

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ
SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA
DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM – DER

MEMÓRIA DE CÁLCULO DE ESTRUTURAS
DUPLICAÇÃO DA RODOVIA PR-445
km 0+000 ao Acesso à Lerroville

LOCAL: MAUÁ DA SERRA/PR À LERROVILLE/PR
TRECHO: km 0+000 AO km 26+800
FASE: PROJETO EXECUTIVO
EXTENSÃO: 26,800 km

VOLUME 3D
MEMÓRIA DE CÁLCULO DE ESTRUTURAS
TOMO I



AGOSTO / 2021

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ
SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA
DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM - DER

MEMÓRIA DE CÁLCULO DE ESTRUTURAS
DUPLICAÇÃO DA RODOVIA PR-445
km 0+000 ao Acesso à Lerroville

LOCAL: MAUÁ DA SERRA/PR À LERROVILLE/PR

TRECHO: km 0+000 AO km 26+800

FASE: PROJETO EXECUTIVO

EXTENSÃO: 26,800 km

VOLUME 3D

MEMÓRIA DE CÁLCULO DE ESTRUTURAS
TOMO I

Revisão	Data	Descrição
0	29/01/2021	Emissão inicial
1	28/05/2021	Atendimento a Comentários
2	12/08/2021	Alteração de Projeto no acesso à Lerroville

SUMÁRIO

TOMO I

1 APRESENTAÇÃO	2
2 MAPA DE SITUAÇÃO	4
3 PROJETOS ELABORADOS.....	5
3.1 PROJETO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS.....	5
3.1.1 Ponte sobre o Rio Apucarantina	5

TOMO II

3.1.2 Ponte sobre o Rio Santa Cruz

TOMO III

3.1.3 Interseção de Acesso à Tamarana – km 25-+360

TOMO IV

3.1.4 Projeto Contenção Estaca 904+15,03 – Pista Direita

3.1.5 Projeto Contenção Estaca 1266+17,67

4 TERMO DE ENCERRAMENTO

1 APRESENTAÇÃO

O presente volume refere-se à Memória de Cálculo de Estruturas para o Projeto e Duplicação e Restauração da rodovia PR-445. O trecho em estudo, de acordo com o edital, está compreendido entre o km 0,00 e o km 26,80. Pelos estudos da Geometria, o trecho termina após o acesso a Lerroville, no km 27,100.

O estudo foi desenvolvido de acordo com as normas do DER/PR e DNIT, visando garantir os parâmetros de desempenho preconizados, através de soluções que atendam técnica e economicamente as necessidades e expectativas do contratante.

Rodovia:	PR-445
Segmento:	Subtrecho 01: km 0 ao km 27,1
SREs:	445S0010EPR/ 445S0015EPR/ 445S0017EPR
Extensão da duplicação:	27,10 m
Superintendência DER/PR	Regional Norte

Localização do empreendimento:

O Segmento 1 está localizado na região Norte Central do estado do Paraná, sob a Fiscalização da Superintendência Regional Norte do DER-PR, na cidade de Londrina.

Está inserido nos municípios de Mauá da Serra, Tamarana, Marilândia do Sul e Londrina. Inicia no entroncamento com a BR-376, no km 0, e termina no acesso a Lerroville (distrito da cidade de Londrina), no km 27,1.

O início do trecho situa-se em média 23°54'27.09" de latitude Sul e 5111'32.66" de longitude Oeste e altitude de 1094 m acima do nível do mar.

Dados do Contrato

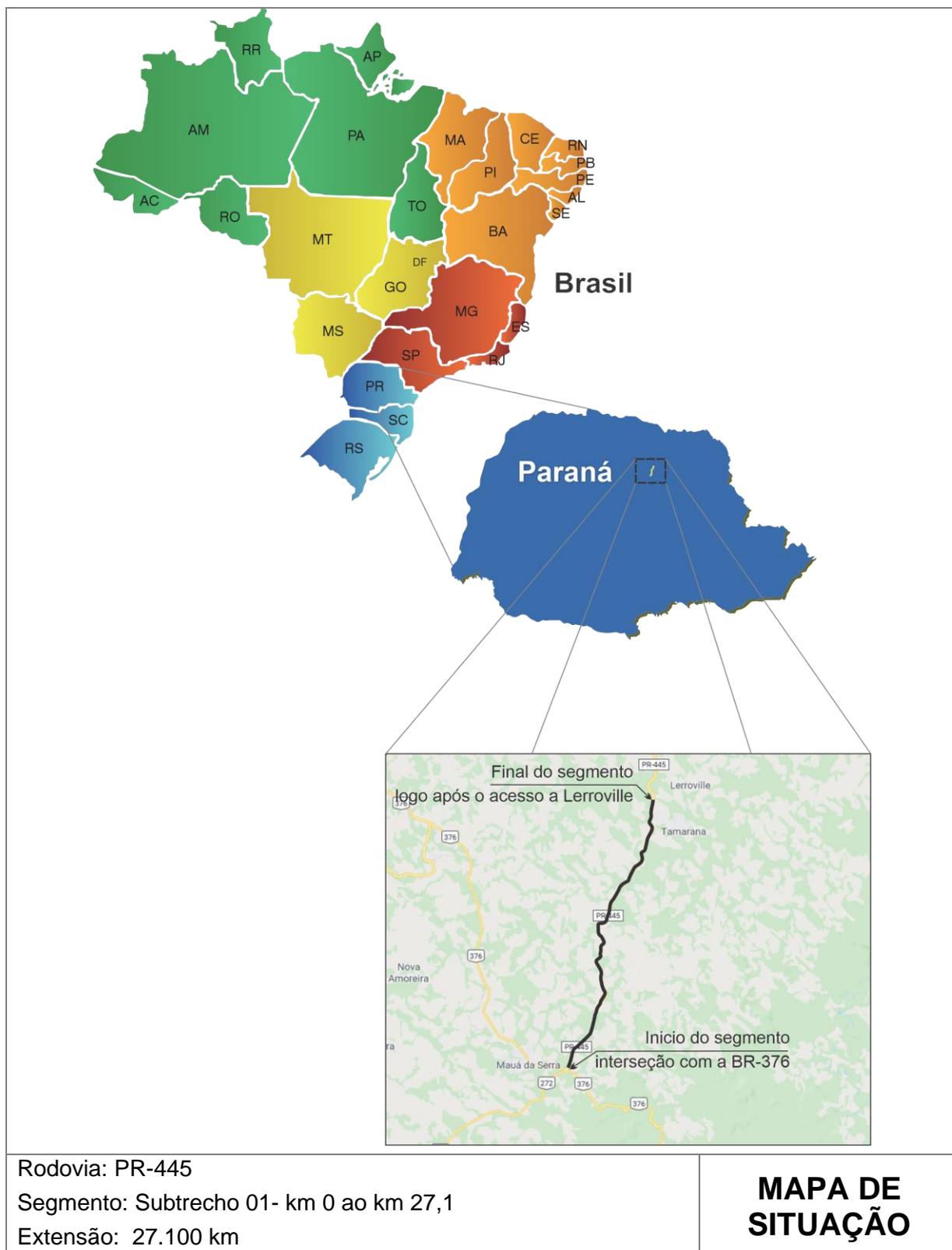
- Número: 028/2020
- Data da Assinatura: 01/04/2020

Ordem de Serviço

- Número: 008/2020
- Data da OS: 01/05/2020
- Prazo Contratual: 12 meses

Na figura a seguir é apresentado o mapa de situação com identificação do empreendimento.

2 MAPA DE SITUAÇÃO



3 PROJETOS ELABORADOS

3.1 PROJETO DE OBRAS DE ARTE ESPECIAIS

3.1.1 Ponte sobre o Rio Apucarantina

Trata-se de uma obra ortogonal, reta, com extensão total de 40,65m e inclinação transversal de 5,5% para o lado externo, de modo a propiciar a devida condição de drenagem.

Transversalmente, a OAE é composta por duas faixas de rolamento com 360cm cada com superlargura, uma faixa de acostamento de largura 300 cm, faixa de segurança de 100cm, além de barreiras rígidas com 40 cm, contemplando assim os 13,20m de largura total.

A superestrutura é formada por tabuleiro único, apresentando 39,60m de comprimento, composto por 6 longarinas pré-moldadas em concreto protendido com altura de 1,70m e espaçadas a cada 2,3m,

A solução para estas vigas longarinas pré-moldadas, em seção I, prevê a utilização de 03 cabos por viga, compostos por 15 cordoalhas $\varnothing 15,2\text{mm}$ em aço CP-190RB, que posteriormente à protensão final, deverão ser injetados com nata de cimento.

Para interligar as longarinas, foram previstas transversinas projetadas apenas na região dos apoios, moldadas e protendidas no local, com espessura de 0,25m, com seus cabos passantes em furos deixados nas extremidades das vigas longarinas. Esta protensão também deverá ser do tipo pós aderente com cabo único, composto por 4 cordoalhas $\varnothing 15,2\text{mm}$ em aço CP-190 em ambas as extremidades, com ancoragem ativa.

A grelha formada pelas longarinas e transversinas são solidarizadas pela laje do tabuleiro de 0,25m de espessura mínima.

Entre as longarinas, estão apoiadas pré-lajes pré-fabricadas, não havendo necessidade de forma para a concretagem da laje entre as vigas.

Nas extremidades das lajes há juntas elastoméricas do tipo JEENE ou equivalente.

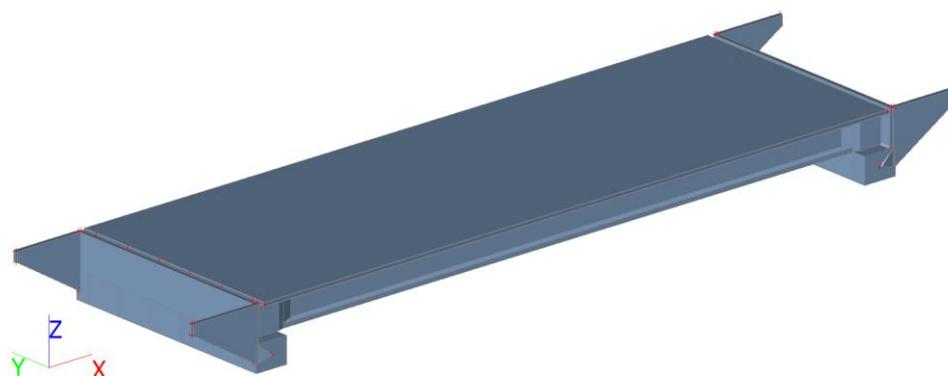
A superestrutura é apoiada nos encontros/apoios sobre aparelhos de apoio de neoprene fretado. Para eventuais

substituições dos aparelhos, está previsto o macaqueamento simultâneo de cada eixo de apoio.

