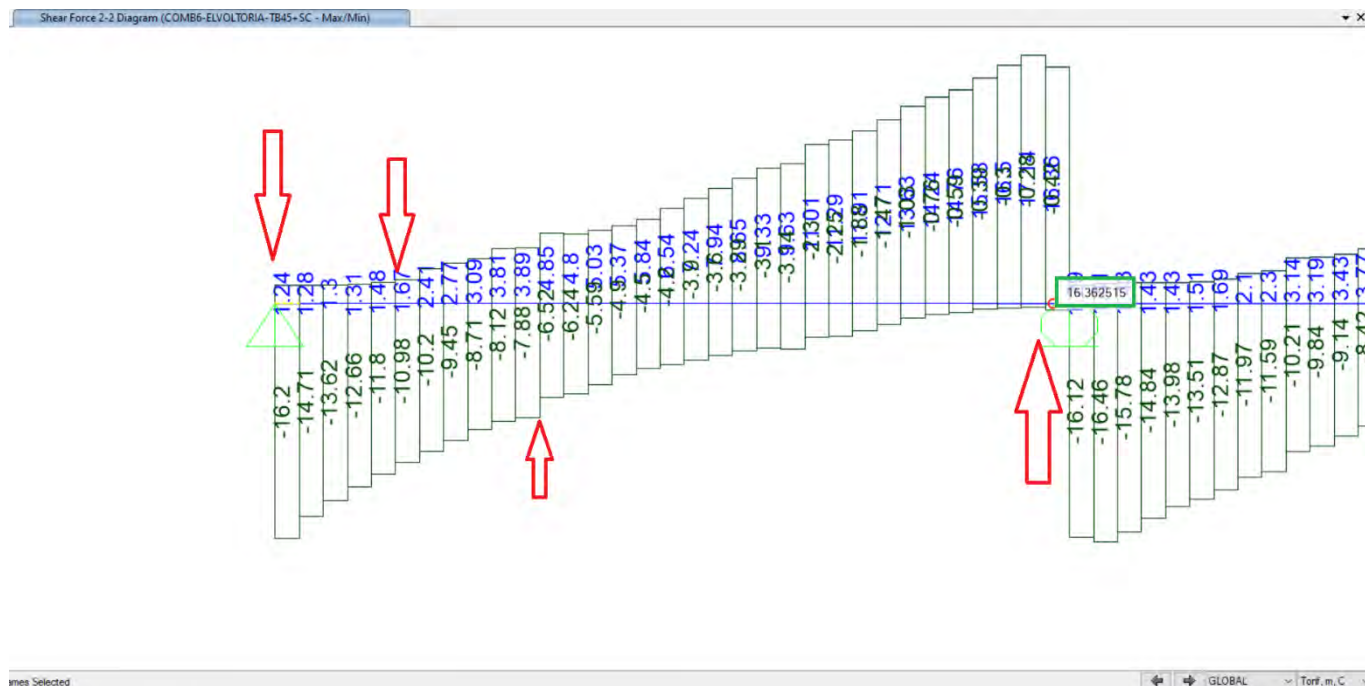


Figura 5.6 – Diagrama de Cortante – Cargas Móveis

Região Próxima aos apoios: $V = 16,35$ tf

Foram considerados Pinos com Cabeça Stud feitos em fábrica para trabalhar garantindo a aderência entre a Laje e o Perfil Metálico. A verificação é feita tanto pelo escoramento da laje de concreto quanto pela fadiga causada pelo carregamento móvel.

PROPRIEDADES DOS CONECTORES TIPO PINO COM CABEÇA STUD			
E_{conect}	20000,00	kN/cm ²	Módulo de Elasticidade do Aço
F_y	35,00	kN/cm ²	Limite de Escoamento do Aço
F_u	45,00	kN/cm ²	Limite de Resistência do Aço - Ruptura
V_{cs}	1,25	-	Coefficiente de Ponderação de Resistência do Conector
ϕ	19,00	mm	Diâmetro do Conector
h_{cs}	15,00	cm	Altura do Conector
R_g	1,00	-	Coefficiente de Consideração de Efeito de Grupo de Conectores
R_p	1,00	-	Coefficiente de Consideração da Posição do Conector
n	2,00	-	Número de Conectores por Linha sobre a Mesa
α (fadiga)	5,40	-	Fator α referente ao número de Ciclos

Figura 5.7 – Propriedades dos Pinos de Cisalhamento

PINOS - Interação Total - VERIFICAÇÃO ÚLTIMA							
Fhd(1)	5367,14	kN	Qrd(1)	124,45	kN	Nmin	53
Fhd(2)	6626,62	kN	Qrd(2)	102,07	kN	N(Até centro)	53
fhd(ad)	5367,14	kN	Qrd(ad)	102,07	kN	N(adotado)	53
PINOS - FADIGA							
Q(CM)	163,50	kN	YM(2)	56,39	cm	n	2,00
leq	450825,91	cm ⁴	mo	6267,61	cm ³	Zrs	19,494
α_E	6,81	$E_{aço}/E_{con}$	Sr0	2,27	kN/cm	dos	17,2
ec	13,5	cm	$\alpha(fadiga)$	5,40		dos(adotado)	17,2
						FINAL ESCOLHA	
						Dos(1-ELU)	17,2
						Dos(2-f)	31,4
						dos(adotado)	17,2
						Espaçamento entre STUDs	

Figura 5.8 – Verificação a fadiga e Determinação do Espaçamento entre Pinos – Apoios
Região Depois de 3 metros do apoio: $V = 10,97 \text{ tf}$

PINOS - Interação Total - VERIFICAÇÃO ÚLTIMA							
Fhd(1)	5367,14	kN	Qrd(1)	124,45	kN	Nmin	53
Fhd(2)	6626,62	kN	Qrd(2)	102,07	kN	N(Até centro)	53
fhd(ad)	5367,14	kN	Qrd(ad)	102,07	kN	N(adotado)	53
PINOS - FADIGA							
Q(CM)	109,70	kN	YM(2)	56,39	cm	n	2,00
leq	450825,91	cm ⁴	mo	6267,61	cm ³	Zrs	19,494
α_E	6,81	$E_{aço}/E_{con}$	Sr0	1,53	kN/cm	dos	25,6
ec	13,5	cm	$\alpha(fadiga)$	5,40		dos(adotado)	25,6
						FINAL ESCOLHA	
						Dos(1-ELU)	25,6
						Dos(2-f)	31,4
						dos(adotado)	25,6
						Espaçamento entre STUDs	

Figura 5.9 – Verificação a fadiga e Determinação do Espaçamento entre Pinos – Centro

Regiões Gerais – Meio da Viga: $V = 7,2 \text{ tf}$

PINOS - Interação Total - VERIFICAÇÃO ÚLTIMA							
Fhd(1)	5367,14	kN	Qrd(1)	124,45	kN	Nmin	53
Fhd(2)	6626,62	kN	Qrd(2)	102,07	kN	N(Até centro)	53
fhd(ad)	5367,14	kN	Qrd(ad)	102,07	kN	N(adotado)	53
PINOS - FADIGA							
Q(CM)	72,00	kN	YM(2)	56,39	cm	n	2,00
leq	450825,91	cm ⁴	mo	6267,61	cm ³	Zrs	19,494
α_E	6,81	$E_{aço}/E_{con}$	Sr0	1,00	kN/cm	dos	38,9
ec	13,5	cm	$\alpha(fadiga)$	5,40		dos(adotado)	31,4
						FINAL ESCOLHA	
						Dos(1-ELU)	38,9
						Dos(2-f)	31,4
						dos(adotado)	31,4
						Espaçamento entre STUDs	

Figura 5.10 – Verificação a fadiga e Determinação do Espaçamento entre Pinos – Geral

Região de Momento Negativo: $V_m = 16,36 \text{ tf}$

$$m_0 = (11 \times 3,14) \times (62,20 + 16 - 37) - \text{Momento Estático da Seção}$$

$$m_0 = 1423,04 \text{ cm}^3$$

$$I_{mxx} = 236897 \text{ cm}^4 - \text{Inércia da Seção Mista}$$

$$Sr_0 = V_m \times m_0 \div I_m - \text{Cisalhamento Horizontal / cm}$$

$$Sr_0 = 0,983 \text{ kN/cm}^2$$

$$Dos = (2 \times 1,9^2 \times 5,60)/0,98$$

$$Dos = 41,25 \text{ cm}$$

Utilizar espaçamento mínimo de 30 centímetros.

5.2 LIGAÇÕES

5.2.1 ESFORÇOS SOLICITANTES

5.2.1.1 Vão Central – A 4,50 metros do Pilar

1ª Etapa (Peso Próprio + Concretagem):

$$M_{pp} = 0,521 \text{ tf} \times \text{m}$$

$$V_{pp} = -2,61 \text{ tf}$$

2ª Etapa (Permanentes + Móvel):

$$M_{perm} = 2,43 \text{ tf} \times \text{m}$$

$$V_{perm} = -1,85 \text{ tf}$$

$$M_{móvel(+)} = 43,82 \text{ tf} \times \text{m}$$

$$M_{móvel(-)} = -21,85 \text{ tf} \times \text{m}$$

$$V_{móvel} = 2,27 \text{ tf}$$

$$V_{móvel} = -11,65 \text{ tf}$$

Tabela resumo com esforços na Ligação do Vão central da Ponte:

MEMÓRIA DE CÁLCULO - PARTE B - ESTRUTURA METÁLICA		
(4,5 m do Pilar - Vão Central)		
TIPO	Vd	Md
1a FASE	-2.61	0.52
2a FASE - Perm.	-1.85	2.43
2a FASE - Móvel (+)	-11.65	43.85
2a FASE - Móvel (-)	2.27	-21.85

5.2.1.2 Vão Lateral – A 4,50 metros do Pilar

1ª Etapa (Peso Próprio + Concretagem):

$$M_{pp} = 3,06 \text{ tf} \times \text{m}$$

$$V_{pp} = -3,46 \text{ tf}$$

2ª Etapa (Permanentes + Móvel):

$$M_{perm} = 2,17 \text{ tf} \times \text{m}$$

$$V_{perm} = 4,25 \text{ tf}$$

$$M_{móvel(+)} = 47,11 \text{ tf} \times \text{m}$$

$$M_{móvel(-)} = -21,41 \text{ tf} \times \text{m}$$

$$V_{móvel} = 11,89 \text{ tf}$$

$$V_{móvel} = -1,89 \text{ tf}$$

Tabela resumo com esforços na Ligação do Vão central da Ponte:

MEMÓRIA DE CÁLCULO - PARTE B - ESTRUTURA METÁLICA		
(4,5 m do Pilar - Vão Lateral)		
TIPO	Vd	Md
1a FASE	-3.46	3.06
2a FASE - Perm.	4.25	2.17
2a FASE - Móvel (+)	11.89	47.11
2a FASE - Móvel (-)	-1.89	-21.41

5.2.2 CÁLCULO DA LIGAÇÃO

Com a semelhança entre os esforços, a verificação será feita para a ligação dos vãos laterais que tem valores ligeiramente maiores.

5.2.2.1 Propriedades das Seções por Etapa (Simples, misto com Fluência, misto sem Fluência):

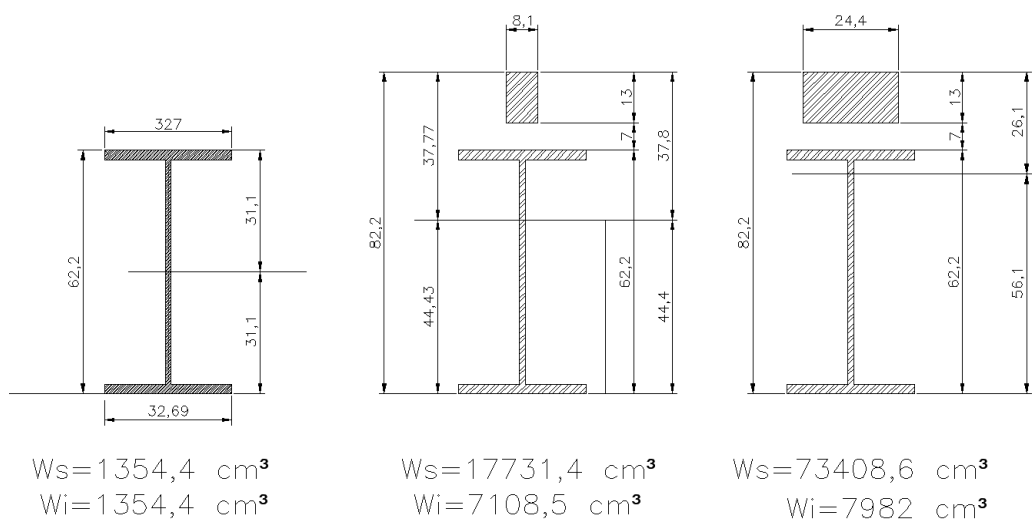


Figura 5.11 – Propriedades para Cálculo de Ligações

5.2.2.2 Cálculo da Ligação da Mesa Superior:

Cálculo da Tensão Média da Mesa Superior:

$$\sigma_s(\text{med}) = \frac{3060}{1354} \times (0,961) + \frac{4250 + 0,3 \times 47110}{17731,4} \times (0,93) + \frac{47110 \times 0,70}{73408,6} \times (0,80)$$

$$\sigma_s(\text{med}) = 3,50 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{v\text{med}} = 3,50 \times (\text{Areamesa})$$

$$F_{v\text{med}} = 279 \text{ kN}$$

- Os multiplicadores em parênteses corrigem a seção da borda para o centro da chapa.

Cálculo Prévio do Número de Parafusos (A ser verificado pela fadiga e furos):

$$n^{\circ} \text{ Parafusos} = F_{v\text{med}} / R_s$$

$$n^{\circ} \text{ Parafusos} = 279 / (29,50 \times 2)$$

$$n^{\circ} \text{ Parafusos} = 4,73$$

Onde 29,50 kN é a resistência do parafuso Ø¾ A325 e 2 dois o número de plano de cortes.

Cálculo da Área das Talas de Ligação superior:

Tala Externa: CH 12.5 x 320 - Estimativa

Tala Interna: 2 x CH 16 x 150 - Estimativa

$$A_{nec} = 2,44 \times 32,70 = 79,79 \text{ cm}^2 - (\text{Área da mesa superior})$$

$$A_{talas} = 32,0 \times 1,25 + 2 \times 15 \times 1,6 = 88,0 \text{ cm}^2 - (\text{Soma das Áreas das Talas})$$

$A_{talas} > A_{nec}$ – OK!

5.2.2.3 Cálculo da Ligação da Mesa Inferior:

Cálculo da Tensão Média da Mesa Inferior:

$$\sigma_s(\text{med}) = \frac{3060}{1354} \times (0,961) + \frac{4250+0,3 \times 47110}{7108,50} \times (0,973) + \frac{47110 \times 0,70}{7982} \times (0,9782)$$

$$\sigma_s(\text{med}) = 8,73 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{vmed} = 8,73 \times (A_{reamesa})$$

$$F_{vmed} = 696,50 \text{ kN}$$

Cálculo Prévio do Número de Parafusos (A ser verificado pela Fadiga e Furos):

$$n^{\circ} \text{ Parafusos} = F_{vmed} / R_s$$

$$n^{\circ} \text{ Parafusos} = 696,50 / (29,50 \times 2)$$

$$n^{\circ} \text{ Parafusos} = 12$$

Onde 29,50 kN é a resistência do parafuso Ø³/₄ A325 e 2 dois o número de plano de cortes.

Cálculo da Área das Talas de Ligação Inferior:

Tala Externa: CH 12.5 x 320 - Estimativa

Tala Interna: 2 x CH 16 x 150 - Estimativa

$$A_{nec} = 2,44 \times 32,70 = 79,79 \text{ cm}^2 (\text{Área da mesa Inferior})$$

$$A_{talas} = 32,0 \times 1,25 + 2 \times 15 \times 1,6 = 88,0 \text{ cm}^2 (\text{Soma da área das Talas})$$

$A_{talas} > A_{nec}$ – OK!