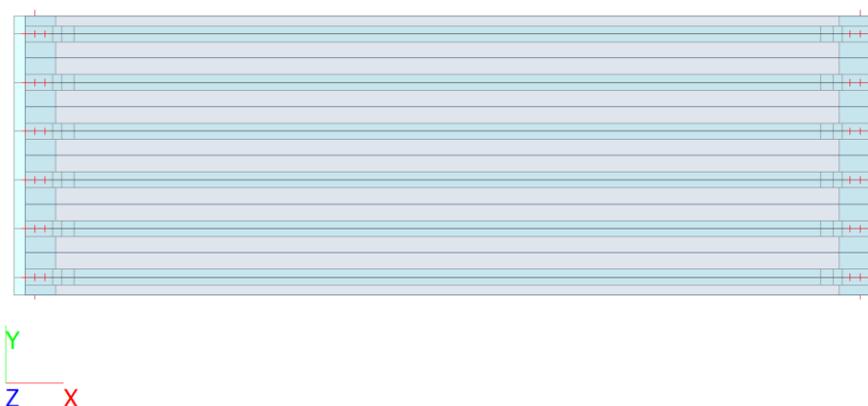
A mesoestrutura e a infraestrutura são compostas, nos encontros, por vigas travessas tipo blocos de fundação sobre 12 estacas raiz $\varnothing 410\text{mm}$ $\varnothing 300\text{mm}$ com comprimento em solo e rocha respectivamente, contemplando também cortinas e lajes de transição.

3.1.1.1 Isométrico 3D

3.1.1.1.1 Modelo de análise



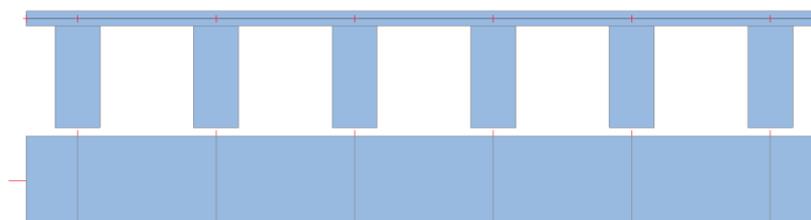
3.1.1.2 Planta



3.1.1.3 Seção Longitudinal



3.1.1.4 Seção Transversal



3.1.1.5 Critérios de Projeto

3.1.1.5.1 Normas Técnicas

Foram consideradas as seguintes Normas Brasileiras:

- NBR 6118/2014 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento;
- NBR 7187/2003 - Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento;

- NBR 7188/2013 - Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas;
- NBR 8681/2003 - Ações e segurança nas estruturas – Procedimento;
- NBR 9062/2017 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado;
- NBR 6122/2010 - Projeto e execução de fundações;
- NBR 6120/2019 - Ações para o cálculo de estruturas de edificações;
- NBR 6123/2013 - Forças devidas ao vento em edificações.
- Para os aparelhos de apoio de neoprene fretados, foi considerada a norma europeia:
- EN 1337-3:2005 - Structural Bearings – Part3: Elastomeric Bearings.

3.1.1.5.2 Classe de Agressividade Ambiental

A estrutura foi projetada para a classe de agressividade ambiental CAA II, definida na NBR-6118/2014 devem ser respeitados os seguintes cobrimentos mínimos:

Estacas $\varnothing = 41\text{cm} - 7,5\text{cm}$

Travessas - 3,5cm

Transversinas e Vigas Pré-moldadas protendidas - 3,5cm

Lajes - 3,0cm

3.1.1.5.3 Coeficientes de Segurança e Limite de Abertura de Fissuras

Concreto	$\gamma_c = 1,4;$
Aço	$\gamma_s = 1,15;$
Cargas Permanentes	$\gamma_f = 1,35;$
Cargas Acidentais	$\gamma_f = 1,5;$
Limite de abertura de fissuras adotado	$w_k = 0,3\text{mm};$

3.1.1.5.4 Materiais

Concreto Brasil

Nome	Expansão térmica [m/mK]	Massa unitária [kg/m ³]	Modulo Ecs [MPa]	Poisson - nu	Resistencia característica à compressão do cilindro fck(28) [kgf/cm ²]
Tipo			Módulo G [MPa]		
C30	0,00	2500,0	2,6838e+04	0.2	305,91
Concreto			1,1183e+04		
C40	0,00	2500,0	3,1876e+04	0.2	407,89
Concreto			1,3282e+04		
C50	0,00	2500,0	3,6628e+04	0.2	509,86
Concreto			1,5262e+04		

3.1.1.6 Caracterização da Estrutura

3.1.1.6.1 Características Geométricas

Os tabuleiros passam por quatro estágios até chegar à situação final:

- Estágio G1 - Vigas pré-moldadas isoladas (perfil viga isolada)
- Estágio G2 - Montagem das Pré-Lajes e Concretagem das Lajes (perfil viga isolada)
- Estágio G3 - Pavimento e Barreiras (perfil composto da viga com mesa colaborante)
- Estágio Q - Cargas Acidentais na obra finalizada (perfil composto da viga com mesa colaborante)

As pré-lajes possuem dimensões de 190cm x 50cm x 5,0cm.

Nos balanços não há pré-lajes, as lajes são maciças moldadas no local com pingadeiras.

A espessura média final das lajes é 25cm.

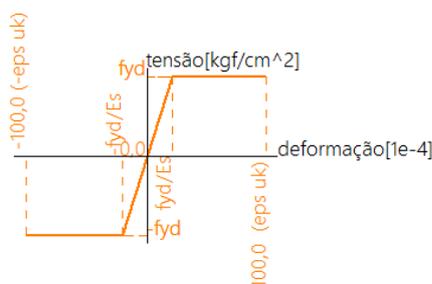
As larguras de mesas colaborantes para as vigas longarinas são:

- L=2,50m para as Vigas Centrais.
- L=2,25m para as Vigas de Extremidades.

3.1.1.6.2 Materiais

Aço de armadura	
CA-50	
Expansão térmica [m/mK]	0,00
Massa unitária [kg/m³]	7850,0
Módulo E [MPa]	2,1000e+05
Poisson - nu	0.2
Módulo G independente	Não
Módulo G [MPa]	8,7500e+04
Decréscimo Log. (amortecimento não uniforme apenas)	0.062
Calor específico [J/gK]	6,0000e-01
Condutividade térmica [W/mK]	4,5000e+02
Ordem em norma	2
Superfície da barra	Nervurado
Resistência característica ao escoamento f_{yk} [kgf/cm²]	5098,6
Valores dependentes de cálculo	Não
Resistência ao escoamento de cálculo - normais ($f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{s_r}$) [kgf/cm²]	4433,5
Resistência ao escoamento de cálculo - especiais ($f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{s_s}$) [kgf/cm²]	4433,5
Resistência ao escoamento de cálculo - excepcionais ($f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{s_e}$) [kgf/cm²]	5098,6
Alongamento máximo $\epsilon_{s_{uk}}$ [1e-4]	100,0
Tipo de diagrama	Diagrama tensão-deformação do aço

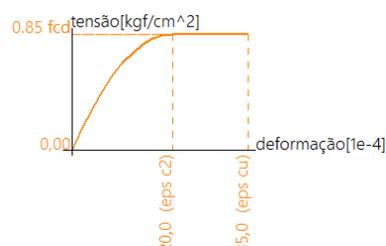
➤ Diagrama tensão-deformação



Concreto	
C40	
Expansão térmica [m/mK]	0,00
Massa unitária [kg/m³]	2500,0

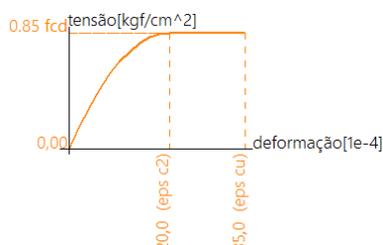
Modulo Ecs [MPa]	3,1876e+04
Poisson - nu	0.2
Módulo G independente	Não
Módulo G [MPa]	1,3282e+04
Decréscimo Log. (amortecimento não uniforme apenas)	0.062
Calor específico [J/gK]	6,0000e-01
Condutividade térmica [W/mK]	4,5000e+01
Ordem em norma	5
Diâmetro do agregado (dg) [cm]	3,00
Resistencia característica à compressão do cilindro fck(28) [kgf/cm ²]	407,89
Valores dependentes de cálculo	Sim
Resistência média à tração fctm(28) [kgf/cm ²]	35,78
Resistência de cálculo à compressão - normais (fcd = fck / gamma c_r) [kgf/cm ²]	291,35
Resistência de cálculo à compressão - especiais (fcd = fck / gamma c_s) [kgf/cm ²]	339,91
Resistência de cálculo à compressão - excepcionais (fcd = fck / gamma c_e) [kgf/cm ²]	339,91
Deformação ao alcançar a resistência máxima eps c2 [1e-4]	20,0
Deformação última eps cu [1e-4]	35,0
Tipo de agregado	Granito
Tipo de diagrama	Diagrama tensão-deformação parábola-retângulo

➤ Diagrama tensão-deformação

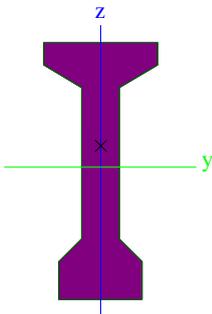


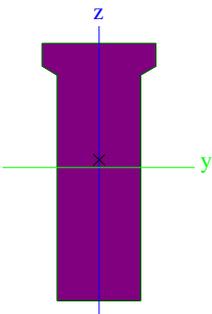
Concreto	
C50	
Expansão térmica [m/mK]	0,00
Massa unitária [kg/m ³]	2500,0
Modulo Ecs [MPa]	3,6628e+04
Poisson - nu	0.2
Módulo G independente	Não
Módulo G [MPa]	1,5262e+04
Decréscimo Log. (amortecimento não uniforme apenas)	0.062
Calor específico [J/gK]	6,0000e-01
Condutividade térmica [W/mK]	4,5000e+01
Ordem em norma	7
Diâmetro do agregado (dg) [cm]	3,00
Resistencia característica à compressão do cilindro fck(28) [kgf/cm ²]	509,86
Valores dependentes de cálculo	Sim
Resistência média à tração fctm(28) [kgf/cm ²]	41,52
Resistência de cálculo à compressão - normais (fcd = fck / gamma c_r) [kgf/cm ²]	364,18
Resistência de cálculo à compressão - especiais (fcd = fck / gamma c_s) [kgf/cm ²]	424,88
Resistência de cálculo à compressão - excepcionais (fcd = fck / gamma c_e) [kgf/cm ²]	424,88
Deformação ao alcançar a resistência máxima eps c2 [1e-4]	20,0
Deformação última eps cu [1e-4]	35,0
Tipo de agregado	Granito
Tipo de diagrama	Diagrama tensão-deformação parábola-retângulo

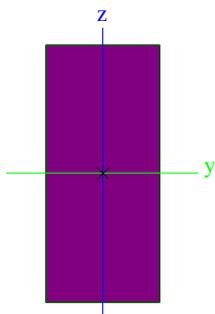
Diagrama tensão-deformação



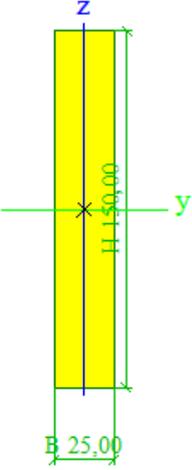
3.1.1.6.3 Seção Transversal Viga Isolada

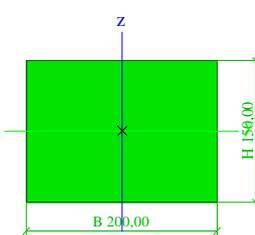
VIGA_01		
Tipo	Seção transversal geral	
Tipo de formato	Parede fina	
Item material	C50	
Fabricação	concreto	
Cor		
A [m ²]	6,3500e-01	
A _y [m ²], A _z [m ²]	6,2900e-01	4,0535e-01
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	5,1074e+00	5,1074e+00
c _{y.ucs} [cm], c _{z.ucs} [cm]	0,00	0,00
α [deg]	0,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	2,0969e-01	1,2907e-02
i _y [cm], i _z [cm]	57,46	14,26
W _{el.y} [m ³], W _{el.z} [m ³]	2,3970e-01	3,4419e-02
W _{pl.y} [m ³], W _{pl.z} [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00
M _{pl.y.+} [Nm], M _{pl.y.-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
M _{pl.z.+} [Nm], M _{pl.z.-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
d _y [cm], d _z [cm]	0,00	14,13
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	1,6434e-02	4,7144e-03
β _y [cm], β _z [cm]	-28,78	0,00
Imagem		

VIGA_02		
Tipo	Seção transversal geral	
Tipo de formato	Parede fina	
Item material	C50	
Fabricação	concreto	
Cor		
A [m ²]	9,7100e-01	
A _y [m ²], A _z [m ²]	8,3676e-01	7,9320e-01
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	4,8132e+00	4,8132e+00
C _{y.ucs} [cm], C _{z.ucs} [cm]	0,00	0,33
α [deg]	0,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	2,4526e-01	2,7337e-02
i _y [cm], i _z [cm]	50,26	16,78
W _{el.y} [m ³], W _{el.z} [m ³]	2,7929e-01	7,2899e-02
W _{pl.y} [m ³], W _{pl.z} [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00
M _{pl.y.+} [Nm], M _{pl.y.-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
M _{pl.z.+} [Nm], M _{pl.z.-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
d _y [cm], d _z [cm]	0,00	5,26
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	7,6076e-02	4,7546e-03
β _y [cm], β _z [cm]	-11,60	-0,01
Imagem		

VIGA_03		
Tipo	Seção transversal geral	
Tipo de formato	Parede fina	
Item material	C50	
Fabricação	concreto	
Cor		
A [m ²]	1,2750e+00	
A _y [m ²], A _z [m ²]	1,0651e+00	1,0630e+00
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	4,9000e+00	4,9000e+00
c _{y,UCS} [cm], c _{z,UCS} [cm]	0,00	-2,48
α [deg]	0,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	3,0706e-01	5,9766e-02
i _y [cm], i _z [cm]	49,07	21,65
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	3,6125e-01	1,5937e-01
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
d _y [cm], d _z [cm]	0,00	0,00
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	1,7198e-01	6,5190e-03
β _y [cm], β _z [cm]	0,00	-0,01
Imagem		

3.1.1.6.4 Seções transversais

TRANSVERSINA		
Tipo	Retângulo	
Detalhado	150,00; 25,00	
Tipo de formato	Parede espessa	
Item material	C35	
Fabricação	concreto	
Cor		
A [m ²]	3,7500e-01	
A _y [m ²], A _z [m ²]	3,1468e-01	3,1256e-01
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	3,5000e+00	3,5000e+00
c _{y,UCS} [cm], c _{z,UCS} [cm]	12,50	75,00
α [deg]	0,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	7,0312e-02	1,9531e-03
i _y [cm], i _z [cm]	43,30	7,22
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	9,3750e-02	1,5625e-02
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
d _y [cm], d _z [cm]	0,00	0,00
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	6,9610e-03	3,1584e-04
β _y [cm], β _z [cm]	0,00	0,00
TRANSVERSINA		
Imagem		

TRAVESSA		
Tipo	Retângulo	
Detalhado	150,00; 200,00	
Tipo de formato	Parede espessa	
Item material	C30	
Fabricação	concreto	
Cor		
A [m ²]	3,0000e+00	
A _y [m ²], A _z [m ²]	2,5017e+00	2,5031e+00
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	7,0000e+00	7,0000e+00
c _{y,UCS} [cm], c _{z,UCS} [cm]	100,00	75,00
α [deg]	0,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	5,6250e-01	1,0000e+00
i _y [cm], i _z [cm]	43,30	57,74
W _{el,y} [m ³], W _{el,z} [m ³]	7,5000e-01	1,0000e+00
W _{pl,y} [m ³], W _{pl,z} [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00
M _{pl,y,+} [Nm], M _{pl,y,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
M _{pl,z,+} [Nm], M _{pl,z,-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
d _y [cm], d _z [cm]	0,00	0,00
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	1,2166e+00	1,7495e-02
β _y [cm], β _z [cm]	0,00	0,00
Imagem		

3.1.1.7 Modelo Estrutural

Para a determinação dos esforços nos elementos estruturais da OAE, foram desenvolvidos dois modelos de cálculo em elementos finitos, através de componentes de barras e placas, representativos das principais estruturas da OAE.

No primeiro modelo foi considerada a viga longarina isolada, sem a contribuição dos efeitos da laje e transversinas. Simulando o comportamento e os esforços dos estágios G1 e G2.

No segundo modelo foram considerados as transversinas e os elementos de placas para as lajes e propriedades da seção composta para as longarinas. Simulando o comportamento e os esforços dos estágios G3 e Q.

Para o dimensionamento da obra, foram considerados os carregamentos devido ao peso próprio, cargas permanentes e cargas acidentais conforme a NBR 7188/2013 e os carregamentos de empuxo e sobrecarga conforme análise geotécnica dos dados de sondagem de campo.

As transversinas foram dimensionadas para a os esforços oriundos da situação de operação.

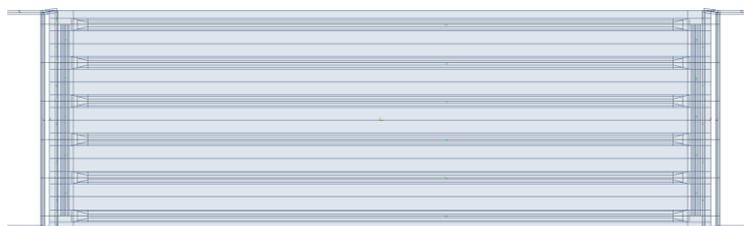
A mesoestrutura foi discretizada através de elementos de barras.

A infraestrutura foi fornecida pelo consultor geotécnico ao longo das estacas, determinando assim a rigidez do conjunto (fundação + aparelho de apoio + tabuleiro) e permitindo a determinação dos esforços horizontais.

O dimensionamento dos elementos se deu para os esforços combinados conforme a NBR 8681 e as especificações da NBR 6118, considerando a classe de agressividade ambiental CAII, demais premissas de cálculo e tendo sido verificados os Estados Limites Últimos de Flexão e Cisalhamento e os Estados Limites de Serviço de Abertura de Fissuras, Fadiga e Deformação Excessiva.

Para as vigas protendidas foram verificados o Estado Limite Último de Compressão Excessiva e os Estados Limites de Serviço de Descompressão e Formação de Fissuras, adequando a estrutura ao nível 2 de Protensão (Protensão Limitada).

Para as considerações de carregamentos e premissas de cálculo, foi seguido a prescrição das normas brasileiras vigentes, conforme item 3.1.1.5 desta memória.



3.1.1.8 Carregamentos Considerados

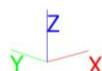
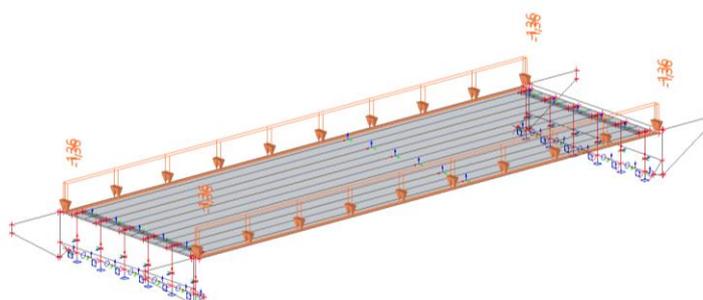
3.1.1.8.1 Peso Próprio (LC1)

O peso próprio da estrutura é considerado automaticamente pelo programa, com base nas suas características geométricas e peso específico do concreto armado.