5.2.2.4 Cálculo da Ligação da Alma:

Cálculo da Tensão Média da Mesa Inferior:

$V = 16,11 \text{ tf}$ (Soma dos Valores de Cortante atuante das tabelas)

CH 15,4 x 622 (Chapa de Alma do Perfil)

$$F_v = 0,33 \times F_y = \frac{11,60 \text{ kN}}{\text{cm}^2}$$

$$F_v = 175,20 / (1,54 \times 62,20) = 1,83 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_v (\text{médio}) = 11,60 + \frac{1,83}{2} = \frac{6,71 \text{ kN}}{\text{cm}^2} < 0,75 \times 11,60 - \text{OK!}$$

$V_r (\text{alma}) = 8,70 \times 1,54 \times 62,50$ (Força Resistente da Alma)

$V_r (\text{alma}) = 837,40 \text{ kN} > 161,0 \text{ kN} - \text{OK!}$

Momento Fletor resistido pela Alma pela linha neutra descentralizada:

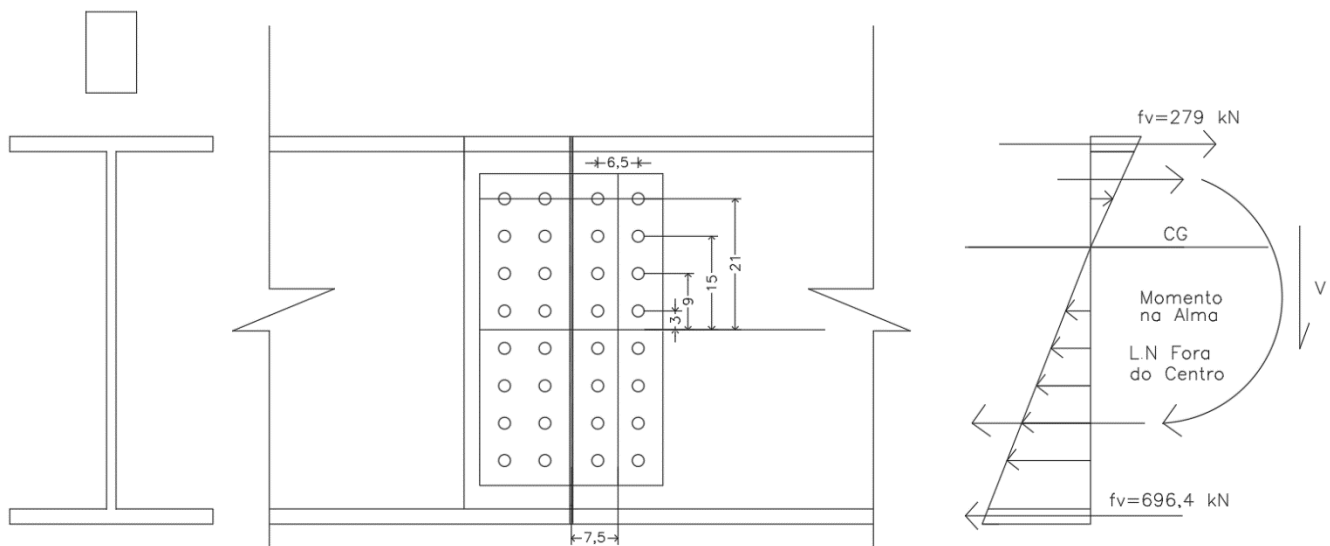


Figura 5.12 – Propriedades para Cálculo de Ligações

O momento será calculado abaixo pelas tensões nas divisas da alma com as mesas, multiplicado pelas áreas, multiplicadas pelo braço de alavanca até o centro de gravidade:

$$\begin{aligned}
 M &= \left(\frac{4250 + 0,3 \times 47110}{17731,4} \right) (0,863) \times 15,36 \times 0,50 \times 1,54 \times 10,24 \\
 &+ \frac{47110 \times 0,70}{73408,6} \times (0,60) \times 3,66 \times 0,50 \times 1,54 \times 2,44 \\
 &+ \frac{4250 + 0,3 \times 47110}{7108,50} \times (0,945) \times 41,96 \times 0,50 \times 1,54 \times 27,97 \\
 &+ \frac{47110 \times 0,70}{7982} \times (0,9565) \times 53,70 \times 0,50 \times 1,54 \times 35,77
 \end{aligned}$$

$$M = 8163,45 kN \times cm$$

A esse momento deve ser somado o momento gerado pela cortante ao centro dos parafusos na horizontal:

$$M_{total} = 8163,45 + 7,50 \times 161,10 kN \times cm$$

$$M_{total} = 9371,70 kN \times cm$$

Momento Polar de Inércia do conjunto e parafusos:

$$\Sigma d^2 = 16 \times 7,5^2 + 4 \times (3^2 + 9^2 + 15^2 + 21^2)$$

$$\Sigma d^2 = 3924 \text{ cm}^2$$

Força de Cisalhamento no Parafuso no parafuso mais solicitado (21 cm de distância):

$$f_h = \frac{9371,70}{3924} \times 21 = 50,15 \text{ kN (Força Horizontal)}$$

$$f_v = \frac{9371,70}{3924} \times 3,25 + \frac{161,10}{16} = 17,83 \text{ kN (Força Vertical com Cortante)}$$

$$f = 0,50 \times \sqrt{(50,15^2 + 17,83^2)} - \text{Componente de Força no parafuso}$$

$$f = 26,61 kN$$

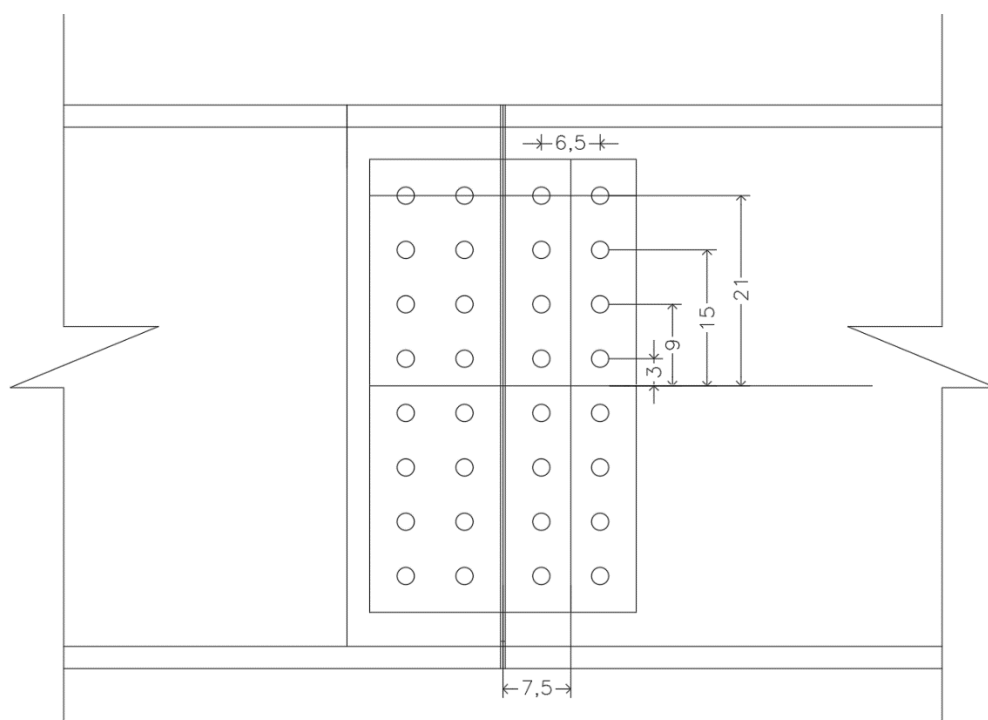


Figura 5.13 – Proposta para Ligação de Alma

Cálculo da Área das Talas da Ligação da Alma:

2xCH10x300x500 - Estimativa

$A_{nec} = 62,2 \times 1,54 = 95,79 \text{ cm}^2$ - Área Existente

$A_{talas} = 2 \times 1 \times 50 = 100,0 \text{ cm}^2$ - Soma da Área das Talas

$A_{talas} > A_{nec}$ – OK!

5.2.3 COMPATIBILIZAÇÃO DOS PARAFUSOS

Para Atender a linha do cisalhamento com 29,50 kN, adotar-se-á o parafuso Ø^{3/4"} A490-FU=103,5kN – AASHTO/02.

TABELA 6.6 – Cargas admissíveis nos parafusos em kN - AASHTO / 02

Diâmetro dp			Designação													
			A-325 – Fu = 82,5 kN/cm ²						A490 – Fu = 103,5 kN/cm ²						A-307-Fu = 41,5	
			Tração Ft (1)	Cisalhamento simples (3) (4)				Contato Fv (2)	Tração Ft (1)	Cisalhamento simples (3)(4)				Contato Fv (2)	Tração Ft (1)	Cisal. simples Fv (2)
				Atrito (Fricção) (5) Fv						Atrito (Fricção) (5) Fv						
UNC	ISO	Ap	P	A,AC	AL	ALP		P	A,AC	AL	ALP					
pol.	mm	cm ²	26,4	10,34	8,8	7,21	6,2	13,2	33,1	13,0	11,0	9,1	7,8	16,6	13,3	6,6
5/8"		1,98	52	20,5	17,4	14,3	12,3	26,2	66	25,7	21,8	18,1	15,4	32,9	26,3	13,1
	16	2,01	53	20,8	17,7	14,5	12,5	26,5	67	26,1	22,1	18,3	15,7	33,4	26,7	13,3
¾"		2,85	75	29,5	25,1	20,1	17,7	37,6	94	37,1	31,4	25,9	22,2	47,3	37,9	18,8
	20	3,14	83	36,4	32,5	22,6	19,5	41,5	104	40,8	34,5	28,6	26,4	52	41,8	20,7
	22	3,80	100	39,3	33,4	27,4	23,6	50	126	50	41,8	34,6	29,6	63	50	25,1
7/8"		3,88	102	40,1	34,2	28,0	24,1	51	128	51	42,7	35,3	30,3	64	52	25,6
	24	4,52	119	46,7	39,8	32,6	28,2	60	150	59	50	41,1	35,2	75	60	29,8
1"		5,07	134	52	44,6	36,6	31,4	67	168	66	56	46,2	39,5	84	67	33,5
	27	5,73	151	59	50,4	41,3	35,6	76	190	75	63	52	44,7	95	76	37,8
1 1/8"		6,41	169	66	56	46,2	39,7	85	212	83	71	58	50	106	85	42,3
	30	7,07	187	73	62	51	43,8	93	234	92	78	64	55	117	94	46,7
1 1/4"		7,92	209	82	70	57	49,1	105	262	103	87	72	62	131	105	52
	36	10,18	269	105	90	73	63	134	337	132	112	93	79	169	135	67
1 1/2"		11,40	301	118	100	82	71	150	377	148	125	104	89	189	152	75

(1) $R_t = A_p \times F_t$ (rosca no plano de cisal.)

(2) $R_v = A_p \times F_v$ (rosca no plano de cisal.)

(3) Tipos de furos

P = padrão A = alargado

AC = alongado curto – transversal à força aplicada

AL = alongado longo – transversal à força aplicada

ALP = alongado longo – paralelo à força aplicada

(4) Cisalhamento simples com rosca no plano de cisalhamento para ligação a esmagamento para coeficiente de atrito $\mu = 0,33$, classe A de deslizamento. Para cisalhamento simples com rosca fora do plano, multiplicar os valores acima por 1.426.

(5) Cargas admissíveis nos parafusos

$F_t = 0,32 F_u$ $F_v (P) = 0,125 \times 1,0 \times F_u$

$F_v = 0,16 F_u$ $F_v (A, AC) = 0,125 \times 0,85 \times F_u = 0,106 F_u$

$F_v (AL) = 0,125 \times 0,70 \times F_u = 0,0875 F_u$

$F_v (ALP) = 0,125 \times 0,6 \times F_u = 0,075 F_u$

Figura 5.13 – Resistência dos Parafusos

Reverificando os parafusos para resistência escolhida:

Logo para mesa Superior, tem-se:

$$n^{\circ} \text{ Parafusos} = 279 \text{ kN} / (37,10 \times 2) \text{ (Força de corte nos parafusos/resistência)}$$

$$n^{\circ} \text{ Parafusos} = 3,76 = 4 \text{ parafusos}$$

Logo para mesa Inferior, tem-se:

$$n^{\circ} \text{ Parafusos} = 696,50 \text{ kN} / (37,10 \times 2) \text{ (Força de corte nos parafusos/resistência)}$$

$$n^{\circ} \text{ Parafusos} = 9,38 - 10 \text{ Parafusos} - \text{adotar } 10 \text{ parafusos}$$

5.2.4 VERIFICAÇÃO A FADIGA COM ABERTURA DOS FUROS

Largura da Mesa reduzida do diâmetro dos furos para encaixe dos parafusos.

$$b_{\text{mesa}} = (32,70 - 2,06 \times 4) = 24,46 \text{ cm} - \text{NBR} - 8800$$

A ASHTOO Permite aumento da largura ocasionado pelo espraçamento de cargas, que será adotado.

$$b_{\text{mesa}} = (32,70 - 2,06 \times 4 + 0,15 \times 2,06 \times 4) = 25,70 \text{ cm}$$

Cálculo da área líquida (Largura x Espessura)

$$A_{\text{liq}} = 62,69 \text{ cm}^2$$

Cálculo da tensão atuante na chapa:

$$\sigma_{\text{aliq}} = \frac{696,50}{62,69} \text{ (Esforço devido a carga móvel/área)}$$

$$\sigma_{\text{aliq}} = 11,11 \text{ kN/cm}^2 > 11,20 \text{ kN/cm}^2 \text{ (Limite de tensão a fadiga) - Ok!}$$

5.2.5 Verificação a Inversão de Esforços – Fadiga e Parafusos Superiores

Esforços: $M_{pp} + M_{perm} - M_{cm}$

$$M(-) = -14,09 \text{ tfxm}$$

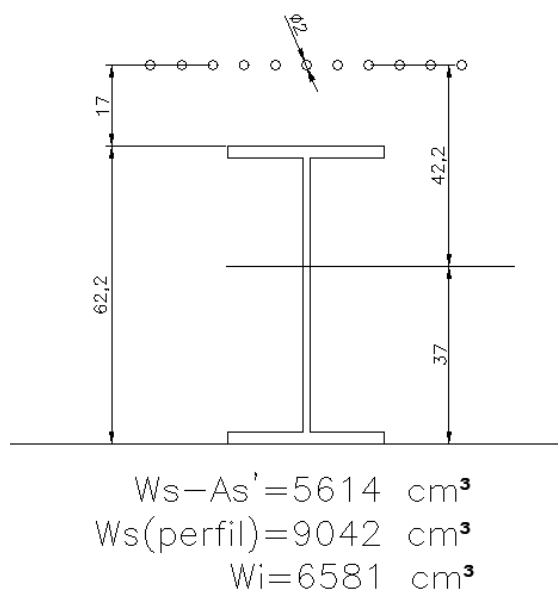


Figura 5.14 – Seção Suceptível a Inversão de Momento Fletor

Tensão causada pela carga móvel na seção.

$$\sigma_s(A_s') = \frac{14090}{5614} = +2,51 \text{ kN/cm}^2 \text{ - Não Causa Fadiga – Limite 160/180 Mpa (Barras Superiores)}$$

$$\sigma_s(\text{Topo}) = +1,55 \text{ kN/cm}^2 \text{ - Mesa Superior}$$

$$\sigma_i(\text{Topo}) = -2,14 \text{ kN/cm}^2 \text{ - Mesa Inferior}$$

Verificação do Número de Parafusos Superiores:

Dividindo o número de parafusos pelos esforços invertidos

$$F_{vmed} = 1,55 \times A_{mesa}$$

$$F_{vmed} = 123,67 \text{ kN}$$

$$n^{\circ} \text{ Parafusos} = F_{vmed} / R_s$$

$$n^{\circ} \text{ Parafusos} = 123,67 / (37,1 \times 2)$$

$$n^{\circ} \text{ Parafusos} = 2 \text{ (Necessários 2 parafusos)}$$

Foram Adotados - 4 Parafusos – OK!

Verificação Fadiga:

Utilizar uma linha de parafusos e desconto de 15% da AASHTO se necessário.

$$b_{mesa} = (32,70 - 2,06 \times 2) = 28,58 \text{ cm NBR} - 8800 \text{ (sem desconto)}$$

$$A_{liq} = 69,73 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{aliq} = \frac{696,50 + 170,74}{69,73}$$

$$\sigma_{aliq} = 12,43 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 12,58 - \text{Ok!}$$

Limites de tensão de fadiga retirados da AASHTOO e item K.5 junto com tabela K.1 da NBR-8800 para 2.000.000 de ciclos.

5.2.6 NÚMERO FINAL DE PARAFUSOS - RESUMO

$$n^{\circ} \text{ Parafusos} = 4 \text{ parafusos} - \text{Mesa Superior}$$

$$n^{\circ} \text{ Parafusos} = 10 \text{ Parafusos} - \text{Mesa Inferior}$$

Alma – Seguir Croquis já apresentado.

5.2.7 ENRIJECEDORES DE APOIO

$$R(PP + Perm) = 32,34tf$$

$$R(Móvel) = 42,74tf$$

$$R(Total) = 75,08tf$$

Largura Máxima:

$$\left(\frac{32,70}{2} - \frac{1,54}{2}\right) - 1 = 14,58 \text{ cm} - ADOTADO \text{ bsa} = 14 \text{ cm}$$

Espessura mínima:

$$\left(bsa/12 \times \sqrt{\frac{25}{22,8}}\right) = 1,22 \text{ cm} - ADOTADO \text{ tsa} = 1,6 \text{ cm}$$

Largura Máxima:

$$(Asa) = bsa \times tsa \times 2 + (18 \times tw) \times tw = 87,48 \text{ cm}^2$$

$$(Isa) = (bsa \times tw \times tw^3 + tsa \times (2 \times bsa)^3)/12 = 2935 \text{ cm}^4$$

$$Rsa = 5,79 \text{ cm}$$

$$Fsa = 11,72 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{sa} = 8,58 \text{ kN/cm}^2 < 11,72 \text{ kN/cm}^2$$

Em função da espessura mínima exigida para o enrijecedor, será utilizado os mesmos para os apoios dos extremos, estando todos automaticamente verificados.