3.1.1.8.2 Peso das barreiras - Tipo New Jersey (LC2)

Foi aplicada uma carga distribuída de $1,36 \text{ tf/m}^2$, em uma largura de 40cm e na extensão total da obra, equivalente ao peso próprio das barreiras do tipo New Jersey Simples e da pingadeira.

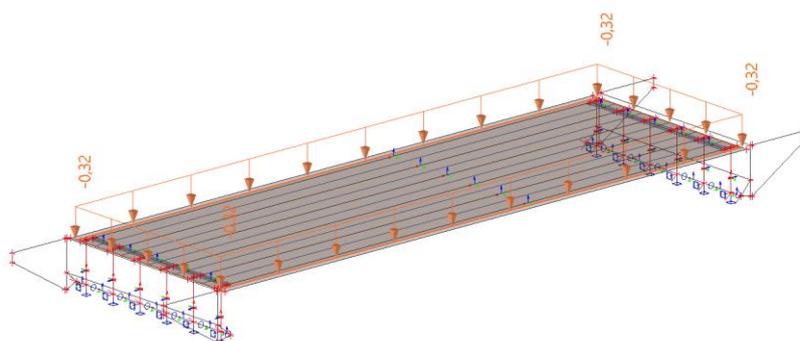
LC2	
Descrição	Barreira
Tipo de ação	Permanente
Grupo de carga	LG1
Tipo de carga	Padrão



3.1.1.8.3 Peso do pavimento e recapeamento (LC3)

Foi aplicado um carregamento distribuído equivalente a 5 cm de asfalto com um acréscimo de $0,20 \text{ tf/m}^2$ equivalente a um recapeamento: $q = 0,05 \text{ m} \times 2,4 \text{ tf/m}^3 + 0,20 \text{ tf/m}^2 = 0,32 \text{ kN/m}^2$

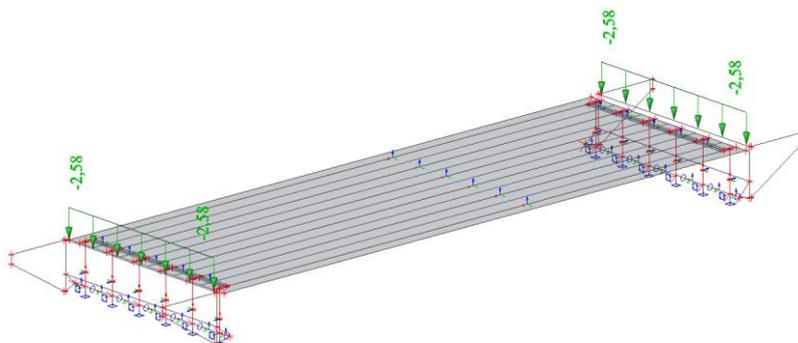
LC3	
Descrição	Pavimento
Tipo de ação	Permanente
Grupo de carga	LG1
Tipo de carga	Padrão



3.1.1.8.4 Peso da Laje de Transição (LC4)

Foi aplicado no modelo um carregamento linear equivalente as reações de apoio da laje de transição. O cálculo da reação foi obtido considerando a laje bi-apoiada.

LC4	
Descrição	Laje Transição
Tipo de ação	Permanente
Grupo de carga	LG1
Tipo de carga	Padrão

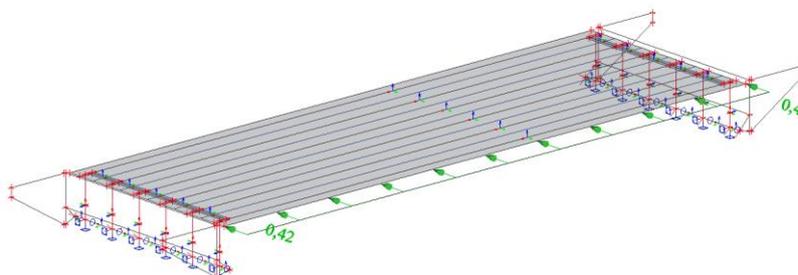


3.1.1.8.5 Vento (LC5 e LC6)

Foi aplicado no modelo um carregamento simulando a pressão de vento, conforme prescrição da NBR 6123.

O LC5 é o vento em um sentido, o LC6 é o vento no sentido oposto.

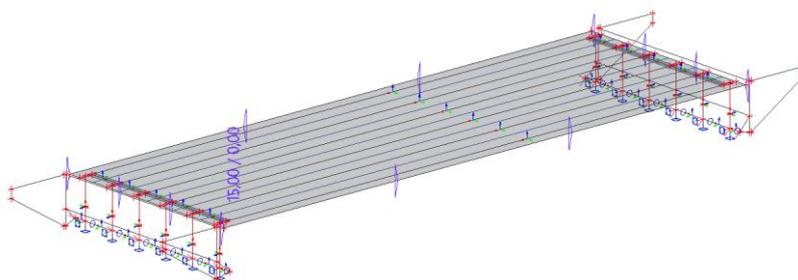
LC5	
Descrição	Vento+
Tipo de ação	Variável
Grupo de carga	Vento
Tipo de carga	Estática
Esp	Padrão
Duração	Curto
Caso de carga mestre	Nenhum



3.1.1.8.6 Temperatura (LC7)

Foi adotado uma variação uniforme de temperatura de 15 °C.

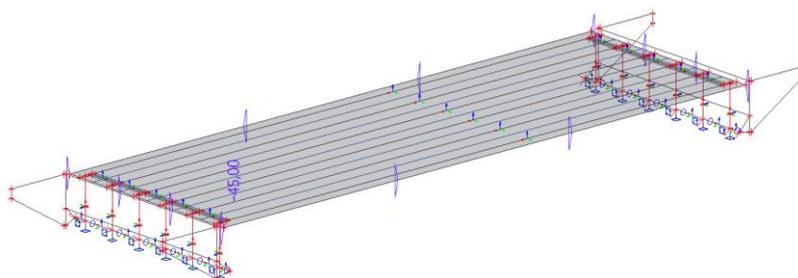
LC7	
Descrição	Temperatura
Tipo de ação	Variável
Grupo de carga	Variáveis
Tipo de carga	Estática
Esp	Padrão
Duração	Curto
Caso de carga mestre	Nenhum



3.1.1.8.7 Retração e Fluência (LC8)

Para a simulação da estrutura sob a solicitação devida aos efeitos de retração e fluência, foi adotado uma variação linear de temperatura equivalente de 45 °C.

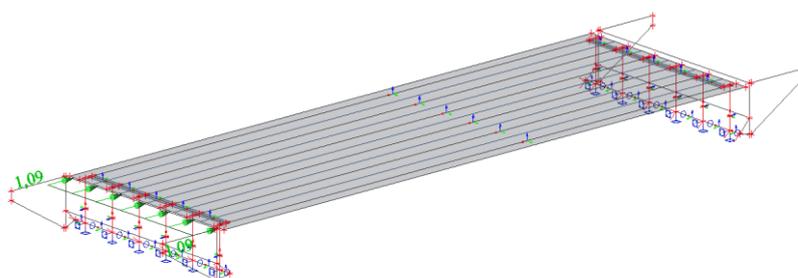
LC8	
Descrição	Retração/Fluência
Tipo de ação	Variável
Grupo de carga	Variáveis
Tipo de carga	Estática
Esp	Padrão
Duração	Curto
Caso de carga mestre	Nenhum



3.1.1.8.8 Aceleração e frenagem (LC9)

Para a simulação da estrutura sob a solicitação devida à aceleração ou frenagem, foi adotada uma força de 1,21tf/m.

LC9	
Descrição	Frenag/Aceler
Tipo de ação	Variável
Grupo de carga	Variáveis
Tipo de carga	Estática
Esp	Padrão
Duração	Curto
Caso de carga mestre	Nenhum

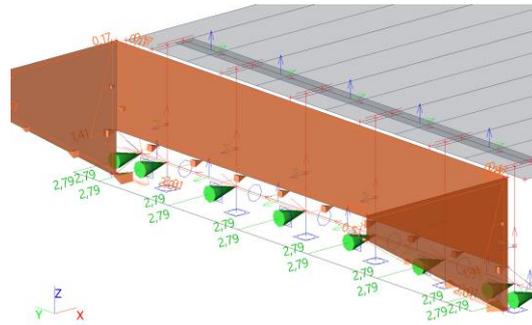


3.1.1.8.9 Empuxo (LC10 e LC11)

Para a simulação da estrutura sob a solicitação devida ao empuxo do volume de solo contido na interface externa dos encontros, foi aplicado um carregamento trapezoidal equivalente.

O LC10 é o carregamento de empuxo de um encontro, o LC11 é o carregamento de empuxo do encontro oposto.

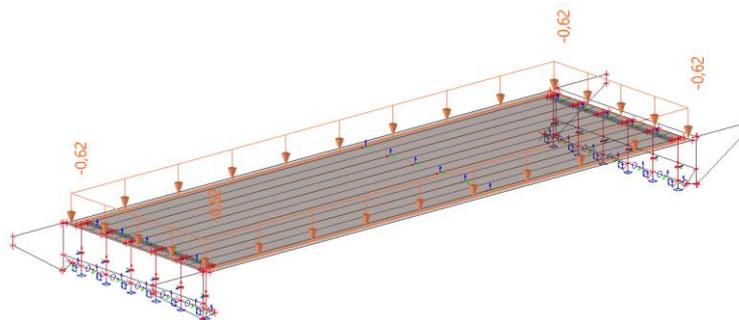
LC10	
Descrição	Empuxo01
Tipo de ação	Variável
Grupo de carga	Empuxo
Tipo de carga	Estática
Esp	Padrão
Duração	Curto
caso de carga mestre	Nenhum



3.1.1.8.10 Multidão (LC12)

De acordo com a NBR 7188, foi considerado o trem-tipo TB-45 aplicado homogeneizado no modelo. Para a multidão, foi aplicada a carga distribuída de $0,5tf/m^2$. Sobre este carregamento, incidem, ainda, os coeficientes de ponderação, conforme item 3.1.1.5 da NBR7188.

LC12	
Descrição	Multidão
Tipo de ação	Variável
Grupo de carga	Multidão
Tipo de carga	Estática
Esp	Padrão
Duração	Curto
Caso de carga mestre	Nenhum



3.1.1.9 Vigas Longarinas Pré-moldadas Protendidas - L=39,60m

3.1.1.9.1 Cálculo das Vigas Pré-Moldadas

Carregamentos Considerados no Cálculo

Peso Próprio – G1

Peso próprio, atuando na viga isolada

Lajes – G2

Lajes atuando nas vigas isoladas

Permanentes – G3

Pavimento, atuando no tabuleiro já formado (seções compostas) + Sobrecarga do pavimento

Barreiras, atuando no tabuleiro já formado (seções compostas)

Cargas Móveis - Q

Foram consideradas as cargas de veículo Classe 45, majorados com os seguintes coeficientes:

- Coeficiente de impacto vertical (CIV)

$CIV = 1 + 1,06[20/(Liv+50)]$, onde Liv corresponde ao vão em metros;

- Coeficiente do número de faixas (CNF)

$CNF = 1 - 0,05(n-2) > 0,9$, onde n corresponde ao número inteiro de faixas de tráfego rodoviário a serem carregadas sobre um tabuleiro transversalmente contínuo;

- Coeficiente de impacto adicional (CIA)

$CIA = 1,25$

Esforços Solicitantes

Cargas permanentes mais as cargas móveis da norma NBR 7188

O efeito dos carregamentos que atuam no tabuleiro já solidarizado (pavimento, barreiras e cargas móveis), foi calculado assimilando a estrutura a uma grelha, constituída pelas vigas longitudinais (com as respectivas seções compostas), pelas transversinas reais e por elementos de placa simulando o tabuleiro.

Foram calculados os esforços solicitantes em seções (considerando-se a simetria). As cargas móveis foram posicionadas de forma a produzir os valores extremos em cada uma dessas seções.

Protensão das Vigas

A armadura de protensão das longarinas de 36,5m é constituída por 4 cabos compostos por 15 cordoalhas de $\varnothing 15,2\text{mm}$ (CP-190RB), totalizando área de cabo igual a $63,00\text{cm}^2$. As bainhas são semi-rígidas galvanizadas e o traçado é simétrico, sendo que o Cabo 01 é protendido pelas duas extremidades e os Cabos C2 e C3 protendidos por uma das extremidades.

Perdas de Protensão Imediatas

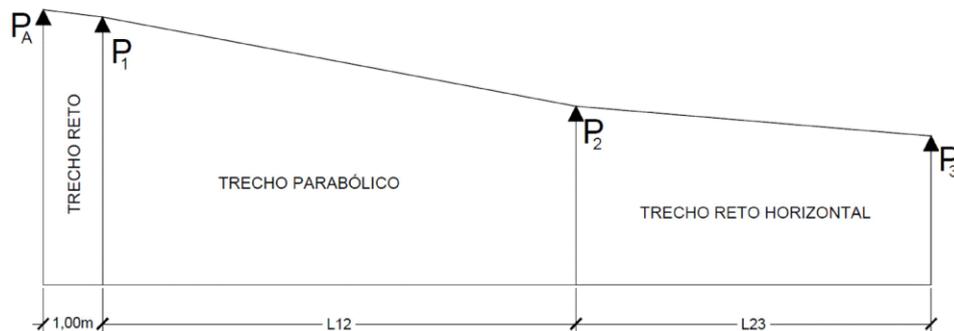
Perdas por atrito

$$\Delta P(x) = P_i * (1 - e^{-(\mu \Sigma \alpha + kx)})$$

$$\mu = 0,2$$

$$k = 0,01\mu$$

A variação da força de protensão ao longo do cabo está esquematizada na figura a seguir.



Na determinação dos cabos, tendo-se adotado uma força de f_p kN / cordoalha, para o meio do vão, resultará a imposição de:

$$P_3 = (f_p \times n^\circ \text{ de cordoalhas}) \text{ kN}$$

Definindo-se, para cada cabo, os valores de L_{23} e das alturas do cabo no meio do vão e na ancoragem (admitida à 15 cm da extremidade da viga).

Perdas por deslizamento da ancoragem

Para o cálculo das perdas por deslizamento nas ancoragens, aproximadamente podemos considerar linear a variação das forças devidas ao atrito.

O deslizamento provocará uma perda máxima junto à ancoragem, que vai diminuindo para o centro do vão, pela mobilização de atrito em sentido contrário.

$$\Delta\sigma = E * \varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta(dx)}{dx}$$

$$\therefore \int_0^L \sigma * dx = \Delta L * E_p$$

Onde:

$\Delta(dx)$ = encurtamento do trecho do cabo devido à acomodação da ancoragem.

Perdas por encurtamento imediato do concreto

Cada cabo, ao ser protendido, provoca perdas nos protendidos anteriormente, por deformação elástica do concreto. Pode ser utilizada a seguinte fórmula:

$$\Delta\sigma_p = \alpha_p (\sigma_{cp} + \sigma_{cg}) \frac{n-1}{2n}$$

Onde n é o número de cabos.

Perdas de Protensão Diferidas

Perdas por retração do concreto

A retração do concreto depende da umidade relativa do ambiente, da consistência do concreto no lançamento e da espessura fictícia da peça. Sendo calculada por:

$$\varepsilon_{cs}(t, t_0) = \varepsilon_{cs\infty} [\beta_s(t) - \beta_s(t_0)]$$

$$\varepsilon_{cs\infty} = \varepsilon_{1s} * \varepsilon_{2s}$$

Sendo, para a retração, as idades fictícias coincidentes com as reais, com as equações da norma.

Perdas por efeito da fluência do concreto

A deformação do concreto por fluência é calculada por:

$$\phi(t, t_0) = \phi_a + \phi_f + \phi_d$$

A deformação do concreto por fluência é composta por:

- Fluência rápida

A fluência rápida é irreversível e ocorre durante as primeiras 24h após a aplicação da carga que a originou.

Para concretos classes C20 a C45:

$$\phi_a = 0,8 \left[1 - \frac{f_c(t_0)}{f_c(t_\infty)} \right]$$

- Deformação lenta irreversível

$$\phi_f = \phi_{f\infty} [\beta_f(t) - \beta_f(t_0)]$$

- Deformação lenta reversível

$$\phi_d = \phi_{d\infty} \beta_d$$

Perdas por relaxação da armadura de protensão

A intensidade da relaxação pura do aço (deformação constante) é determinada pelo coeficiente $\psi(t, t_0)$:

$$\psi(t, t_0) = \frac{\Delta\sigma_{pr}(t, t_0)}{\sigma_{pi}}$$

Onde:

$\Delta\sigma_{pr}(t, t_0)$ = perda de tensão por relaxação pura (com comprimento constante) desde o instante do estiramento da armadura, até o instante t considerado

σ_{pi} = tensão da armadura de protensão no instante de seu estiramento

Para tempo infinito, pode-se considerar :

$$\psi(\infty, t_0) = 2,5 * \psi_{1000}$$

Estados Limites de Serviço

Tensões normais

As tensões normais definitivas são apresentadas, distinguindo-se os seguintes casos de verificação:

Peso próprio + protensão inicial, na viga pré-moldada isolada.

Combinação anterior + cargas permanentes (lajes atuando nas vigas isoladas)

Combinação anterior + pavimentação nas vigas compostas

Combinação anterior + cargas móveis

Segundo a NBR 6118, considerando-se nível de protensão limitada, devem ser verificados os estados de formação de fissuras e descompressão do concreto para as respectivas combinações.

ELS-F - Formação de fissuras: combinação frequente ($F_g + 0,5F_q$)

ELS-D – Descompressão: combinação quase permanente ($F_g + 0,3F_q$)

O valor para a tensão de tração no concreto para o estado de formação de fissuras é igual a:

$$f_{ct,m} = 1,2 \cdot f_{ctk,inf} = 1,2 \cdot 0,21 \cdot 40^{2/3} = 2,95 \text{ MPa}$$

Para o estado de descompressão não deve haver tensão de tração.

O valor limite para a compressão no concreto é igual a:

$$f_{c,m} = 0,7 \cdot f_{ck} = 0,7 \cdot 40 = 28 \text{ MPa}$$

Estados Limites Últimos

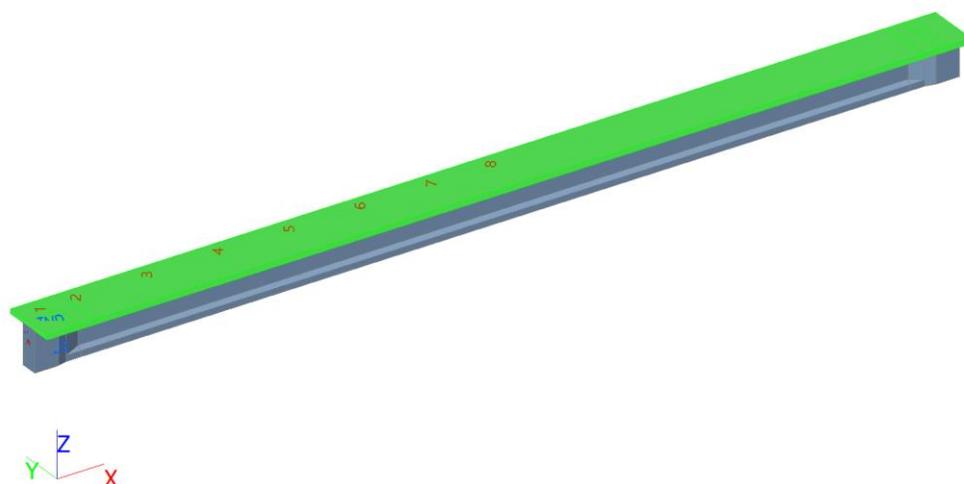
Solicitações Normais

O estado limite último é caracterizado pela ruptura convencional do concreto ($\epsilon_c = -0,35\%$) ou pelo alongamento plástico excessivo do aço, assim considerado quando o alongamento medido a partir do ponto de neutralização atinge 1%.