6.0 ARMADURAS DAS LAJES

Abaixo esquema de espraio de cargas da roda do Trem Tipo:

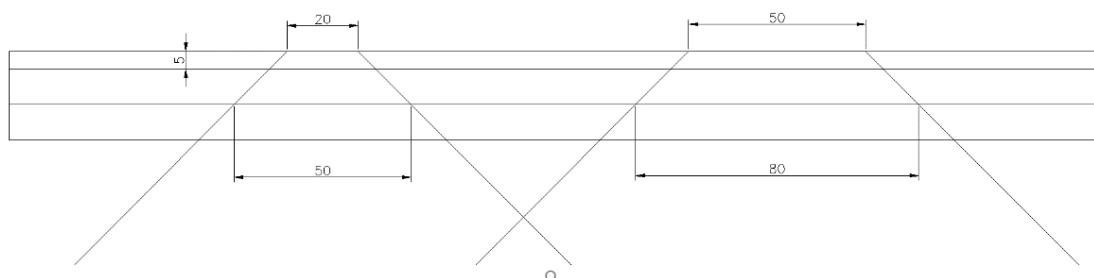


Figura 6.1 – Espraio de Cargas – Rodas TB45

6.1.1 Esforços Solicitantes – PP+ Cargas Permanentes – Tabuleiro – SAP2000



Figura 6.2 – Esforços Solicitantes das Lajes – DEAD+PP+CPERM

A seguir segue modelo linear utilizado no SAP2000 para compatibilização dos esforços. Nele é aplicado uma carga equivalente a que gera o momento fletor obtido pela tabela de RUSCH, para se realizar uma análise onde vãos são carregados alternativamente, bem como a capacidade ou não do apoio realizar o pleno engastamento sugerido pela tabela, já que, o pleno engastamento, sem condições apropriadas pelos vãos adjacentes, podem levar torção indesejada as vigas pelo equilíbrio de forças.

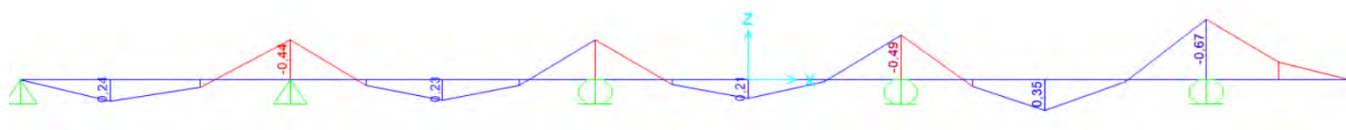


Figura 6.3 – Esforços Solicitantes das Lajes – Peso Próprio + Cargas Permanentes

6.1.2 Esforços Solicitantes – Cargas móveis – TB45

TRÜSCH 1.0

Arquivo Opções Resultados Sobre

Dimensões:

$l_x = \infty$ m

$l_y = 1,70$ m

$t = 0,80$ m

$a = 2$ m

Vinculações:

Borda superior: Engastada

Borda inferior: Engastada

Borda esquerda: Indefinida

Borda direita: Indefinida

Direção do tráfego: ☐ ☒

Coefficiente de Impacto (ψ): 1,35

Calcular

Mxm Mym Mye

l_x/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'
0,5	0,25	0,19	0,12	0,05	0,0	0,1
1,0	0,32	0,26	0,16	0,09	0,0	0,28
1,5	0,42	0,4	0,34	0,25	0,0	0,35
2,0	0,58	0,56	0,51	0,4	0,03	0,35
2,5	0,72	0,7	0,66	0,55	0,08	0,37
3,0	0,85	0,84	0,8	0,78	0,2	0,8
4,0	1,06	1,06	1,01	0,98	0,55	2,2
5,0	1,21	1,21	1,18	1,14	1,0	4,25
6,0	1,32	1,32	1,3	1,26	1,4	7,6
7,0	1,41	1,41	1,4	1,36	2,0	11,8
8,0	1,47	1,47	1,47	1,44	2,4	16,2
9,0	1,52	1,52	1,52	1,5	3,0	21,6
10,0	1,54	1,54	1,54	1,53	3,5	26,3

Resultados:

Tabela Utilizada: 27

Cargas Móveis:

$M_L = 0,193$

$M_P = 0,000$

$M_P = 0,226$

$M_{ye} = -2,105 \text{ tf.m/m}$

Cargas Permanentes:

$k_{ye} = -0,083$

$M_{ye} = -0,241g \text{ tf.m/m}$

Figura 6.4 –Tabela de Rusch – Laje com 2 Engastamentos

Momentos:

$$M_{xm} = 0,807tf \times m$$

$$M_{ym} = 0,87tf \times m$$

$$M_{Ye} = -2,12tf \times m$$

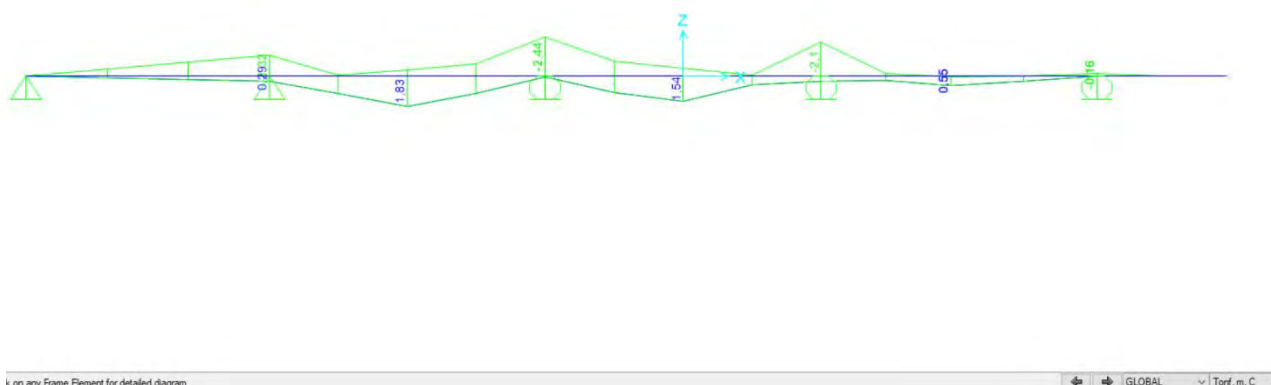


Figura 6.5 – Esforços Solicitantes das Lajes – Envoltória de Máximos e Mínimos

6.1.3 Estimativa das Armaduras da Laje

Para estimativa de armadura das é feita um cálculo a flexão simples das principais seções, com verificação de tensão das armaduras para fadiga:

Tabela de Esforços Utilizados no Dimensionamento:

MOMENTO FLETOR $tfxm$ - LAJE - PARTE B		
TIPO	ENTRE VIGAS - POS.	BALANÇO - NEG.
MPP+MPER	0.35	0.49
CMOVEL	1.83	2.39
ELS - FAD	1.71	2.40
ELU	3.22	4.25

Figura 6.6 – Tabela com Momentos Fletores da Laje

Esforços Solicitantes – Direção Y – Maiores Esforços Positivos

$$Md = 0,35 \times 1,35 + 1,50 \times 1,83 = 3,21tf \times m$$

$$Mper = 0,35tf \times m$$

$$MFad = 1,71tf \times m$$

Flexão Normal Simples					
Md (kN x cm)	b (cm)	fck (MPa)	h (cm)	d (cm)	d'
3210	100	40	20	16	4
AS		AS'		AS mín	
4,74		0,00		3	

Figura 6.7 – Armadura de Flexão da Laje

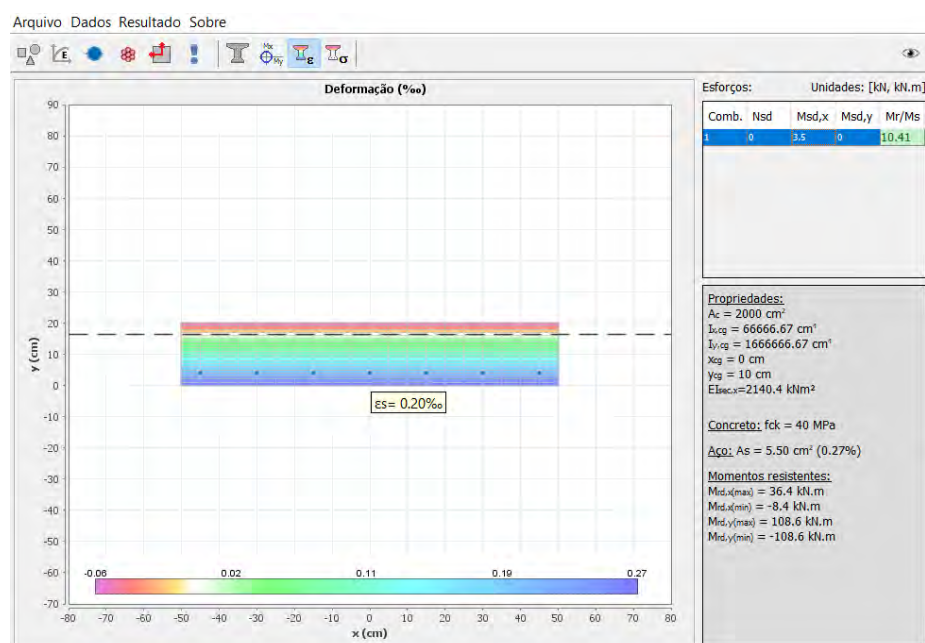


Figura 6.8 – Alongamento das Armaduras – Cargas Permanentes

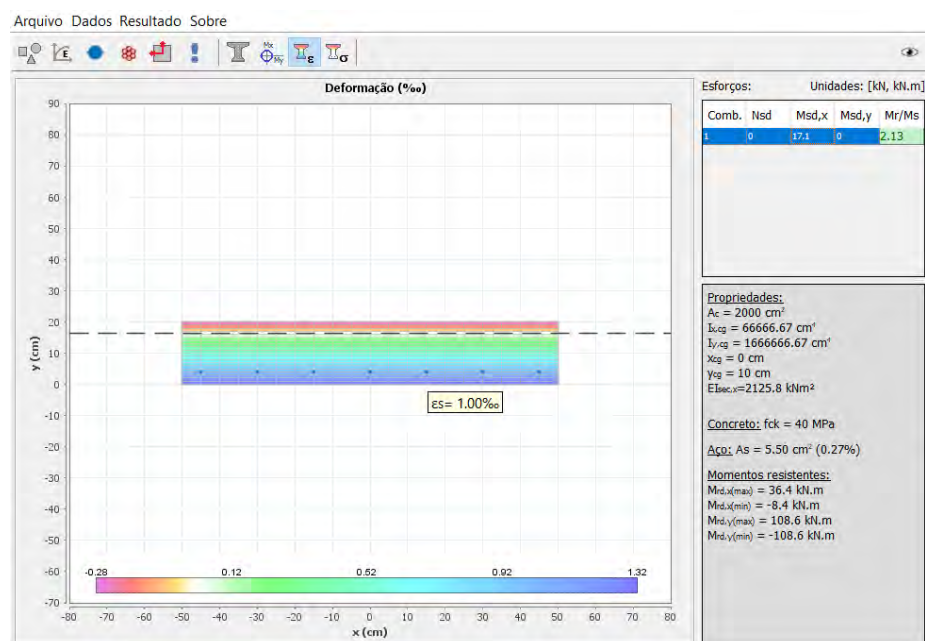


Figura 6.9 – Alongamento das Armaduras – Cargas Permanentes + SC

$$\Delta = 0,80 \times \frac{210000}{1000} = 168 \text{ MPa} - \text{ok} - \text{Utilizar } \varnothing 10 \text{ c/15}$$

Esforços Solicitantes – Direção Y – Maiores Esforços Negativos

$$Md = 0,49 \times 1,35 + 1,50 \times 2,44 = 4,32 \text{ tf} \times m$$

$$M_{per} = -0,49 \text{ tf} \times m$$

$$MFad = 2,39 \text{ tf} \times m$$

Flexão Normal Simples					
Md (kN x cm)	b (cm)	fck (MPa)	h (cm)	d (cm)	d'
4320	100	40	20	16	4
AS		AS'		AS mín	
6,44		0,00		3	

Figura 6.10 – Armadura de Flexão da Laje

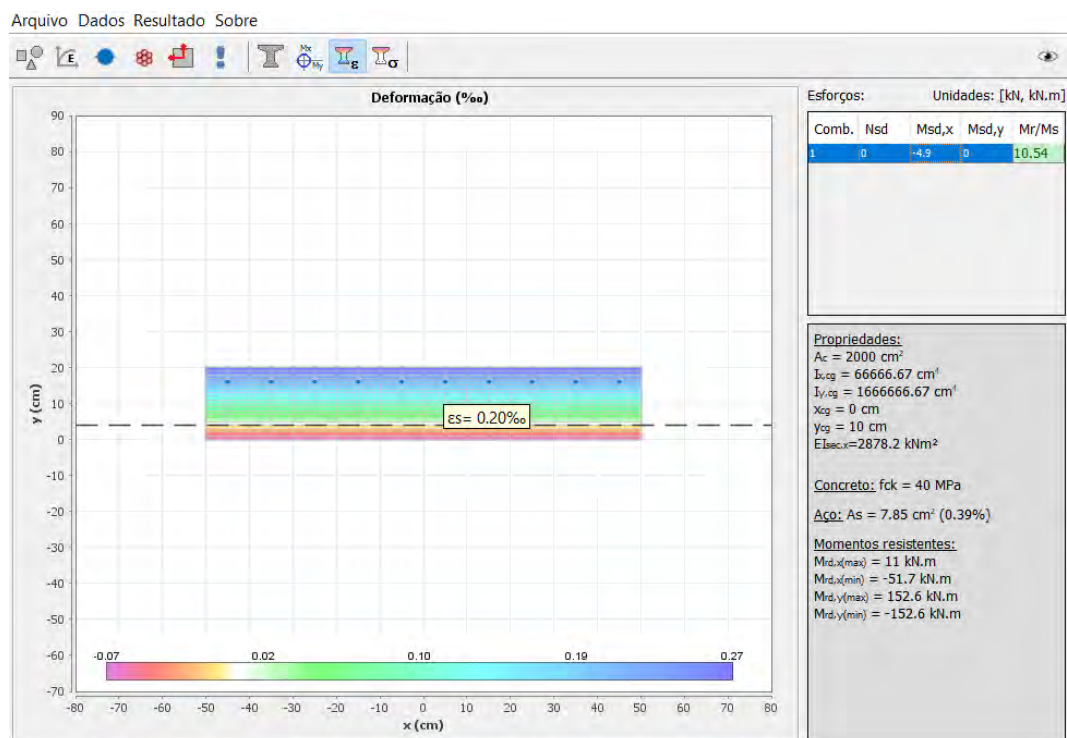


Figura 6.11 – Alongamento das Armaduras – Cargas Permanentes

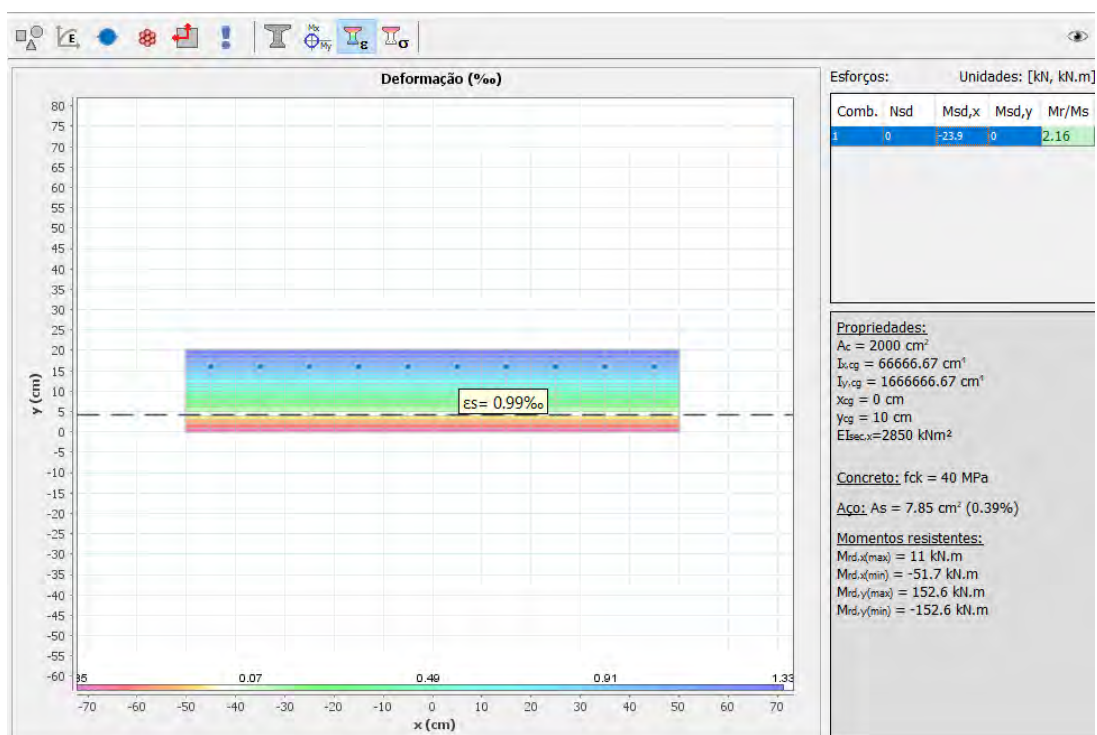


Figura 6.12 – Alongamento das Armaduras – Cargas Permanentes + SC

$$\Delta = 0,79 \times \frac{210000}{1000} = 165 \text{ MPa} - ok - \text{Utilizar } \varnothing 10 \text{ c}/10$$

Esforços Solicitantes – Direção X – Maiores Esforços Positivos

$$M_d = 0,63 \times 1,35 + 1,50 \times 0,810 = 2,07 \text{ tf} \times m$$

$$M_{per} = 0,63 \text{ tf} \times m$$

$$M_{Fad} = 1,28 \text{ tf} \times m$$

Flexão Normal Simples					
Md (kN x cm)	b (cm)	fck (MPa)	h (cm)	d (cm)	d'
2070	100	40	20	12	4
AS		AS'		AS mín	
4,09		0,00		3	