3.1.1.9.2 Vigas Pré-moldadas L=39,6m

Para análise das Vigas Pré Moldadas Protendidas, foi modelado uma Viga Isolada com mesa colaborante de 2,30m e Cabos de Protensão.

Isométrico 3D



➤ Materiais

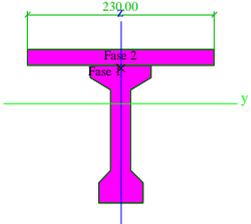
Nome	Tipo	ρ [kg/m ³]	Densidade sem cura [kg/m ³]	E_{mod} [MPa]	μ	α [m/mK]	$f_{c,k,28}$ [MPa]	Cor
C50 NBR	Concreto	2500,0	2600,0	3,6628e+04	0.2	0,00	509,86	
C40 NBR	Concreto	2500,0	2600,0	3,1876e+04	0.2	0,00	407,89	

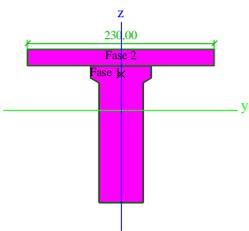
➤ Armadura de protensão EC2

Tipo	Expansão térmica [m/mK]	Módulo E [MPa]	Diâmetro [mm]	Resistência característica à tração (f _{pk}) [MPa]
Nome	Massa unitária [kg/m ³]	Módulo G [MPa]	Área [cm ²]	Classe de relaxação
				Produção
Cordoalha de protensão	0,00	2,0000e+05	1,52	19374,6
CP 190 RB-15,2 - PROTENDE	7871,0	8,0000e+04	1,40	Class 2 - low relaxation wires and strands
				Baixa-relaxação

3.1.1.9.2.1 Características das Seções Transversais

Seções transversais

CS1		
Tipo	Seção transversal geral	
Tipo de formato	Parede fina	
Item material	C50 NBR	
	C40 NBR	
Fabricação	concreto	
Cor		
A [m ²]	1,0353e+00	
A _y [m ²], A _z [m ²]	6,5498e-01	5,0466e-01
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	8,6074e+00	8,6074e+00
C _y .UCS [cm], C _z .UCS [cm]	0,00	35,77
α [deg]	0,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	4,2120e-01	1,8938e-01
i _y [cm], i _z [cm]	63,78	42,77
W _{el.y} [m ³], W _{el.z} [m ³]	3,4173e-01	1,6468e-01
W _{pl.y} [m ³], W _{pl.z} [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00
M _{pl.y.+} [Nm], M _{pl.y.-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
M _{pl.z.+} [Nm], M _{pl.z.-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
d _y [cm], d _z [cm]	0,00	43,38
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	3,1983e-02	1,0865e-02
β _y [cm], β _z [cm]	-100,55	0,00
Imagem		

CS2		
Tipo	Seção transversal geral	
Tipo de formato	Parede fina	
Item material	C50 NBR	
	C40 NBR	
Fabricação	concreto	
Cor		
A [m ²]	1,3713e+00	
A _y [m ²], A _z [m ²]	7,6024e-01	9,4536e-01
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	8,3132e+00	8,3132e+00
C _{y.ucs} [cm], C _{z.ucs} [cm]	0,00	27,25
α [deg]	0,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	4,8748e-01	2,0381e-01
i _y [cm], i _z [cm]	59,62	38,55
W _{el.y} [m ³], W _{el.z} [m ³]	4,2491e-01	1,7723e-01
W _{pl.y} [m ³], W _{pl.z} [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00
M _{pl.y.+} [Nm], M _{pl.y.-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
M _{pl.z.+} [Nm], M _{pl.z.-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
d _y [cm], d _z [cm]	-0,01	44,42
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	9,6447e-02	1,8544e-02
β _y [cm], β _z [cm]	-81,38	0,03
Imagem		

CS3		
Tipo	Seção transversal geral	
Tipo de formato	Parede fina	
Item material	C50 NBR	
	C40 NBR	
Fabricação	concreto	
Cor		
A [m ²]	1,6753e+00	
A _y [m ²], A _z [m ²]	8,7986e-01	1,2447e+00
A _L [m ² /m], A _D [m ² /m]	8,4000e+00	8,4000e+00
c _{y.ucs} [cm], c _{z.ucs} [cm]	0,00	20,22
α [deg]	0,00	
I _y [m ⁴], I _z [m ⁴]	5,8336e-01	2,3624e-01
i _y [cm], i _z [cm]	59,01	37,55
W _{el.y} [m ³], W _{el.z} [m ³]	5,4165e-01	2,0543e-01
W _{pl.y} [m ³], W _{pl.z} [m ³]	0,0000e+00	0,0000e+00
M _{pl.y.+} [Nm], M _{pl.y.-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
M _{pl.z.+} [Nm], M _{pl.z.-} [Nm]	0,00e+00	0,00e+00
d _y [cm], d _z [cm]	0,00	38,39
I _t [m ⁴], I _w [m ⁶]	2,0095e-01	3,5456e-02
β _y [cm], β _z [cm]	-62,01	0,00
Imagem		

➤ Caracterização geométrica da Viga

AP			
Elemento	B1		
Coor	Abso		
Comprimento 1 [m], Seção 1(1), Seção 2(1)	1,000	CS3 - Seção transversal geral	
Comprimento 2 [m], Seção 1(2), Seção 2(2)	0,400	CS3 - Seção transversal geral	CS2 - Seção transversal geral

AP			
Comprimento 3 [m], Seção 1(3), Seção 2(3)	0,600	CS2 - Seção transversal geral	CS1 - Seção transversal geral
Comprimento 4 [m], Seção 1(4), Seção 2(4)	35,000	CS1 - Seção transversal geral	
Comprimento 5 [m], Seção 1(5), Seção 2(5)	0,600	CS1 - Seção transversal geral	CS2 - Seção transversal geral
Comprimento 6 [m], Seção 1(6), Seção 2(6)	0,400	CS2 - Seção transversal geral	CS3 - Seção transversal geral
Comprimento 7 [m], Seção 1(7), Seção 2(7)	1,000	CS3 - Seção transversal geral	

➤ Cabos de Protensão

Nome	Tipo	Material	Camada	Diâmetro do duto [mm]	Caso de Carga	Tipo de tensionamento
TND	Interno	CP 190 RB-15,2 - PROTENDE	Camada1	85,00	LC2 - Protensão	Type 4
TND1	Interno	CP 190 RB-15,2 - PROTENDE	Camada1	85,00	LC2 - Protensão	Type 4
TND2	Interno	CP 190 RB-15,2 - PROTENDE	Camada1	85,00	LC2 - Protensão	Type 4

➤ Geometria fonte do cabo

CABO-1

- XY

Coord X [m]	Coord Y [m]	Parâmetro de curva [m]
0,00	0,00	1000,00
1,00	0,00	1000,00
2,00	0,00	1000,00
3,00	0,00	1000,00
4,00	0,00	1000,00
5,00	0,00	1000,00
6,00	0,00	1000,00
7,00	0,00	1000,00
8,00	0,00	1000,00
9,00	0,00	1000,00
10,00	0,00	1000,00
11,00	0,00	1000,00
12,00	0,00	1000,00
13,00	0,00	1000,00
14,00	0,00	1000,00
15,00	0,00	1000,00
16,00	0,00	1000,00
17,00	0,00	1000,00
18,00	0,00	1000,00
19,00	0,00	1000,00
20,00	0,00	1000,00
21,00	0,00	1000,00

Coord X [m]	Coord Y [m]	Parâmetro de curva [m]
22,00	0,00	1000,00
23,00	0,00	1000,00
24,00	0,00	1000,00
25,00	0,00	1000,00
26,00	0,00	1000,00
27,00	0,00	1000,00
28,00	0,00	1000,00
29,00	0,00	1000,00
30,00	0,00	1000,00
31,00	0,00	1000,00
32,00	0,00	1000,00
33,00	0,00	1000,00
34,00	0,00	1000,00
35,00	0,00	1000,00
36,00	0,00	1000,00
37,00	0,00	1000,00
38,00	0,00	1000,00
39,00	0,00	1000,00

- XZ

Coord X [m]	Coord Z [m]	Parâmetro de curva [m]
0,00	1,56	1000,00
1,00	1,38	1000,00
2,00	1,22	1000,00
3,00	1,06	1000,00
4,00	0,90	1000,00
5,00	0,76	1000,00
6,00	0,64	1000,00
7,00	0,53	1000,00
8,00	0,43	1000,00
9,00	0,35	1000,00
10,00	0,30	1000,00
11,00	0,26	1000,00
12,00	0,25	1000,00
13,00	0,25	1000,00
14,00	0,25	1000,00
15,00	0,25	1000,00
16,00	0,25	1000,00
17,00	0,25	1000,00
18,00	0,25	1000,00
19,00	0,25	1000,00
20,00	0,25	1000,00
21,00	0,25	1000,00
22,00	0,25	1000,00
23,00	0,25	1000,00
24,00	0,25	1000,00
25,00	0,25	1000,00
26,00	0,25	1000,00

Coord X [m]	Coord Z [m]	Parâmetro de curva [m]
27,00	0,25	1000,00
28,00	0,26	1000,00
29,00	0,30	1000,00
30,00	0,35	1000,00
31,00	0,43	1000,00
32,00	0,53	1000,00
33,00	0,64	1000,00
34,00	0,76	1000,00
35,00	0,90	1000,00
36,00	1,06	1000,00
37,00	1,22	1000,00
38,00	1,38	1000,00
39,00	1,56	1000,00

CABO-2

- XY

Coord X [m]	Coord Y [m]	Parâmetro de curva [m]
0,00	0,00	1000,00
1,00	0,00	1000,00
2,00	0,00	1000,00
3,00	0,00	1000,00
4,00	0,00	1000,00
5,00	0,00	1000,00
6,00	0,03	1000,00
7,00	0,07	1000,00
8,00	0,13	1000,00
9,00	0,15	1000,00
10,00	0,15	1000,00
11,00	0,15	1000,00
12,00	0,15	1000,00
13,00	0,15	1000,00
14,00	0,15	1000,00
15,00	0,15	1000,00
16,00	0,15	1000,00
17,00	0,15	1000,00
18,00	0,15	1000,00
19,00	0,15	1000,00
20,00	0,15	1000,00
21,00	0,15	1000,00
22,00	0,15	1000,00
23,00	0,15	1000,00
24,00	0,15	1000,00
25,00	0,15	1000,00
26,00	0,15	1000,00
27,00	0,15	1000,00

Coord X [m]	Coord Y [m]	Parâmetro de curva [m]
28,00	0,15	1000,00
29,00	0,15	1000,00
30,00	0,15	1000,00
31,00	0,13	1000,00
32,00	0,07	1000,00
33,00	0,03	1000,00
34,00	0,00	1000,00
35,00	0,00	1000,00
36,00	0,00	1000,00
37,00	0,00	1000,00
38,00	0,00	1000,00
39,00	0,00	1000,00

- XZ

Coord X [m]	Coord Z [m]	Parâmetro de curva [m]
0,00	1,20	1000,00
1,00	1,02	1000,00
2,00	0,86	1000,00
3,00	0,70	1000,00
4,00	0,56	1000,00
5,00	0,43	1000,00
6,00	0,32	1000,00
7,00	0,23	1000,00
8,00	0,16	1000,00
9,00	0,12	1000,00
10,00	0,10	1000,00
11,00	0,10	1000,00
12,00	0,10	1000,00
13,00	0,10	1000,00
14,00	0,10	1000,00
15,00	0,10	1000,00
16,00	0,10	1000,00
17,00	0,10	1000,00
18,00	0,10	1000,00
19,00	0,10	1000,00
20,00	0,10	1000,00
21,00	0,10	1000,00
22,00	0,10	1000,00
23,00	0,10	1000,00
24,00	0,10	1000,00
25,00	0,10	1000,00
26,00	0,10	1000,00
27,00	0,10	1000,00
28,00	0,10	1000,00
29,00	0,10	1000,00
30,00	0,10	1000,00
31,00	0,11	1000,00
32,00	0,12	1000,00

Coord X [m]	Coord Z [m]	Parâmetro de curva [m]
33,00	0,14	1000,00
34,00	0,15	1000,00
35,00	0,17	1000,00
36,00	0,19	1000,00
37,00	0,21	1000,00
38,00	0,23	1000,00
39,00	0,25	1000,00

CABO-3

- XY

Coord X [m]	Coord Y [m]	Parâmetro de curva [m]
0,00	0,00	1000,00
1,00	0,00	1000,00
2,00	0,00	1000,00
3,00	0,00	1000,00
4,00	0,00	1000,00
5,00	0,00	1000,00
6,00	-0,03	1000,00
7,00	-0,07	1000,00
8,00	-0,13	1000,00
9,00	-0,15	1000,00
10,00	-0,15	1000,00
11,00	-0,15	1000,00
12,00	-0,15	1000,00
13,00	-0,15	1000,00
14,00	-0,15	1000,00
15,00	-0,15	1000,00
16,00	-0,15	1000,00
17,00	-0,15	1000,00
18,00	-0,15	1000,00
19,00	-0,15	1000,00
20,00	-0,15	1000,00
21,00	-0,15	1000,00
22,00	-0,15	1000,00
23,00	-0,15	1000,00
24,00	-0,15	1000,00
25,00	-0,15	1000,00
26,00	-0,15	1000,00
27,00	-0,15	1000,00
28,00	-0,15	1000,00
29,00	-0,15	1000,00
30,00	-0,15	1000,00
31,00	-0,13	1000,00
32,00	-0,07	1000,00
33,00	-0,03	1000,00

Coord X [m]	Coord Y [m]	Parâmetro de curva [m]
34,00	0,00	1000,00
35,00	0,00	1000,00
36,00	0,00	1000,00
37,00	0,00	1000,00
38,00	0,00	1000,00
39,00	0,00	1000,00

- XZ

Coord X [m]	Coord Z [m]	Parâmetro de curva [m]
0,00	0,25	1000,00
1,00	0,23	1000,00
2,00	0,21	1000,00
3,00	0,19	1000,00
4,00	0,17	1000,00
5,00	0,15	1000,00
6,00	0,14	1000,00
7,00	0,12	1000,00
8,00	0,11	1000,00
9,00	0,10	1000,00
10,00	0,10	1000,00
11,00	0,10	1000,00
12,00	0,10	1000,00
13,00	0,10	1000,00
14,00	0,10	1000,00
15,00	0,10	1000,00
16,00	0,10	1000,00
17,00	0,10	1000,00
18,00	0,10	1000,00
19,00	0,10	1000,00
20,00	0,10	1000,00
21,00	0,10	1000,00
22,00	0,10	1000,00
23,00	0,10	1000,00
24,00	0,10	1000,00
25,00	0,10	1000,00
26,00	0,10	1000,00
27,00	0,10	1000,00
28,00	0,10	1000,00
29,00	0,10	1000,00
30,00	0,12	1000,00
31,00	0,16	1000,00
32,00	0,23	1000,00
33,00	0,32	1000,00
34,00	0,43	1000,00
35,00	0,56	1000,00
36,00	0,70	1000,00
37,00	0,86	1000,00

Coord X [m]	Coord Z [m]	Parâmetro de curva [m]
38,00	1,02	1000,00
39,00	1,20	1000,00

3.1.1.9.2.2 Estágios de Construção

Configuração dos estágios de construção

Tipo	Análise dependente do tempo
$V_{G,min}$ [-]	0,00
$V_{G,max}$ [-]	1,00
$V_{P,min}$ [-]	0,00
$V_{P,max}$ [-]	1,00
ψ [-]	0,30
$V_{fluência,min}$ [-]	1,00
$V_{fluência,max}$ [-]	1,00
Número de subintervalos	
Umidade do ambiente [%]	70,00
Cálculo automático de subintervalos	Sim
Quantidade total de subintervalos de entrada do usuário	10
Tempo de moldagem [dia]	-1,00
Tempo de cura [dia]	28,00
Duração da cura das partes mistas da seção transversal [dia]	0,00
Apoio linear (forma)	Sim
Tempo de liberação dos deslocamentos na direção X [dia]	0,00
Tempo de liberação dos deslocamentos na direção Z [dia]	0,00
Taxa média da armadura [%]	
Gerar arquivo de texto de saída	Não
Nome da combinação última a ser gerada (max)	FO-MAX
Nome da combinação última a ser gerada (min)	FO-MIN
Nome do caso de carga da fluência a ser gerada (max)	FO-Creep
Nome da combinação de serviço a ser gerada	FO-SLS
Nome da combinação não linear a ser gerada	
Nome da combinação da norma gerada	FO-CODE

Nome	Ordem do estágio	Descrição	Tempo global [dia]
ST1	1	Saque	0,00
ST2	2	Ato	0,10
ST3	3	Infinito	3650,00

Carregamentos

Força linear

Nome	Elemento	Tipo	Dir	Valor - P ₁ [kN/m]	Pos x ₁	Coor	Orig	Ecc ey [m]
	Caso de carga	Sistema	Distribuição	Valor - P ₂ [kN/m]	Pos x ₂	Loc		Ecc ez [m]
LF1	B1	Força	Z	-6,68	0.000	Rela	Do início	
	LC4 - ELU	LCS	Uniforme		1.000	Comprimento		0,000
LF2	B1	Força	Z	-3,22	0.000	Rela	Do início	
	LC5 - ELS - Freq	LCS	Uniforme		1.000	Comprimento		0,000
LF3	B1	Força	Z	-2,79	0.000	Rela	Do início	
	LC6 - ELS - Quase	LCS	Uniforme		1.000	Comprimento		0,000

Seções de Cálculo

Seção em viga

Nome	Elemento	Coor	Pos x [m]	Orig	Rep (n)
SB1	B1	Abso	0,500	Do início	1
SB2	B1	Abso	2,000	Do início	1
SB3	B1	Abso	5,000	Do início	1
SB4	B1	Abso	8,000	Do início	1
SB5	B1	Abso	11,000	Do início	1
SB6	B1	Abso	14,000	Do início	1
SB7	B1	Abso	17,000	Do início	1
SB8	B1	Abso	19,500	Do início	1

Classes de resultado

Nome	Descrição	Lista
ST1 (ULS)	Saque	F1-MAX - Envoltória - última
ST1 (SLS)	Saque	F1-SLS - Envoltória - serviço
ST2 (ULS)	Ato	F2-MAX - Envoltória - última
ST2 (SLS)	Ato	F2-SLS - Envoltória - serviço

Nome	Descrição	Lista
ST3 (ULS)	Infinito	F3-MAX - Envoltória - última
ST3 (SLS)	Infinito	F3-SLS - Envoltória - serviço

3.1.1.9.2.3 Deformação da Viga no Ato da Protensão

Deformação relativa

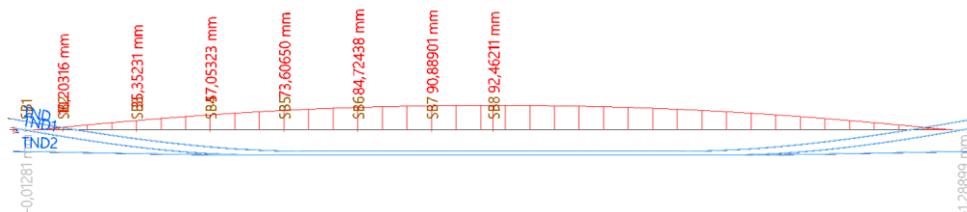
Cálculo linear, Extremo: Elemento, Sistema: LCS

Seleção: Tudo

Combinações: F2-SLS

Elemento	dx [m]	Caso - combi	uz [mm]	Rel uz [1/xx]
B1	39,000	F2-SLS/4	-1,2890	1/116
B1	19,500	F2-SLS/4	92,4621	1/404