Figura 6.13 – Armadura de Flexão da Laje

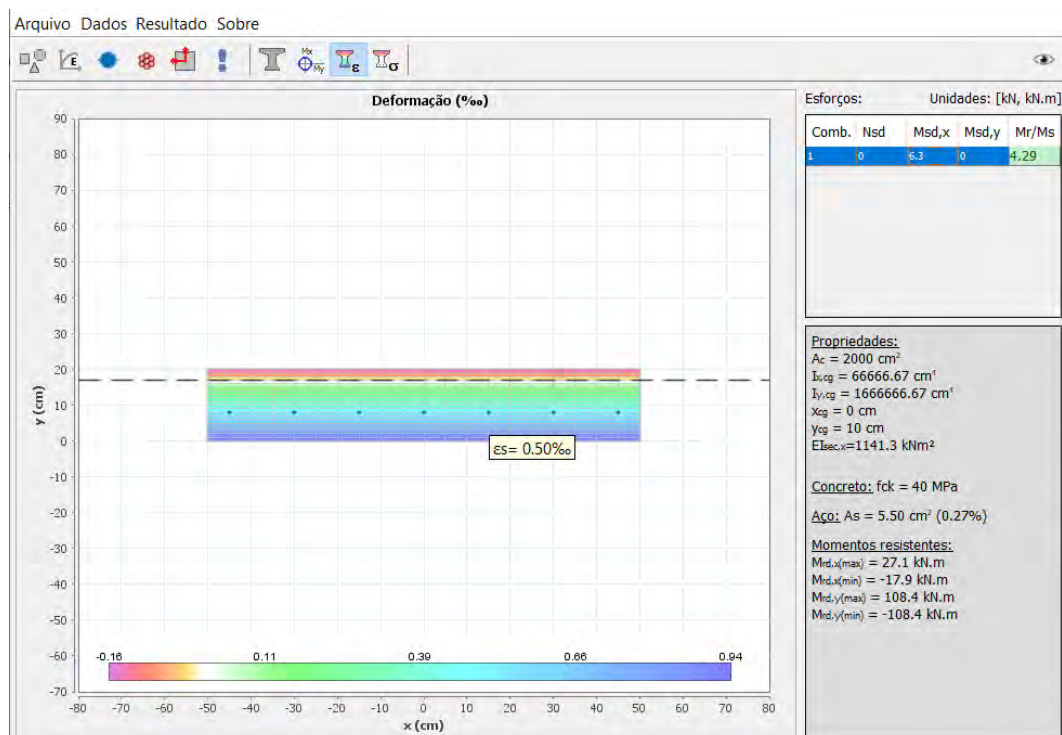


Figura 6.14 – Alongamento das Armaduras – Cargas Permanentes

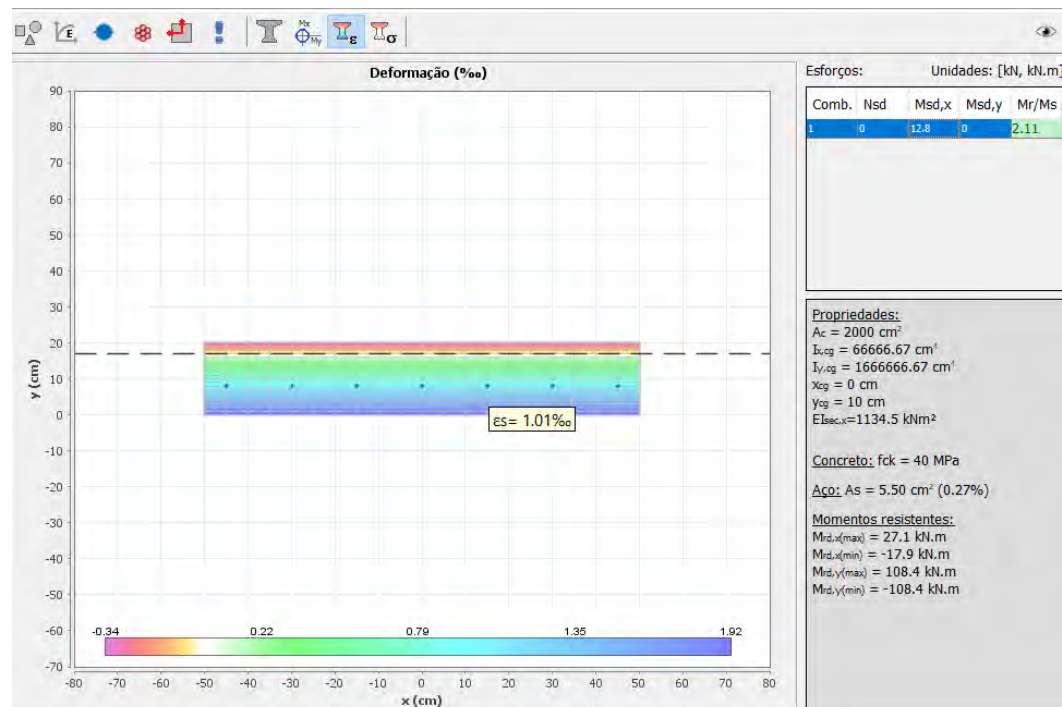


Figura 6.15 – Alongamento das Armaduras – Cargas Permanentes +SC

$$\Delta = 0,51 \times \frac{210000}{1000} = 107,1 \text{ MPa} - ok - \text{Utilizar } \varnothing 10 \text{ c/15}$$

6.1.4 Deformações das Lajes

- PP + Cargas Permanentes

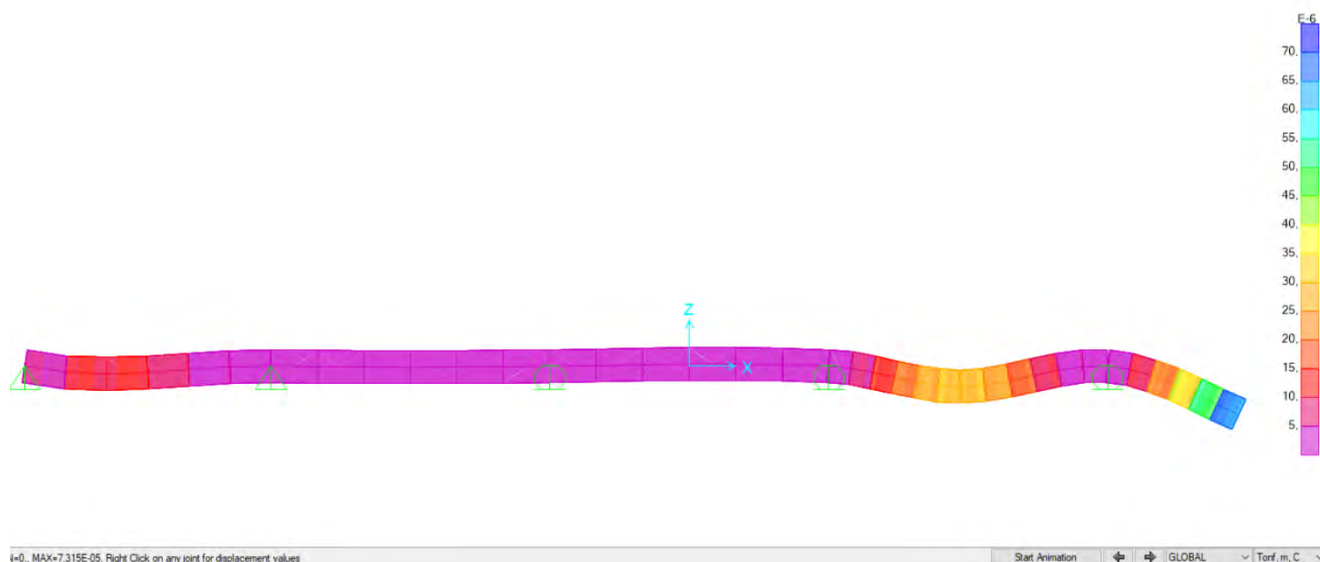


Figura 6.16 – Deformação para Peso Próprio e Cargas Permanentes

- Carga Móvel



Figura 6.17 – Deformação para Cargas Móveis

$(PP+PERM) \times 3$ (Fluência) = 0,21 mm – OK!

MÓVEL= 0,14 mm - $l/12145$ – OK!

7.0 DIMENSIONAMENTO DAS TRANSVERSINAS – CONTRA-VENTAMENTOS

7.1 ESFORÇOS SOLICITANTES

7.1.1 ESFORÇOS SOLICITANTES

A transversina sobre pilares foi dimensionada considerando um apoio ao centro delas, de forma a simular macaqueamento para eventual troca de Neoprene.

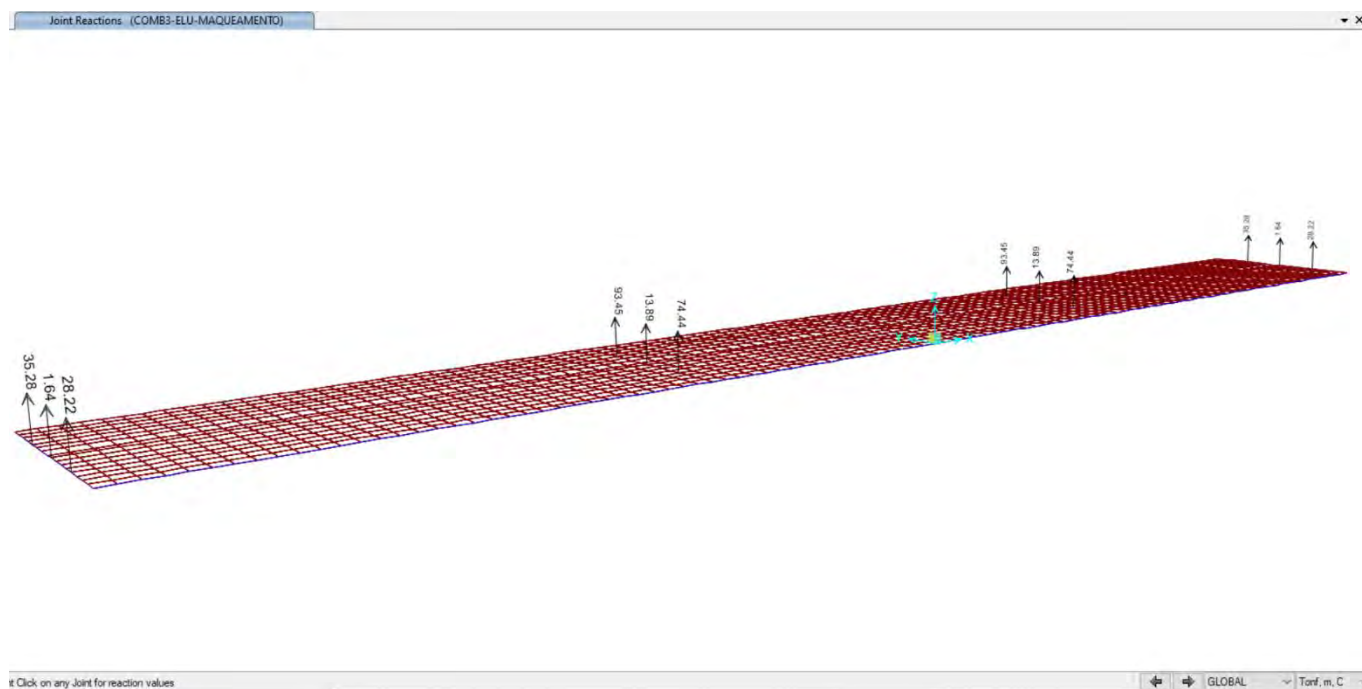


Figura 7.1 – Reações Últimas no Centro das Transversinas

Para os esforços observados foram considerados o peso próprio e todas as cargas permanentes atuando sobre o tabuleiro. Em função da ausência da chapa de topo, a laje foi reforçada na região para absorver os gerados pelo macaqueamento. O perfil da transversina deve ser preferencialmente 1/3 a 1/2 da altura do perfil principal longitudinal. Foi selecionado perfil laminado para o contraventamento, já que a baixa altura da viga longitudinal inviabiliza o uso de cantoneiras cruzadas com muitas ligações, sendo este último mais recomendado para altas vigas soldadas.

7.2 VERIFICAÇÃO RESISTENTE DO PERFIL – SOBRE PILARES W 530x85

7.2.1 VERIFICAÇÃO GERAL DO MOMENTO RESISTENTE

Esforços para Verificação das Transversinas

ESFORÇOS DA TRAVESSA SOBRE PILARES W530x85			
COMB.	Reação Máxima (tf)	Vd (tf) = R/2	Md(tfxm)=(R/2)xLx2
1,4 x (MPP+MPER)	93.5	46.75	39.74

MACAQUEAMENTO					
1.1 - FLA - FLAMBAGEM LATERAL DA ALMA					
λ	48.74				
λ_p	91.00				
λ_r	137.95				
$\lambda < \lambda_p$					
M_{RK}	72417.86	Momento Resistente Nominal kNxcm			
1.2 - FLM - FLAMBAGEM LATERAL DA MESA					
λ	5.03				
λ_p	9.20				
λ_r	20.80				
$\lambda < \lambda_p$					
M_{RK}	72417.86	Momento Resistente Nominal kNxcm			
1.3 - FLT - FLAMBAGEM LATERAL A TORÇÃO					
A forma contém lateralmente a viga?		NÃO	Lb	170.00	cm
M_d	39720.00				
λ	49.37				
λ_p	42.59				
λ_r	127.38				
$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$					
M_{RK}	62396.57				
OK - $MSC1 < MRK/\gamma_{aço}$					
RESULTADO FINAL DA VERIFICAÇÃO					
$M_{Rd} - (MRK/\gamma_{aço})$	56724.15	Momento Fletor Resistente de Cálculo			
$M_{CP1,Sd}$	39720.00	Momento Majorado da Primeira Fase			
$M_{Rd}/M_{CP1,Sd}$	1.43	Relação entre $M_{Rd}/M_{CP1,Sd}$			
OK! $M_{CP1,Sd} < M_{Rd}$					

Figura 7.2 – Verificação do Perfil ao Levantamento por Macaco

2.4 - VERIFICAÇÃO AO CISALHAMENTO				
$\lambda (h/t_w)$	48.7		$\lambda < \lambda_p$	
V_{sd}	467.50		kNxc	Esforço Majorado Máximo ao Cisalhamento
V_{Rd}	987.11		kNxc	Esforço Resistente ao Cisalhamento
V_{Rd}/V_{sd}	2.11		-	Relação entre V_{Rd}/V_{sd}
OK! $V_{sd} < V_{Rd}$				

Figura 7.3 – Verificação do Perfil ao Cisalhamento

7.2.2 ENRIJECADOR PARA CARGA NOMINAL DE 66,78 tf

$$\text{Axial} = 93,5 / 1,40 = 66,78 \text{ tf}$$

Para chapas de 12.5 mm espaçadas a 18 x tw formando um perfil I tem-se:

$$(A_{sa}) = b_{sa} \times t_{sa} \times 2 + (18 \times tw) \times tw = 49,02 \text{ cm}^2$$

$$(I_{sa}) = (18 \times tw \times tw^3 + t_{sa} \times (2 \times b_{sa})^3) / 12 = 459,17 \text{ cm}^4$$

$$R_{sa} = 3,06 \text{ cm}$$

$$F_{sa} = 11,73 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{sa} = 13,6 \text{ kN/cm}^2 = 13,6 \text{ kN/cm}^2 - \text{OK!}$$

Propriedades	Dimensões	Unidades	
d	18,54	cm	Altura total do Perfil
bf _s	13,00	cm	Largura da Mesa Superior
bf _i	13,00	cm	Largura da Mesa Inferior
tfs	1,25	cm	Espessura da Mesa Superior
tfi	1,25	cm	Espessura da Mesa inferior
tw	1,03	cm	Espessura da Alma
h	16,04	cm	Altura da Alma
A	49,02	(cm ²)	Área Bruta do Perfil
I _{xx}	2787,37	(cm ⁴)	Momento de Inércia em Relação a x-x
I _{yy}	459,17	(cm ⁴)	Momento de Inércia em Relação a y-y
W _{xx(i)}	300,69	(cm ³)	Módulo de Resistência elástico x-x
W _{xx(s)}	300,69	(cm ³)	Módulo de Resistência elástico y-y
Z _x	347,21	(cm ³)	Módulo de resistência Plástico x-x
r _y	3,06	(cm)	Raio de Giração em Torno de y-y
J	23,22	(cm ⁴)	Constante de torção
Cw	34207,30	(cm ⁶)	Coefficiente de Empenamento
P	38,48	(kg/m)	Peso do Perfil por metro Linear

Figura 7.4 – Propriedades do Enrijecedor

7.3 VERIFICAÇÃO RESISTENTE DO PERFIL – SOBRE ENCONTROS W360x44,6

7.3.1 VERIFICAÇÃO GERAL DO MOMENTO RESISTENTE

MACAQUEAMENTO					
1.1 - FLA - FLAMBAGEM LATERAL DA ALMA					
λ	51.94				
λ_p	91.00				
λ_r	137.95				
$\lambda < \lambda_p$					
M_{RK}	26258.48	Momento Resistente Nominal kNxc			
1.2 - FLM - FLAMBAGEM LATERAL DA MESA					
λ	8.72				
λ_p	9.20				
λ_r	20.47				
$\lambda < \lambda_p$					
M_{RK}	26258.48	Momento Resistente Nominal kNxc			
1.3 - FLT - FLAMBAGEM LATERAL A TORÇÃO					
A forma contém lateralmente a viga?		NÃO	Lb	170.00	cm
Md	14990.00				
λ	44.01				
λ_p	42.59				
λ_r	118.54				
$\lambda_p < \lambda < \lambda_r$					
M_{RK}	23412.86				
OK - $MSC1 < MRK/\gamma_{aço}$					
RESULTADO FINAL DA VERIFICAÇÃO					
M_{Rd} - (MRK/γaço)	21284.42	Momento Fletor Resistente de Cálculo			
M_{CP1,Sd}	14990.00	Momento Majorado da Primeira Fase			
M_{Rd}/M_{CP1,Sd}	1.42	Relação entre M _{Rd} /M _{CP1,Sd}			
OK! $M_{CP1,Sd} < M_{Rd}$					

Figura 7.5 – Verificação do Perfil ao Levantamento por Macaco

ESFORÇOS DA TRAVESSA SOBRE PILARES W530x85			
COMB.	Reação Máxima (tf)	Vd (tf) = R/2	Md(tfxm)=(R/2)xLx2
1,4 x (MPP+MPER)	35.28	17.64	14.99

Figura 7.6 – Verificação do Perfil ao Cisalhamento

7.3.2 ENRIJECEDOR PARA CARGA NOMINAL DE 20,20 tf

Para chapas de 10 mm e 18x18 formando um pilar em cruz, tem-se:

$$(A_{sa}) = b_{sa} \times t_{sa} \times 2 + (18 \times t_w) \times t_w = 22,56 \text{ cm}^2$$

$$(I_{sa}) = (18 \times t_w \times t_w^3 + t_{sa} \times (2 \times b_{sa})^3) / 12 = 229,10 \text{ cm}^4$$

$$R_{sa} = 3,18 \text{ cm}$$

$$F_{sa} = 11,75 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{sa} = 9,29 \text{ kN/cm}^2 < 11,73 \text{ kN/cm}^2$$

As transversinas do encontro foram repetidas no interior do tabuleiro, para comprimir as recomendações de normas. Essas transversinas estão submetidas a esforços reduzidos e suas ligações foram dimensionadas para esforços mínimos cortantes sugeridos pela NBR 6118 (45kN) – ver Anexo.

7.3.3 ESFORÇOS NA LAJE COM O MACAQUEAMENTO

Esforços na laje – M11

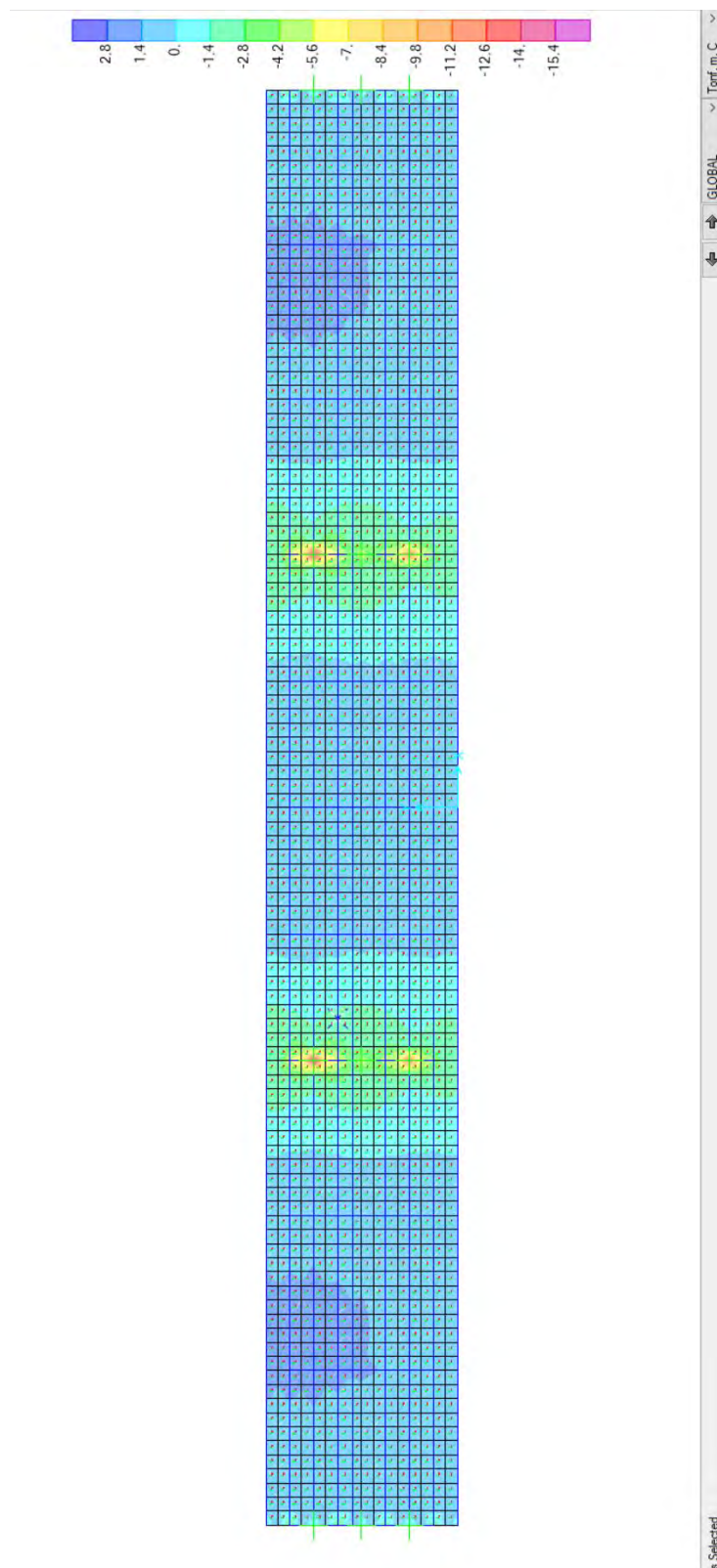


Figura 7.7 – Esforços de Momento Fletor M11

Armadura na Laje – Ast1

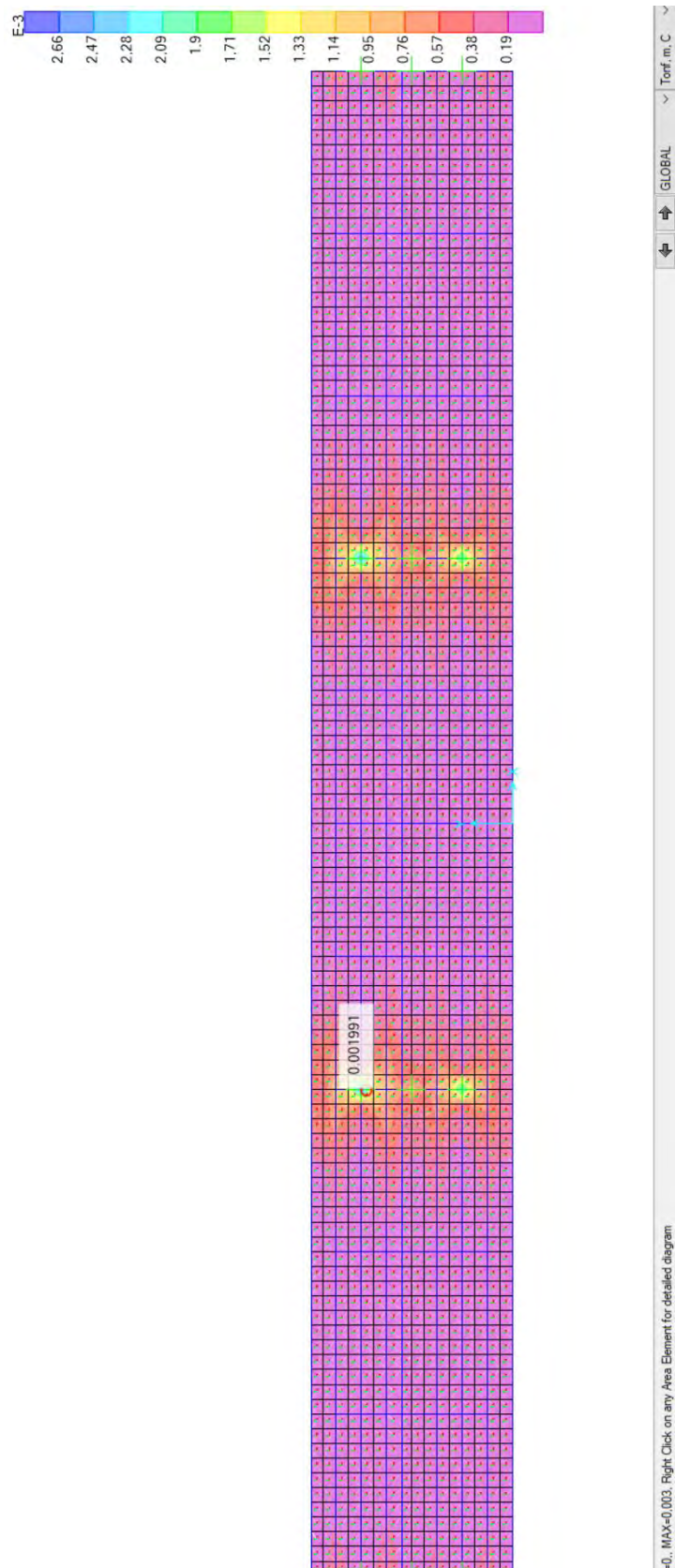


Figura 7.8 – Área de Armadura em m²/m – Sentido Longitudinal

Esforços de Momento Fletor – M22

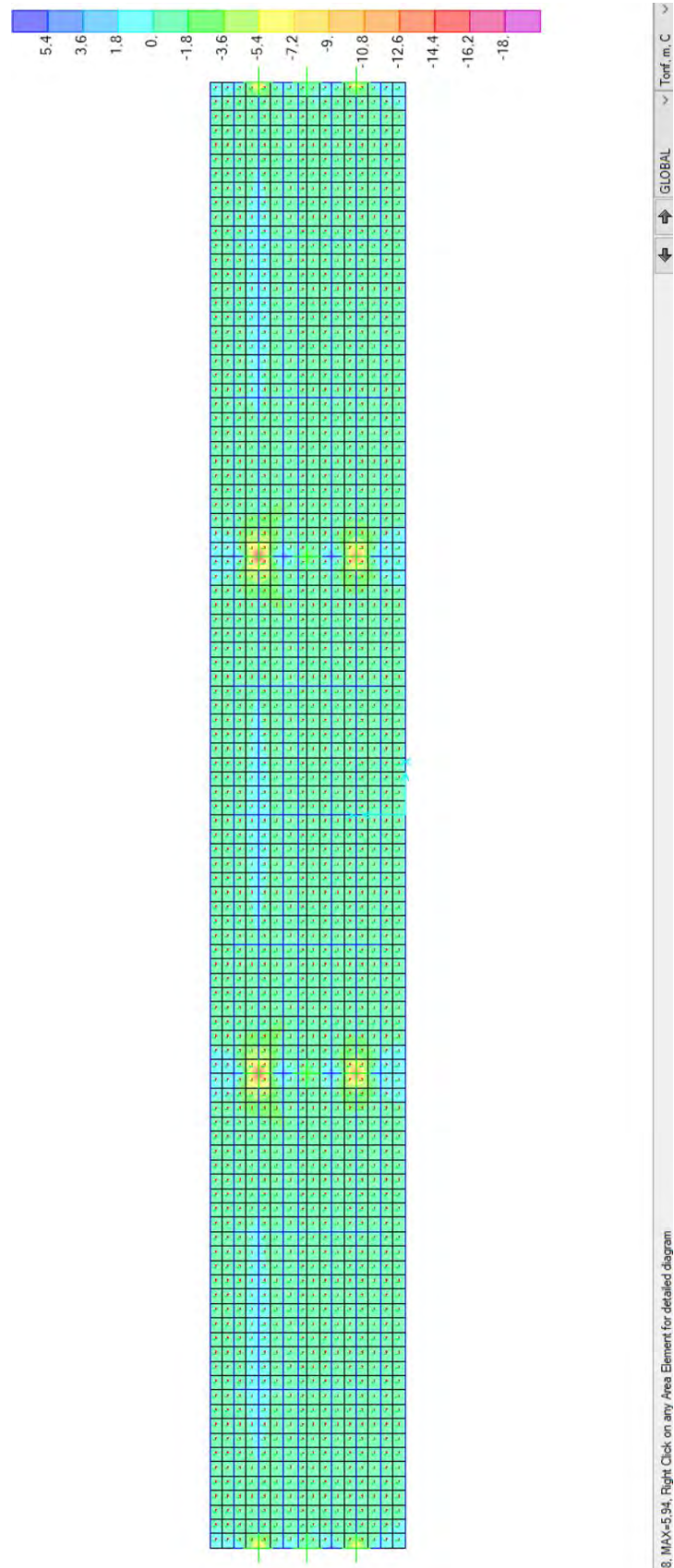


Figura 7.9 – Esforços de Momento Fletor M22

8.0 DEFORMAÇÕES DO TABULEIRO

8.1 1ª FASE - CONSTRUÇÃO

Abaixo segue deformada da primeira fase de construção, onde o fator 1,10 acrescenta ao perfil metálico o peso das ligações.

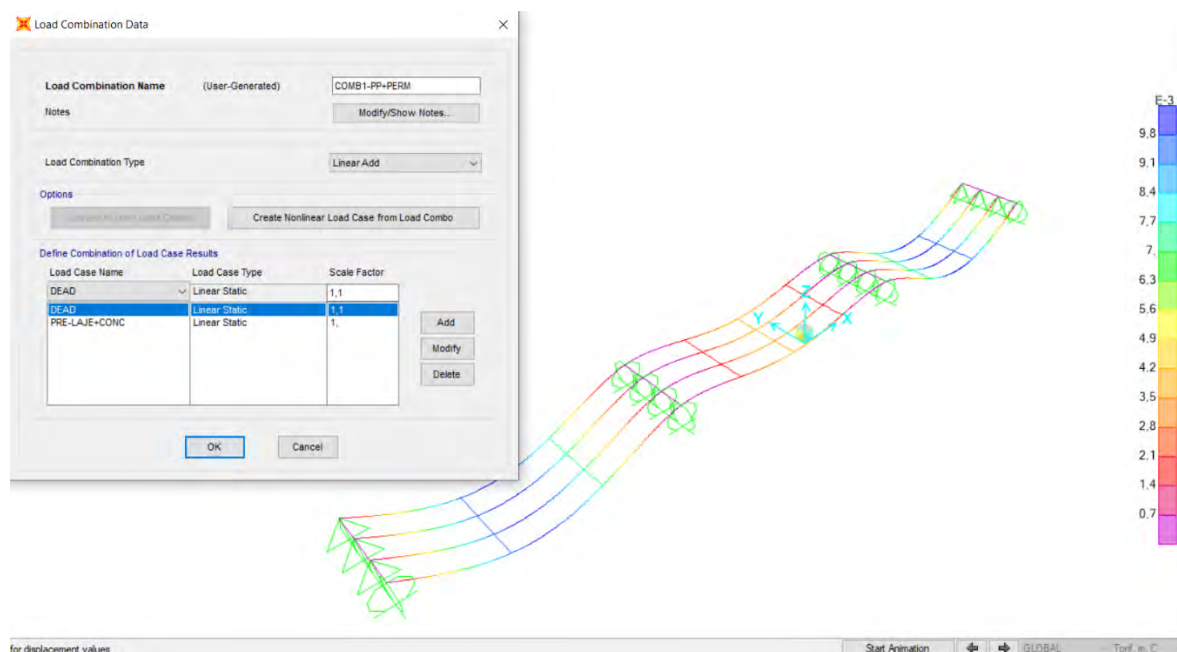


Figura 8.1 – Deformação para 1ª FASE – Construção

8.2 2ª FASE - PERFIL COMPOSTO

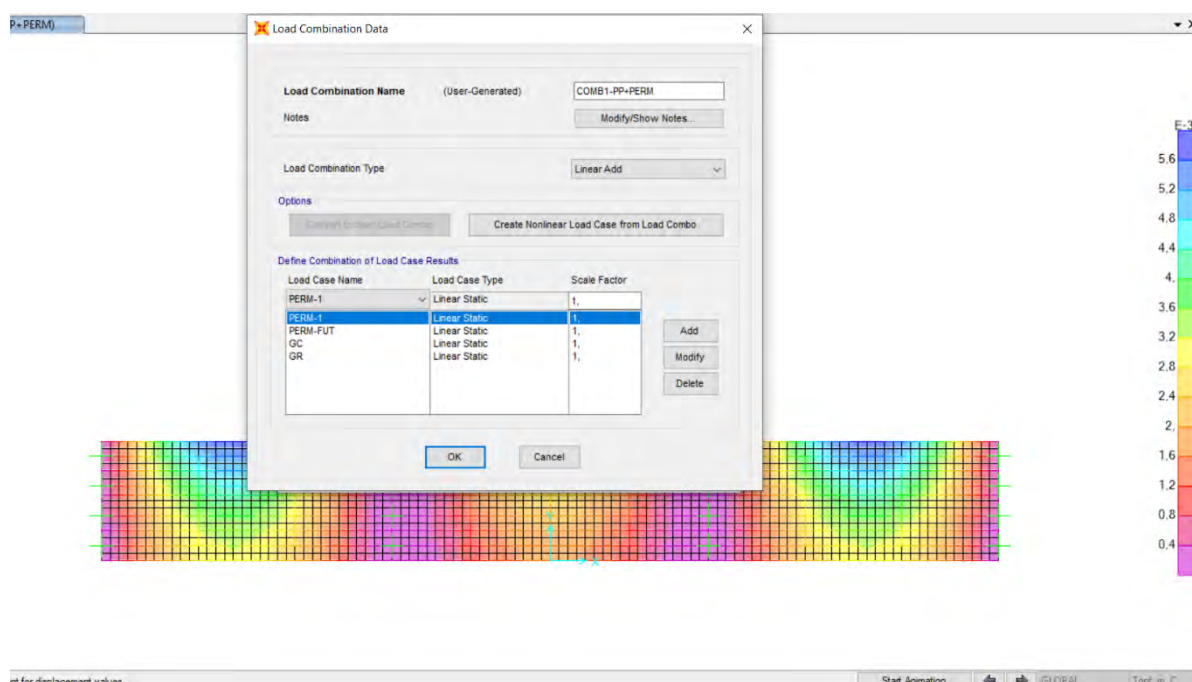


Figura 8.2 – Deformação para 2ª FASE – Permanentes

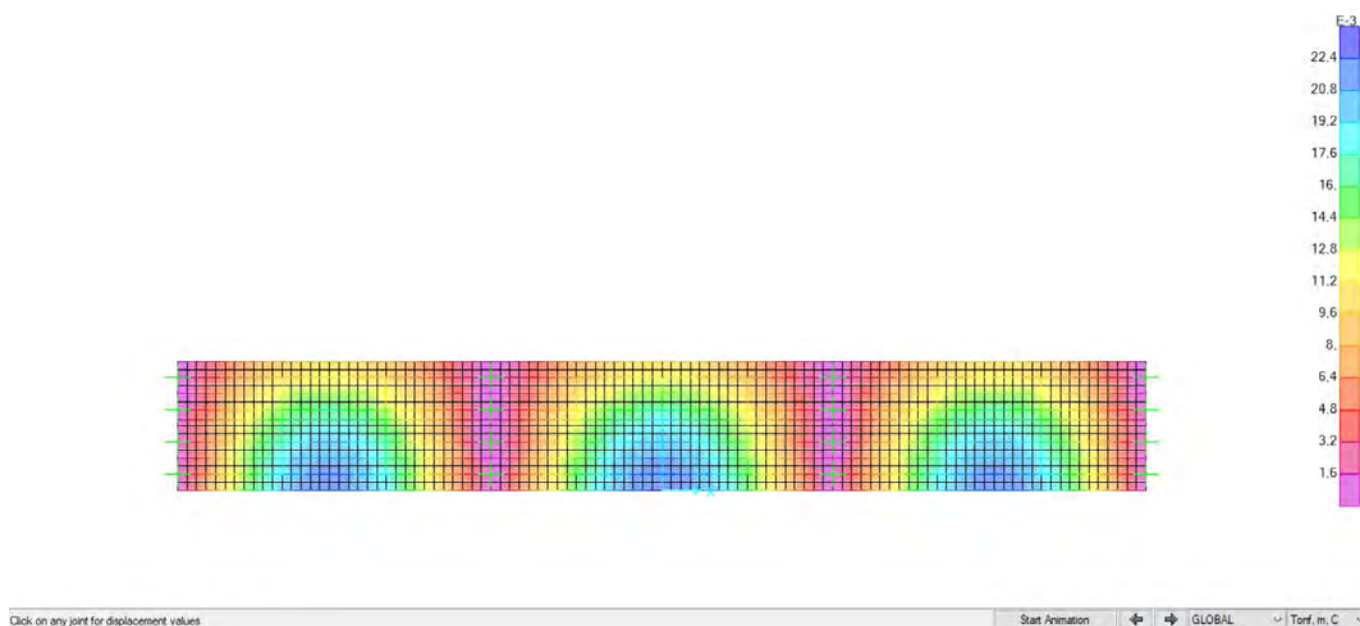


Figura 8.3 – Deformação para 2ª FASE – Carga Móvel

(PP+PERM) = 1,54 cm – $l/1071$ - OK!

MÓVEL= 1,92 cm - $l/868$ – OK!

8.3 1º MODO DE VIBRAÇÃO – FREQUÊNCIA FUNDAMENTAL

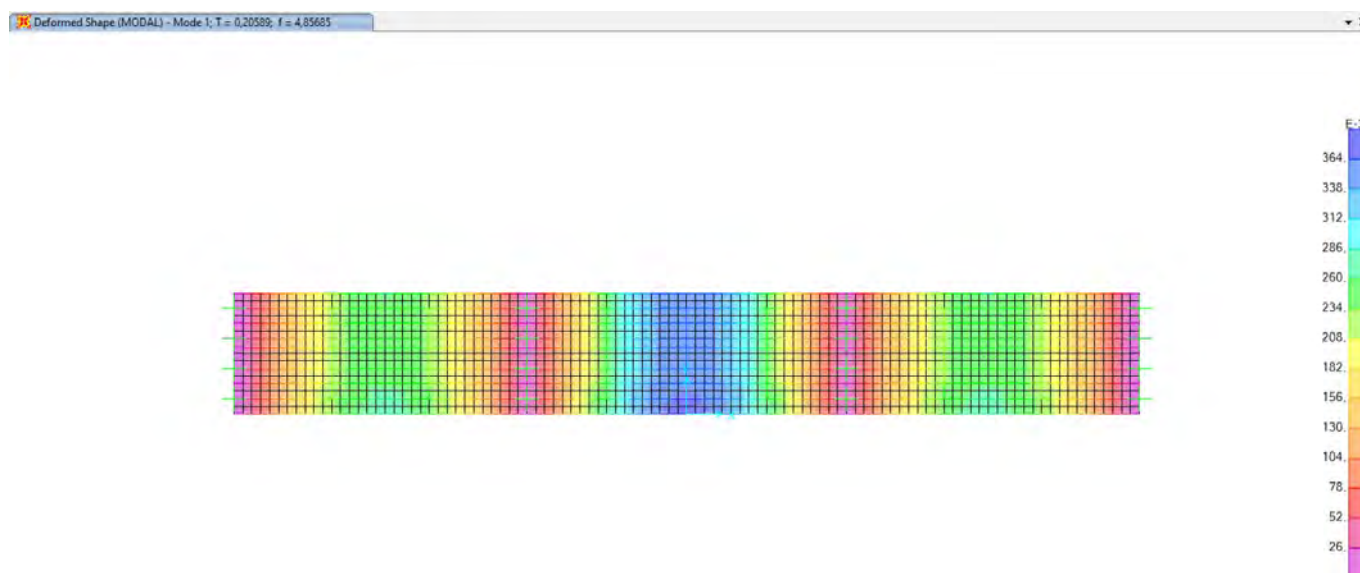


Figura 8.4 – 1º Modo de Vibração

4,69/2

2,345 > 1,30. OK!

9.0 SIMULAÇÃO DE MONTAGEM - SUGESTIVA

Para simular a montagem das vigas, foi testada a hipótese no SAP 2000 onde duas vigas longarinas seriam ligadas em seus 51 metros, com contravento instalado transversalmente formando um módulo de duas vigas. O módulo com duas vigas seria empurrado sobre roletes a partir de um dos encontros ao outro. Abaixo segue esquema estrutural onde o módulo é avaliado até a chegada do vão central com 18 metros de balanço.

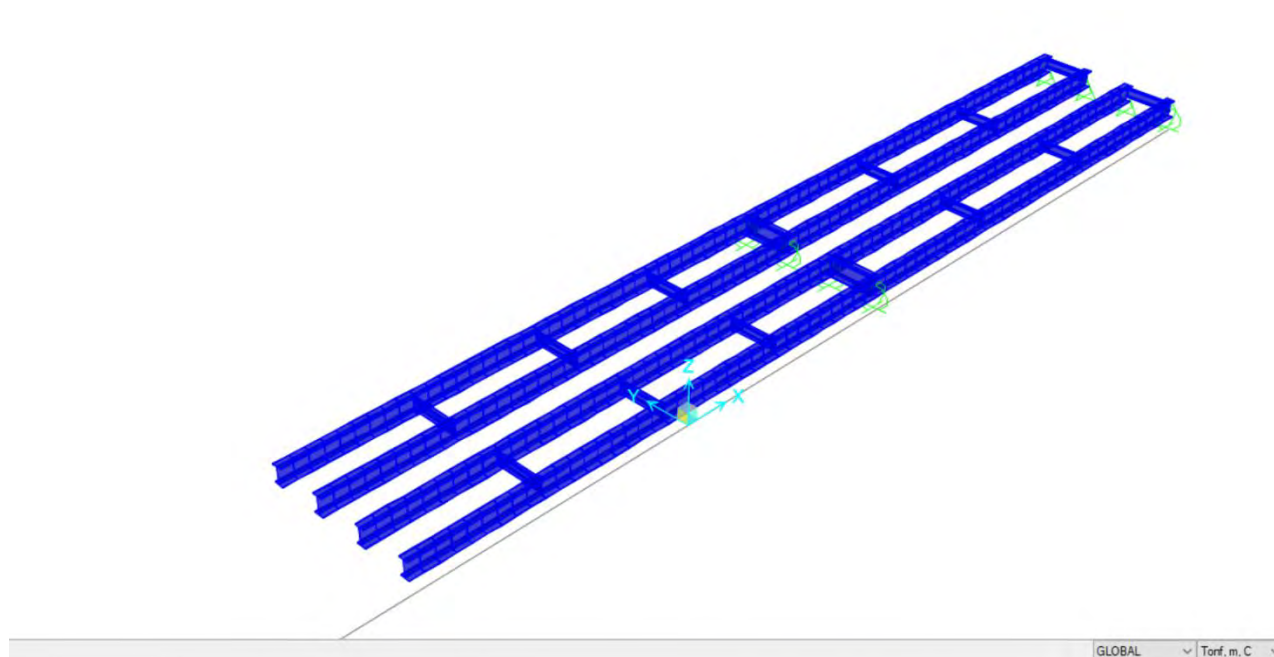
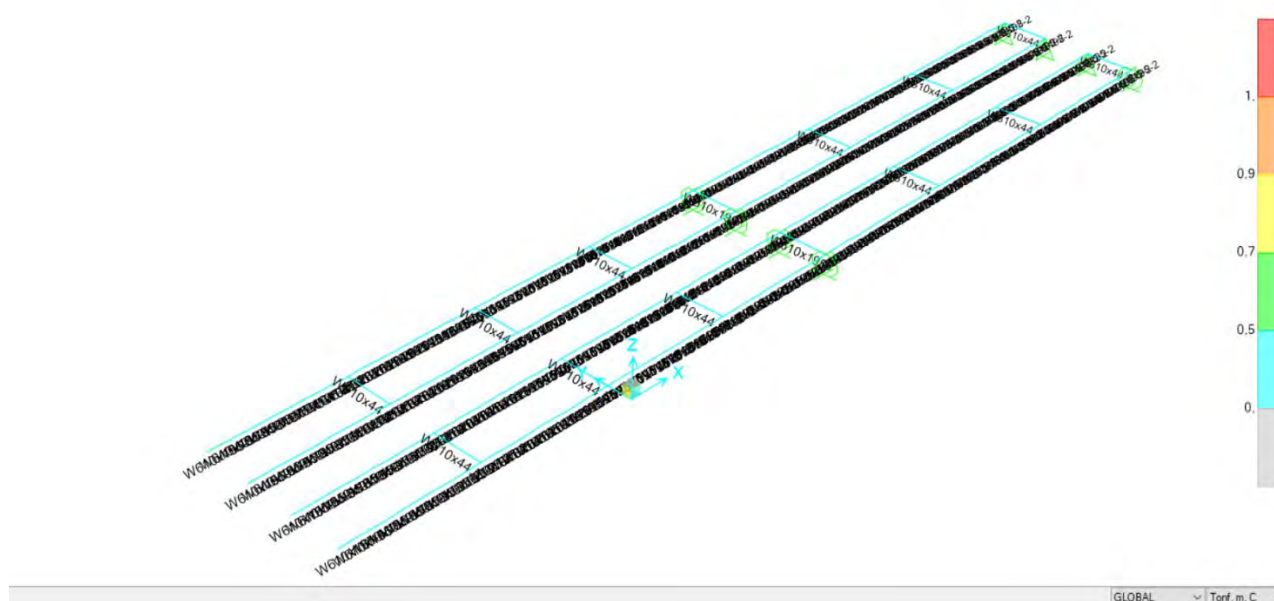
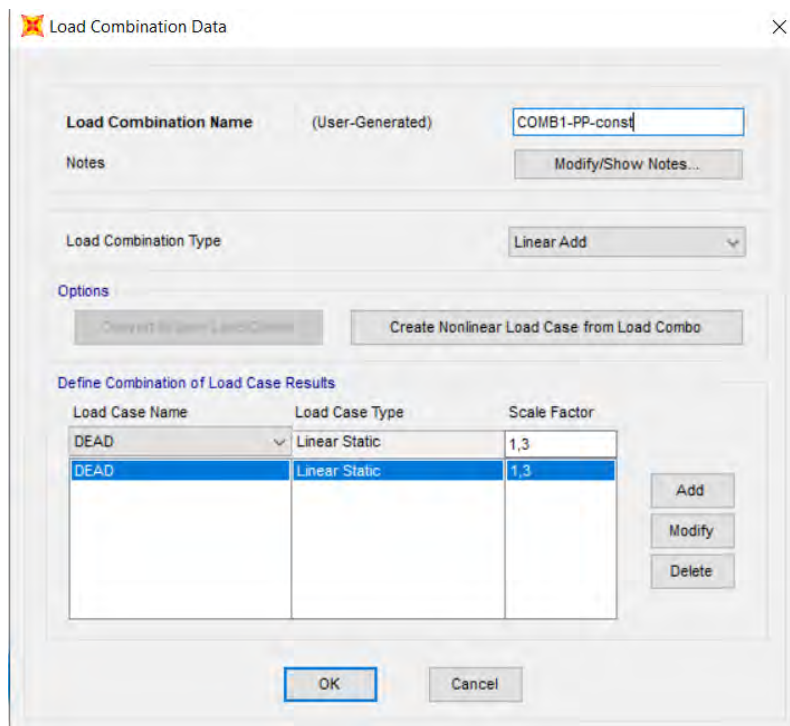


Figura 9.1 – Esquema Estrutural de Lançamento - Avaliado



Figur9.2 – Verificação Pelo SAP 2000



Load Combination Data

Load Combination Name: (User-Generated)

Notes:

Load Combination Type:

Options:

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1.3
DEAD	Linear Static	1.3

Figura 9.3 – Hipótese de Verificação

O fator de 1,30 é o arredondamento de um fator resultante da multiplicação do peso das ligações (1,10) multiplicado pelo fator de 1,15 (Combinação de construção da NBR 8800).

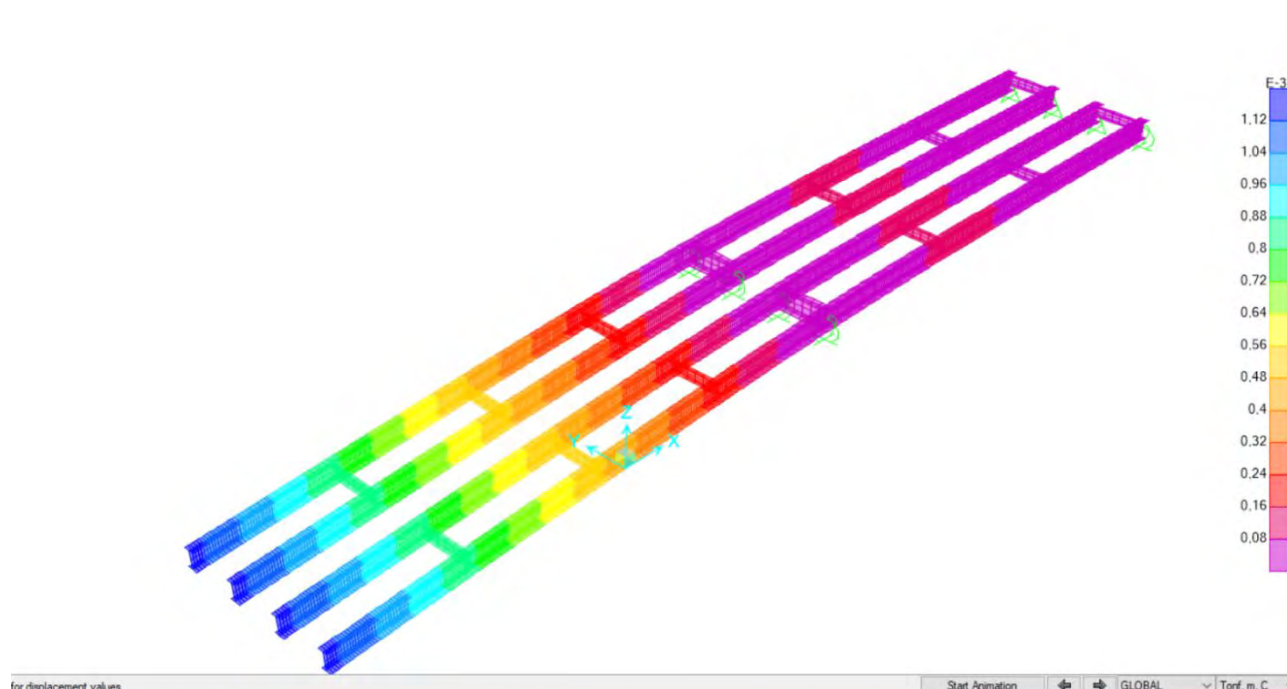
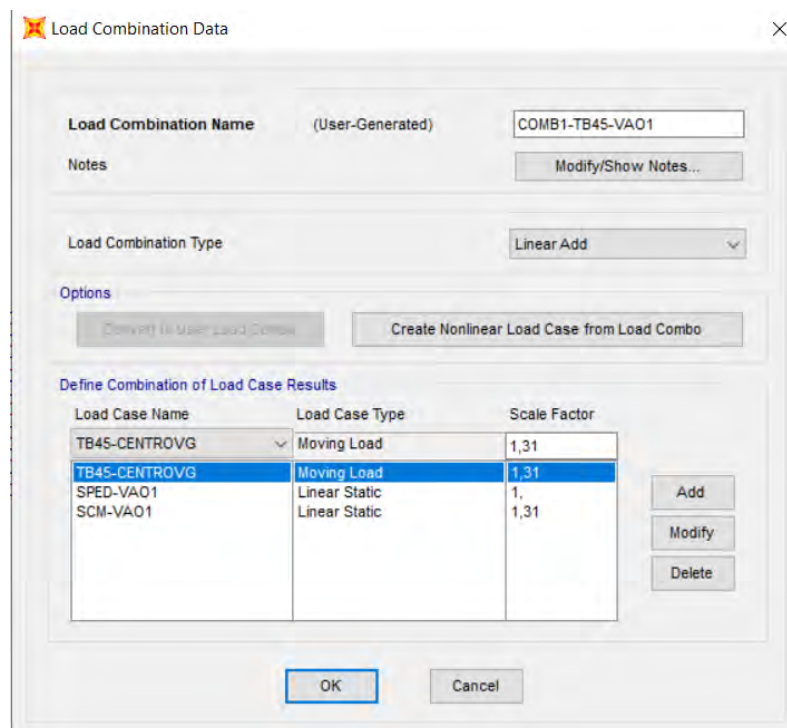


Figura 9.4 – Deformação na Ponta do Balanço de 18 metros.

Deformação de 12,32 centímetros (Acrescido de 10% de ligações). $L/292$, onde L é $2xL$ (Balanço). Lançada por completo de um lado, a ponte não precisa de contrapeso, apenas guindaste para posicionamento.

10.0 ANEXOS

10.1 COMBINAÇÕES UTILIZADAS



Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated): COMB1-TB45-VAO1

Notes: [Modify/Show Notes...]

Load Combination Type: Linear Add

Options: [Convert to User Load Combo] [Create Nonlinear Load Case from Load Combo]

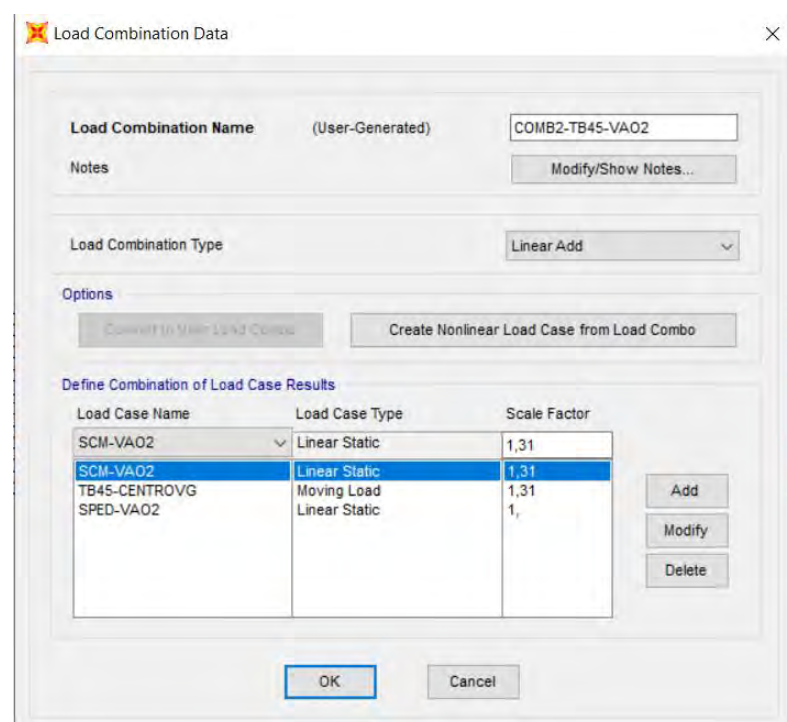
Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
TB45-CENTROVG	Moving Load	1,31
TB45-CENTROVG	Moving Load	1,31
SPED-VAO1	Linear Static	1,
SCM-VAO1	Linear Static	1,31

[Add] [Modify] [Delete]

[OK] [Cancel]

Figura 10.1 – Combinação TB45+SC1



Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated): COMB2-TB45-VAO2

Notes: [Modify/Show Notes...]

Load Combination Type: Linear Add

Options: [Convert to User Load Combo] [Create Nonlinear Load Case from Load Combo]

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
SCM-VAO2	Linear Static	1,31
SCM-VAO2	Linear Static	1,31
TB45-CENTROVG	Moving Load	1,31
SPED-VAO2	Linear Static	1,

[Add] [Modify] [Delete]

[OK] [Cancel]

Figura 10.2 – Combinação TB45+SC2

✖ Load Combination Data ✖

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
SCM-VAO3	Linear Static	1,31
SCM-VAO3	Linear Static	1,31
TB45-CENTROVG	Moving Load	1,31
SPED-VAO3	Linear Static	1,

Figura 10.3 – Combinação TB45+SC3

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
SCM-VAO1	Linear Static	1,31
SCM-VAO1	Linear Static	1,31
SCM-VAO2	Linear Static	1,31
SCM-VAO3	Linear Static	1,31
TB45-CENTROVG	Moving Load	1,31
SPED-VAO1	Linear Static	1,
SPED-VAO2	Linear Static	1,
SPED-VAO3	Linear Static	1,

Figura 10.4 – Combinação TB45+SCTOTAL

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
TB45-CENTROVG	Moving Load	1,31
TB45-CENTROVG	Moving Load	1,31
SPED-VAO1	Linear Static	1,
SCM-VAO1	Linear Static	1,31
SPED-VAO3	Linear Static	1,
SCM-VAO3	Linear Static	1,31

Figura 10.5 – Combinação TB45+SC1+SC3

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated) COMB6-ELVOLTORIA-TB45+SC

Notes Modify/Show Notes...

Load Combination Type Envelope

Options

Convert to User Load Combo Create Nonlinear Load Case from Load Combo

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
COMB1-TB45-VA01	Combination	1,
COMB1-TB45-VA01	Combination	1,
COMB2-TB45-VA02	Combination	1,
COMB3-TB45-VA03	Combination	1,
COMB4-TB45-TOTAL	Combination	1,
COMB5-TB45-VA01+VA03	Combination	1,

Add Modify Delete

OK Cancel

Figura 10.6 – Combinação Envoltória das Cargas móveis

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated) COMB1-PP+PERM

Notes Modify/Show Notes...

Load Combination Type Linear Add

Options

Convert to User Load Combo Create Nonlinear Load Case from Load Combo

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
PERM-1	Linear Static	1,
PERM-1	Linear Static	1,
PERM-FUT	Linear Static	1,
GC	Linear Static	1,
GR	Linear Static	1,

Add Modify Delete

OK Cancel

Figura 10.7 – Combinação Cargas Permanentes

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated) COMB7-ELU-

Notes [Modify/Show Notes...](#)

Load Combination Type Linear Add

Options

[Convert to User Load Combo](#) [Create Nonlinear Load Case from Load Combo](#)

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
COMB1-PP+PERM	Combination	1,35
COMB1-PP+PERM	Combination	1,35
COMB6-ELVOLTORIA-TB45+SC	Combination	1,5

[Add](#) [Modify](#) [Delete](#)

[OK](#) [Cancel](#)

Figura 10.8 – Combinação ELU

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated) COMB3-ELU-MAQUEAMENTO

Notes [Modify/Show Notes...](#)

Load Combination Type Linear Add

Options

[Convert to User Load Combo](#) [Create Nonlinear Load Case from Load Combo](#)

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
GC	Linear Static	1,35
PERM-1	Linear Static	1,35
PERM-FUT	Linear Static	1,35
DEAD	Linear Static	1,35
GR	Linear Static	1,35
GC	Linear Static	1,35

[Add](#) [Modify](#) [Delete](#)

[OK](#) [Cancel](#)

Figura 10.9 – Combinação ELU - Macaqueamento

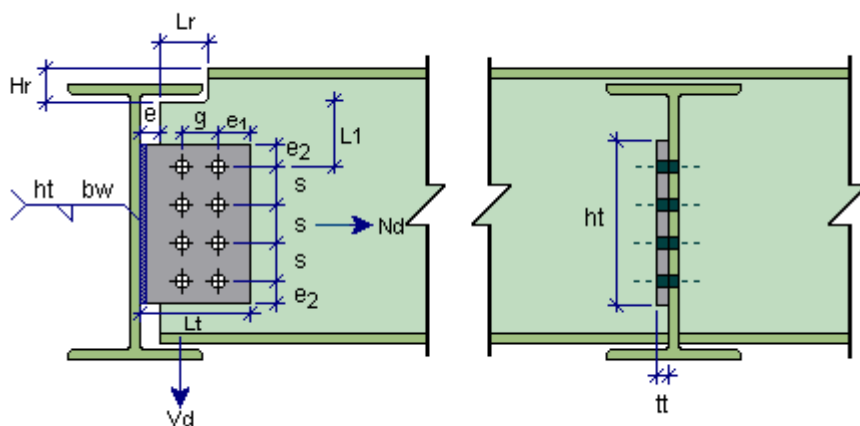
10.2 LIGAÇÕES DAS TRANSVERSINAS

10.2.1 LIGAÇÃO DAS TRANSVERSINAS COM LONGARINAS – SOBRE PILARES

LIG TRANSVERSINA/LONGARINA

Cliente:	DER-MG
Obra:	PONTE CONCEIÇÃO DOS OUROS
Responsável:	WALDELI BRAZ

LIGAÇÃO VIGA-VIGA COM UMA TALA DE ALMA PARAFUSADA COM RECORTE SUPERIOR.



1.DADOS DE ENTRADA

Solicitações de cálculo	
Esforço normal atuante na viga(Nsd)	45 kN
Esforço cortante atuante na viga(Vsd)	438 kN

Solda	
Eletrodo	7 ou E 70XX
Tensão de ruptura da solda(fw)	485 MPa
Espessura da perna da solda(bw)	16 mm Tala - Alma da Viga de apoio

Tala	
Altura da tala(ht)	430 mm
Largura da tala(Lt)	313.25 mm
Espessura da tala(tt)	16 mm
Aço	USI-SAC-300
Tensão de escoamento(fy)	300 MPa
Tensão de ruptura(fu)	400 MPa

Viga	
Perfil	W 530 85
Aço	A588

Tensão de escoamento(fy)	345 MPa
Tensão de ruptura(fu)	485 MPa

Viga de apoio	
Perfil	PS 622 x 327 x 24.5 x 15.4
Aço	A588
Tensão de escoamento(fy)	345 MPa
Tensão de ruptura(fu)	485 MPa

Parafusos	
Tipo	ASTM A490
Tensão de escoamento do parafuso(fy)	895 MPa
Tensão de ruptura dos parafusos(fu)	1035 MPa
Diâmetro	19 mm
Número de parafusos(n)	6
Rosca inclusa no plano de corte	SIM
Distância horizontal entre furos e borda(e1)	40 mm
Distância vertical entre furo e borda(e2)	40 mm
Espaçamento vertical entre furos(s)	70 mm
Espaçamento horizontal entre as linhas de parafusos(g)	70 mm
Linhas de parafusos	2 linha de parafusos

2.Verificação da altura da tala

h_{máx} = 0.498 m Altura máxima
h_t = 0.43 m Altura da tala

$$h_t \leq h_{máx} \quad \text{OK!}$$

3.Verificação da solda da tala chegando na viga de apoio

f_r = 187908.953 kN/m² Tensão resultante na solda na viga de apoio.

$$\frac{R_{Rkn1}}{\gamma} = \frac{0,6 \cdot f_y \cdot \sqrt{2}}{1,10} = 266129.281 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkn2}}{\gamma} = \frac{0,6 \cdot f_w}{1,35} = 215555.563 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = 215555.563 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} \geq f_r \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_r}{R_{Rkn}/\gamma} = 0.872 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

4.Verificação dos Parafusos

$F_d = 50.874 \text{ kN}$ Força de cisalhamento máximo.

4.1. Verificação do cisalhamento (ligação por contato)

$$\frac{R_{Rkv}}{\gamma} = \frac{0,4 \cdot A_b \cdot f_{ub}}{1,35}$$

$$\frac{R_{Rkv}}{\gamma} = 86.949 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Rkv}}{\gamma} \geq F_d \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{F_d}{R_{Rkv}/\gamma} = 0.585 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

5. Verificação da pressão de contato na chapa (alma da viga)

5.1. Verificação do rasgamento entre furos consecutivos

$F_d = 50.874 \text{ kN}$ Força de cisalhamento máximo.

$l_c = (s - d) = 0.049 \text{ m}$ Distância livre entre a borda do furo e a borda do furo adjacente.

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} = \frac{1,5 \cdot l_c \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} \leq \frac{3,0 \cdot d_b \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} = 327.644 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} \geq F_d \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{F_d}{R_{Rkc}/\gamma} = 0.155 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

5.2. Verificação do rasgamento entre furo e borda (direção vertical)

$l_c = (e_2 - \frac{d}{2}) = 0.03 \text{ m}$ Distância livre entre a borda do furo e a borda da parte ligada.

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} = \frac{1,5 \cdot l_c \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} \leq \frac{3,0 \cdot d_b \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} = 256.511 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} \geq F_d \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{F_d}{R_{Rkc}/\gamma} = 0.198 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

5.3. Verificação do rasgamento entre furo e borda (direção horizontal)

$l_c = (L_t - (e_1 + \frac{d}{2})) = 0.263 \text{ m}$ Distância livre entre a borda do furo e a borda da parte ligada.

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} = \frac{1,5 \cdot l_c \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} \leq \frac{3,0 \cdot d_b \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} = 327.644 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} \geq F_d \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{F_d}{R_{Rkc}/\gamma} = 0.155 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

6.Verificação da tala

Vt = 438 kN Esforço cortante na tala.
Mt = 104.354 kN.m Momento na tala.

6.1.Verificação da seção bruta

6.1.1.Verificação da tensão provocada pela força cortante

fvd = 63662.785 kN/m2 Tensão devido ao esforço cortante.

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = \frac{0,6 \cdot f_y}{1,10} = 163636.359 \text{ kN/m2}$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} \geq f_{vd} \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_{vd}}{R_{Rkn}/\gamma} = 0.389 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

6.1.2.Verificação da tensão provocada pelo momento fletor

fbd = 218182.469 kN/m2 Tensão de cálculo.

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = \frac{f_y}{1,10} = 313636.344 \text{ kN/m2}$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} \geq f_{bd} \quad \text{OK!} = 0.696 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

6.2.Verificação da seção líquida

6.2.1.Verificação da tensão provocada pela força cortante na seção líquida

fvd = 89169.375 kN/m2 Tensão provocada pelo esforço cortante.

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = \frac{0,6 \cdot f_u}{1,35} = 215555.563 \text{ kN/m2}$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} \geq f_{vd} \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_{vd}}{R_{Rkn}/\gamma} = 0.414 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

6.2.2.Verificação da tensão provocada pelo momento fletor na seção líquida

fbd = -165152.094 kN/m2 Tensão de cálculo.

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = \frac{f_u}{1,35} = 359259.25 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} \geq f_{bd} \quad \text{OK!} = -0.46 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

7. Verificação do colapso por rasgamento nas talas

$V_c = 438 \text{ kN}$ Esforço cortante atuante na tala

$$f_u \cdot A_{nt} < 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv}$$

$$\frac{R_{Rk}}{\gamma} = \frac{0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + f_y \cdot A_{gt}}{1,35} \leq \frac{0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + f_u \cdot A_{nt}}{1,35} = 1190.462 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Rk}}{\gamma} \geq V_c \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{V_c}{R_{Rk}/\gamma} = 0.368 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

8. Verificação do colapso por rasgamento da alma da viga

$C_{ts} = 1,00$

$A_{nt} = 0.001 \text{ m}^2$ Área líquida sujeita à tração

$A_{gv} = 0.004 \text{ m}^2$ Área bruta sujeita ao cisalhamento

$A_{nv} = 0.003 \text{ m}^2$ Área líquida sujeita ao cisalhamento

$$F_{Rd,r} = \frac{0,60 \cdot f_u \cdot A_{nv} + C_{ts} \cdot f_u \cdot A_{nt}}{1,35} = 1010.571 \text{ kN}$$

$$F_{Rd,r} = \frac{0,60 \cdot f_y \cdot A_{gv} + C_{ts} \cdot f_u \cdot A_{nt}}{1,35} = 1001.341 \text{ kN}$$

$F_{Rdr} = 1001.341 \text{ kN}$

$$F_{Rd,r} \geq V_{Sd} \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{V_{Sd}}{F_{Rd,r}} = 0.437 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

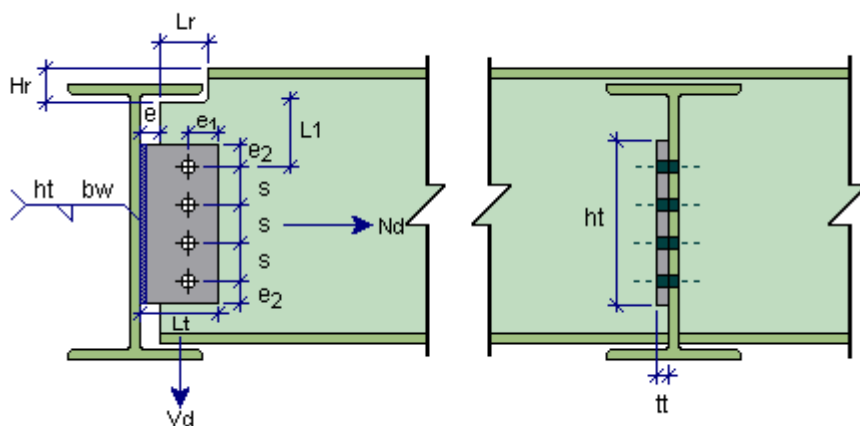
Verificação finalizada

10.2.2 LIGAÇÃO DAS TRANSVERSINAS COM LONGARINAS MEIO VÃO

LIG TRANSVERSINA FORA DO APOIO/LONGARINA – CARGA MINIMA

Cliente:	DER-MG
Obra:	PONTE CONCEIÇÃO DOS OUROS
Responsável:	WALDELI BRAZ

LIGAÇÃO VIGA-VIGA COM UMA TALA DE ALMA PARAFUSADA COM RECORTE SUPERIOR.



1.DADOS DE ENTRADA

Solicitações de cálculo	
Esforço normal atuante na viga(Nsd)	45 kN
Esforço cortante atuante na viga(Vsd)	45 kN

Solda	
Eletrodo	7 ou E 70XX
Tensão de ruptura da solda(fw)	485 MPa
Espessura da perna da solda(bw)	12.5 mm Tala - Alma da Viga de apoio

Tala	
Altura da tala(ht)	290 mm
Largura da tala(Lt)	243.25 mm
Espessura da tala(tt)	12.5 mm
Aço	USI-SAC-300
Tensão de escoamento(fy)	300 MPa
Tensão de ruptura(fu)	400 MPa

Viga	
Perfil	W 360 44
Aço	A588
Tensão de escoamento(fy)	345 MPa
Tensão de ruptura(fu)	485 MPa

Viga de apoio	
Perfil	PS 622 x 327 x 24.5 x 15.4
Aço	A588
Tensão de escoamento(f_y)	345 MPa
Tensão de ruptura(f_u)	485 MPa

Parafusos	
Tipo	ASTM A490
Tensão de escoamento do parafuso(f_y)	895 MPa
Tensão de ruptura dos parafusos(f_u)	1035 MPa
Diâmetro	19 mm
Número de parafusos(n)	4
Rosca inclusa no plano de corte	SIM
Distância horizontal entre furos e borda(e_1)	40 mm
Distância vertical entre furo e borda(e_2)	40 mm
Espaçamento vertical entre furos(s)	70 mm
Linhas de parafusos	1 linha de parafusos

2.Verificação da altura da tala

$h_{m\acute{a}x} = 0.322$ m Altura máxima
 $h_t = 0.29$ m Altura da tala

$$h_t \leq h_{m\acute{a}x} \quad \text{OK!}$$

3.Verificação da solda da tala chegando na viga de apoio

$f_r = 51234.949$ kN/m² Tensão resultante na solda na viga de apoio.

$$\frac{R_{Rkn1}}{\gamma} = \frac{0,6 \cdot f_y \cdot \sqrt{2}}{1,10} = 266129.281 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkn2}}{\gamma} = \frac{0,6 \cdot f_w}{1,35} = 215555.563 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = 215555.563 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} \geq f_r \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_r}{\frac{R_{Rkn}}{\gamma}} = 0.238 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

4.Verificação dos Parafusos

$F_d = 51.687$ kN Força de cisalhamento máximo.

4.1.Verificação do cisalhamento (ligação por contato)

$$\frac{R_{Rkv}}{\gamma} = \frac{0,4 \cdot A_b \cdot f_{ub}}{1,35}$$

$$\frac{R_{Rkv}}{\gamma} = 86.949 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Rkv}}{\gamma} \geq F_d \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{F_d}{\frac{R_{Rkv}}{\gamma}} = 0.594 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

5.Verificação da pressão de contato na chapa (alma da viga)

5.1.Verificação do rasgamento entre furos consecutivos

$F_d = 51.687 \text{ kN}$ Força de cisalhamento máximo.

$l_c = (s - d) = 0.049 \text{ m}$ Distância livre entre a borda do furo e a borda do furo adjacente.

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} = \frac{1,5 \cdot l_c \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} \leq \frac{3,0 \cdot d_b \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} = 255.972 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} \geq F_d \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{F_d}{\frac{R_{Rkc}}{\gamma}} = 0.202 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

5.2.Verificação do rasgamento entre furo e borda (direção vertical)

$l_c = (e_2 - \frac{d}{2}) = 0.03 \text{ m}$ Distância livre entre a borda do furo e a borda da parte ligada.

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} = \frac{1,5 \cdot l_c \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} \leq \frac{3,0 \cdot d_b \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} = 200.399 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} \geq F_d \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{F_d}{\frac{R_{Rkc}}{\gamma}} = 0.258 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

5.3.Verificação do rasgamento entre furo e borda (direção horizontal)

$l_c = (l_t - (e_1 + \frac{d}{2})) = 0.193 \text{ m}$ Distância livre entre a borda do furo e a borda da parte ligada.

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} = \frac{1,5 \cdot l_c \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} \leq \frac{3,0 \cdot d_b \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} = 255.972 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} \geq F_d \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{F_d}{R_{Rkc}/\gamma} = 0.202 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

6.Verificação da tala

Vt = 45 kN Esforço cortante na tala.
Mt = 9.146 kN.m Momento na tala.

6.1.Verificação da seção bruta

6.1.1.Verificação da tensão provocada pela força cortante

fvd = 12413.793 kN/m² Tensão devido ao esforço cortante.

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = \frac{0,6 \cdot f_y}{1,10} = 163636.359 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} \geq f_{vd} \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_{vd}}{R_{Rkn}/\gamma} = 0.076 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

6.1.2.Verificação da tensão provocada pelo momento fletor

fbd = 64615.938 kN/m² Tensão de cálculo.

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = \frac{f_y}{1,10} = 313636.344 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} \geq f_{bd} \quad \text{OK!} = 0.206 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

6.2.Verificação da seção líquida

6.2.1.Verificação da tensão provocada pela força cortante na seção líquida

fvd = 17307.691 kN/m² Tensão provocada pelo esforço cortante.

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = \frac{0,6 \cdot f_u}{1,35} = 215555.563 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} \geq f_{vd} \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_{vd}}{R_{Rkn}/\gamma} = 0.08 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

6.2.2.Verificação da tensão provocada pelo momento fletor na seção líquida

fbd = 86774.625 kN/m² Tensão de cálculo.

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = \frac{f_u}{1,35} = 359259.25 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{Rk}}{\gamma} \geq f_{bd} \quad \text{OK!} = 0,242 \leq 1,0 \quad \text{OK!}$$

7.Verificação do colapso por rasgamento nas talas

$V_c = 45 \text{ kN}$ Esforço cortante atuante na tala

$$f_u \cdot A_{nt} < 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv}$$

$$\frac{R_{Rk}}{\gamma} = \frac{0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + f_y \cdot A_{gt}}{1,35} \leq \frac{0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + f_u \cdot A_{nt}}{1,35} = 663.299 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Rk}}{\gamma} \geq V_c \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{V_c}{R_{Rk}/\gamma} = 0,068 \leq 1,0 \quad \text{OK!}$$

8.Verificação do colapso por rasgamento da alma da viga

$C_{ts} = 1,00$

$A_{nt} = 0 \text{ m}^2$ Área líquida sujeita à tração

$A_{gv} = 0,002 \text{ m}^2$ Área bruta sujeita ao cisalhamento

$A_{nv} = 0,001 \text{ m}^2$ Área líquida sujeita ao cisalhamento

$$F_{Rd,r} = \frac{0,60 \cdot f_u \cdot A_{nv} + C_{ts} \cdot f_u \cdot A_{nt}}{1,35} = 356.216 \text{ kN}$$

$$F_{Rd,r} = \frac{0,60 \cdot f_y \cdot A_{gv} + C_{ts} \cdot f_u \cdot A_{nt}}{1,35} = 349.159 \text{ kN}$$

$FR_{dr} = 349.159 \text{ kN}$

$$F_{Rd,r} \geq V_{Sd} \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{V_{Sd}}{F_{Rd,r}} = 0,129 \leq 1,0 \quad \text{OK!}$$

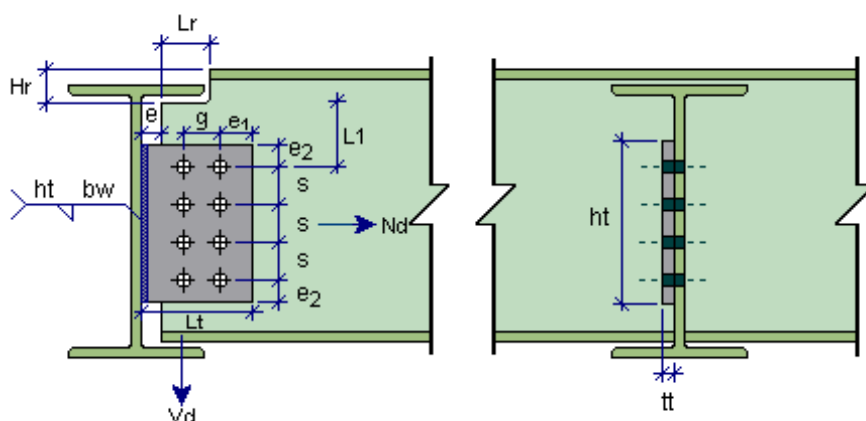
Verificação finalizada

10.2.3 LIGAÇÃO DAS TRANSVERSINAS COM LONGARINAS ENCONTROS

LIG TRANSVERSINA APOIOS EXTREMIDADE/LONGARINA

Cliente:	DER-MG
Obra:	PONTE CONCEIÇÃO DOS OUROS
Responsável:	WALDELI BRAZ

LIGAÇÃO VIGA-VIGA COM UMA TALA DE ALMA PARAFUSADA COM RECORTE SUPERIOR.



1.DADOS DE ENTRADA

Solicitações de cálculo	
Esforço normal atuante na viga(Nsd)	45 kN
Esforço cortante atuante na viga(Vsd)	141.6 kN

Solda	
Eletrodo	7 ou E 70XX
Tensão de ruptura da solda(fw)	485 MPa
Espessura da perna da solda(bw)	12.5 mm Tala - Alma da Viga de apoio

Tala	
Altura da tala(ht)	290 mm
Largura da tala(Lt)	313.25 mm
Espessura da tala(tt)	12.5 mm
Aço	USI-SAC-300
Tensão de escoamento(fy)	300 MPa
Tensão de ruptura(fu)	400 MPa

Viga	
Perfil	W 360 44
Aço	A588

Tensão de escoamento(f_y)	345 MPa
Tensão de ruptura(f_u)	485 MPa

Viga de apoio	
Perfil	PS 622 x 327 x 24.5 x 15.4
Aço	A588
Tensão de escoamento(f_y)	345 MPa
Tensão de ruptura(f_u)	485 MPa

Parafusos	
Tipo	ASTM A490
Tensão de escoamento do parafuso(f_y)	895 MPa
Tensão de ruptura dos parafusos(f_u)	1035 MPa
Diâmetro	19 mm
Número de parafusos(n)	4
Rosca inclusa no plano de corte	SIM
Distância horizontal entre furos e borda(e_1)	40 mm
Distância vertical entre furo e borda(e_2)	40 mm
Espaçamento vertical entre furos(s)	70 mm
Espaçamento horizontal entre as linhas de parafusos(g)	70 mm
Linhas de parafusos	2 linha de parafusos

2.Verificação da altura da tala

$h_{m\acute{a}x} = 0.322 \text{ m}$ Altura máxima
 $h_t = 0.29 \text{ m}$ Altura da tala

$$h_t \leq h_{m\acute{a}x} \quad \text{OK!}$$

3.Verificação da solda da tala chegando na viga de apoio

$f_r = 168706.453 \text{ kN/m}^2$ Tensão resultante na solda na viga de apoio.

$$\frac{R_{Rkn1}}{\gamma} = \frac{0,6 \cdot f_y \cdot \sqrt{2}}{1,10} = 266129.281 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkn2}}{\gamma} = \frac{0,6 \cdot f_w}{1,35} = 215555.563 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = 215555.563 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} \geq f_r \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_r}{\frac{R_{Rkn}}{\gamma}} = 0.783 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

4.Verificação dos Parafusos

$F_d = 31.993 \text{ kN}$ Força de cisalhamento máximo.

4.1. Verificação do cisalhamento (ligação por contato)

$$\frac{R_{Rkv}}{\gamma} = \frac{0,4 \cdot A_b \cdot f_{ub}}{1,35}$$

$$\frac{R_{Rkv}}{\gamma} = 86.949 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Rkv}}{\gamma} \geq F_d \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{F_d}{R_{Rkv}/\gamma} = 0.368 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

5. Verificação da pressão de contato na chapa (alma da viga)

5.1. Verificação do rasgamento entre furos consecutivos

$F_d = 31.993 \text{ kN}$ Força de cisalhamento máximo.

$l_c = (s - d) = 0.049 \text{ m}$ Distância livre entre a borda do furo e a borda do furo adjacente.

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} = \frac{1,5 \cdot l_c \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} \leq \frac{3,0 \cdot d_b \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} = 255.972 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} \geq F_d \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{F_d}{R_{Rkc}/\gamma} = 0.125 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

5.2. Verificação do rasgamento entre furo e borda (direção vertical)

$l_c = (e_2 - \frac{d}{2}) = 0.03 \text{ m}$ Distância livre entre a borda do furo e a borda da parte ligada.

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} = \frac{1,5 \cdot l_c \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} \leq \frac{3,0 \cdot d_b \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} = 200.399 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} \geq F_d \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{F_d}{R_{Rkc}/\gamma} = 0.16 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

5.3. Verificação do rasgamento entre furo e borda (direção horizontal)

$l_c = (L_t - (e_1 + \frac{d}{2})) = 0.263 \text{ m}$ Distância livre entre a borda do furo e a borda da parte ligada.

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} = \frac{1,5 \cdot l_c \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} \leq \frac{3,0 \cdot d_b \cdot t_c \cdot f_u}{1,35} = 255.972 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Rkc}}{\gamma} \geq F_d \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{F_d}{R_{Rkc}/\gamma} = 0.125 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

6.Verificação da tala

Vt = 141.6 kN Esforço cortante na tala.
Mt = 33.736 kN.m Momento na tala.

6.1.Verificação da seção bruta

6.1.1.Verificação da tensão provocada pela força cortante

fvd = 39062.074 kN/m2 Tensão devido ao esforço cortante.

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = \frac{0,6 \cdot f_y}{1,10} = 163636.359 \text{ kN/m2}$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} \geq f_{vd} \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_{vd}}{R_{Rkn}/\gamma} = 0.239 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

6.1.2.Verificação da tensão provocada pelo momento fletor

fbd = 204962.859 kN/m2 Tensão de cálculo.

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = \frac{f_y}{1,10} = 313636.344 \text{ kN/m2}$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} \geq f_{bd} \quad \text{OK!} = 0.654 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

6.2.Verificação da seção líquida

6.2.1.Verificação da tensão provocada pela força cortante na seção líquida

fvd = 54461.543 kN/m2 Tensão provocada pelo esforço cortante.

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = \frac{0,6 \cdot f_u}{1,35} = 215555.563 \text{ kN/m2}$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} \geq f_{vd} \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{f_{vd}}{R_{Rkn}/\gamma} = 0.253 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

6.2.2.Verificação da tensão provocada pelo momento fletor na seção líquida

fbd = -146415.422 kN/m2 Tensão de cálculo.

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} = \frac{f_u}{1,35} = 359259.25 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{R_{Rkn}}{\gamma} \geq f_{bd} \quad \text{OK!} = -0.408 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

7. Verificação do colapso por rasgamento nas talas

$V_c = 141.6 \text{ kN}$ Esforço cortante atuante na tala

$$f_u \cdot A_{nt} < 0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv}$$

$$\frac{R_{Rk}}{\gamma} = \frac{0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + f_y \cdot A_{gt}}{1,35} \leq \frac{0,6 \cdot f_u \cdot A_{nv} + f_u \cdot A_{nt}}{1,35} = 663.299 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{Rk}}{\gamma} \geq V_c \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{V_c}{R_{Rk}/\gamma} = 0.213 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

8. Verificação do colapso por rasgamento da alma da viga

$C_{ts} = 1,00$

$A_{nt} = 0 \text{ m}^2$ Área líquida sujeita à tração

$A_{gv} = 0.002 \text{ m}^2$ Área bruta sujeita ao cisalhamento

$A_{nv} = 0.001 \text{ m}^2$ Área líquida sujeita ao cisalhamento

$$F_{Rd,r} = \frac{0,60 \cdot f_u \cdot A_{nv} + C_{ts} \cdot f_u \cdot A_{nt}}{1,35} = 529.739 \text{ kN}$$

$$F_{Rd,r} = \frac{0,60 \cdot f_y \cdot A_{gv} + C_{ts} \cdot f_u \cdot A_{nt}}{1,35} = 522.681 \text{ kN}$$

$F_{Rdr} = 522.681 \text{ kN}$

$$F_{Rd,r} \geq V_{Sd} \quad \text{OK!}$$

$$\frac{\text{Solicitação}}{\text{Resistência}} = \frac{V_{Sd}}{F_{Rd,r}} = 0.271 \leq 1.0 \quad \text{OK!}$$

Verificação finalizada

mCalcLIG - <http://www.stabile.com.br>