Deformação da Viga no ATO da Protensão



3.1.1.9.2.4 Verificação da Flecha da Viga

Verificar flecha

Cálculo linear, Extremo: Global

Seleção: Tudo

Combinações: F2-SLS

Componente: uz

Elemento	Caso	d_x [m]	$\delta_{z,elastic}$ [mm]	$\delta_{z,fluência}$ [mm]	$\delta_{z,short-term}$ [mm]	$\delta_{z,prejudicial}$ [mm]	$\delta_{z,total}$ [mm]	Verificação _{ca} l _c [-]	Verificar
				$\delta_{z,total-fluência}$ [mm]	$\delta_{z,long-term}$ [mm]	$\delta_{z,lim,prejudicial}$ [mm]	$\delta_{z,lim,total}$ [mm]	Verificação _{ii} m [-]	
B1	F2-SLS/4	19,500	92,0282	2,7000	0,0000	2,7000	92,0282	0,59	OK
				89,3283	92,0282	78,0000	156,0000	1,00	
B1	F2-SLS	19,500	92,0282	2,7000	0,0000	2,7000	92,0282	0,59	OK
				89,3283	92,0282	78,0000	156,0000	1,00	

Diagrama da Flecha da Viga - Verificar valor



3.1.1.9.2.5 Perdas de Protensão

Cabo 01



Tensões de cabo

Cálculo linear, Extremo: Global

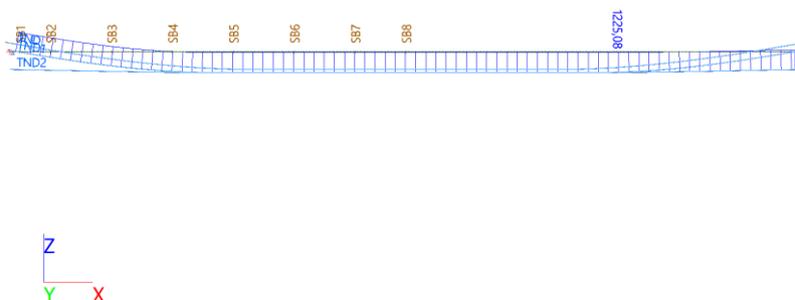
Seleção: Tudo

Cabos: TND

Combinações: F3-MAX

Caso	Cabo	x [m]	Tensionamento após ancoragem / transferência [MPa]	LED [MPa]	LCS [MPa]	Lmin [MPa]	Lmax [MPa]	MinTensão [MPa]	MaxTensão [MPa]
F3-MAX	TND	38,700	1183,63	0,69	-128,57	0,00	0,00	1055,75	1055,75
F3-MAX	TND	11,000	1238,88	156,23	-254,41	0,00	0,00	1140,69	1140,69

Cabo 02



Tensões de cabo

Cálculo linear, Extremo: Global

Seleção: Tudo

Cabos: TND1

Combinações: F3-MAX

Caso	Cabo	x [m]	Tensionamento após ancoragem / transferência [MPa]	LED [MPa]	LCS [MPa]	Lmin [MPa]	Lmax [MPa]	MinTensão [MPa]	MaxTensão [MPa]
F3-MAX	TND1	0,500	1154,72	0,95	-145,59	0,00	0,00	1010,07	1010,07
F3-MAX	TND1	30,000	1225,08	174,48	-267,77	0,00	0,00	1131,79	1131,79

Cabo 03



Tensões de cabo

Seleção: Tudo

Cabos: TND2

Combinações: F3-MAX

Caso	Cabo	x [m]	Tensionamento após ancoragem / transferência [MPa]	LED [MPa]	LCS [MPa]	Lmin [MPa]	Lmax [MPa]	MinTensão [MPa]	MaxTensão [MPa]
F3-MAX	TND2	38,500	1157,48	0,89	-145,53	0,00	0,00	1012,84	1012,84
F3-MAX	TND2	9,000	1226,12	174,43	-267,31	0,00	0,00	1133,24	1133,24

3.1.1.9.2.6 Verificação à Compressão

Tensão

Cálculo linear, Extremo: Seção

Seleção: B1

Combinações: F1-MAX

Fibra por nome: Finf

Valores: Normal -

Caso	Elemento	dx [m]	Fibra	Normal - [kgf/cm ²]	Cisalhamento [kgf/cm ²]	von Mises [kgf/cm ²]	Sigma Y [kgf/cm ²]
F1-MAX/1	B1	0,500	1	16,39	0,00	16,39	0,00
F1-MAX/1	B1	0,500	1	-49,97	0,00	49,97	0,00
F1-MAX/1	B1	2,000	1	-149,09	0,00	149,09	0,00
F1-MAX/1	B1	5,000	1	-204,05	0,00	204,05	0,00
F1-MAX/1	B1	5,000	1	-205,74	0,00	205,74	0,00
F1-MAX/1	B1	8,000	1	-242,40	0,00	242,40	0,00
F1-MAX/1	B1	8,000	1	-244,84	0,00	244,84	0,00
F1-MAX/1	B1	11,000	1	-246,09	0,00	246,09	0,00
F1-MAX/1	B1	11,000	1	-246,25	0,00	246,25	0,00
F1-MAX/1	B1	14,000	1	-227,92	0,00	227,92	0,00
F1-MAX/1	B1	14,000	1	-227,88	0,00	227,88	0,00
F1-MAX/1	B1	17,000	1	-216,68	0,00	216,68	0,00
F1-MAX/1	B1	17,000	1	-216,65	0,00	216,65	0,00
F1-MAX/1	B1	19,500	1	-213,75	0,00	213,75	0,00
F1-MAX/1	B1	19,500	1	-213,73	0,00	213,73	0,00

3.1.1.9.2.7 Verificação das Tensões ELS-F

Tensão

Cálculo linear, Extremo: Seção

Seleção: B1

Combinações: F3-ELS-F

Fibra por nome: Finf

Valores: Normal -

Caso	Elemento	dx [m]	Fibra	Normal - [kgf/cm ²]	Cisalhamento [kgf/cm ²]	von Mises [kgf/cm ²]	Sigma Y [kgf/cm ²]
F3-ELS-F/2	B1	0,500	1	24,64	0,00	24,64	0,00
F3-ELS-F/2	B1	0,500	1	-37,17	0,00	37,17	0,00
F3-ELS-F/2	B1	2,000	1	-85,44	0,00	85,44	0,00
F3-ELS-F/2	B1	5,000	1	-91,53	0,00	91,53	0,00
F3-ELS-F/2	B1	5,000	1	-91,28	0,00	91,28	0,00
F3-ELS-F/2	B1	8,000	1	-88,29	0,00	88,29	0,00
F3-ELS-F/2	B1	8,000	1	-90,11	0,00	90,11	0,00
F3-ELS-F/2	B1	11,000	1	-66,21	0,00	66,21	0,00
F3-ELS-F/2	B1	11,000	1	-69,86	0,00	69,86	0,00
F3-ELS-F/2	B1	14,000	1	-38,20	0,00	38,20	0,00
F3-ELS-F/2	B1	14,000	1	-41,14	0,00	41,14	0,00
F3-ELS-F/2	B1	17,000	1	-22,42	0,00	22,42	0,00
F3-ELS-F/2	B1	17,000	1	-23,75	0,00	23,75	0,00
F3-ELS-F/2	B1	19,500	1	-18,84	0,00	18,84	0,00
F3-ELS-F/2	B1	19,500	1	-18,83	0,00	18,83	0,00

3.1.1.9.2.8 Verificação das Tensões - ELS-D

Tensão

Cálculo linear, Extremo: Seção

Seleção: B1

Combinações: F3-ELS-D

Fibra por nome: Finf

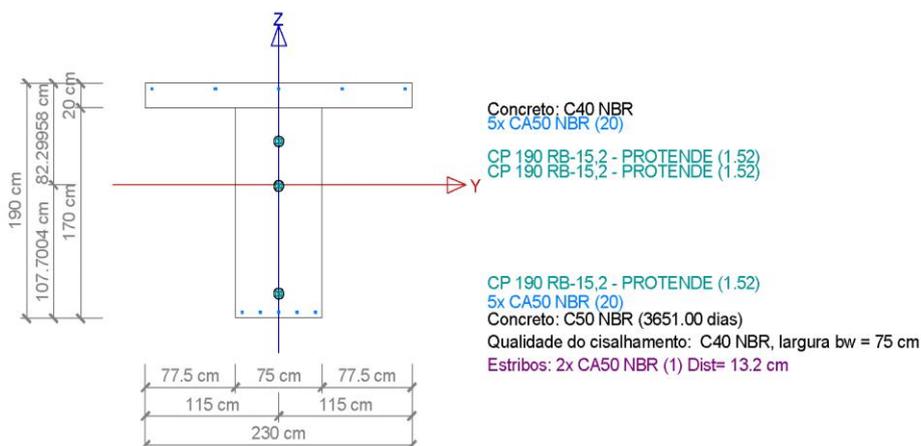
Valores: Normal -

Caso	Elemento	dx [m]	Fibra	Normal - [kgf/cm ²]	Cisalhamento [kgf/cm ²]	von Mises [kgf/cm ²]	Sigma Y [kgf/cm ²]
F3-ELS-D/3	B1	0,500	1	24,10	0,00	24,10	0,00
F3-ELS-D/3	B1	0,500	1	-37,66	0,00	37,66	0,00
F3-ELS-D/3	B1	2,000	1	-89,07	0,00	89,07	0,00
F3-ELS-D/3	B1	5,000	1	-101,41	0,00	101,41	0,00
F3-ELS-D/3	B1	5,000	1	-100,39	0,00	100,39	0,00
F3-ELS-D/3	B1	8,000	1	-102,20	0,00	102,20	0,00
F3-ELS-D/3	B1	8,000	1	-103,36	0,00	103,36	0,00
F3-ELS-D/3	B1	11,000	1	-83,18	0,00	83,18	0,00
F3-ELS-D/3	B1	11,000	1	-86,34	0,00	86,34	0,00
F3-ELS-D/3	B1	14,000	1	-57,38	0,00	57,38	0,00
F3-ELS-D/3	B1	14,000	1	-60,02	0,00	60,02	0,00
F3-ELS-D/3	B1	17,000	1	-42,86	0,00	42,86	0,00
F3-ELS-D/3	B1	17,000	1	-44,04	0,00	44,04	0,00
F3-ELS-D/3	B1	19,500	1	-39,54	0,00	39,54	0,00
F3-ELS-D/3	B1	19,500	1	-39,53	0,00	39,53	0,00

3.1.1.9.2.9 Dimensionamento

EN 1992-1-1 cálculo do concreto

Os momentos decalados (forças de tração causadas por cisalhamento e torsão) não são levados em consideração



Armadura principal inferior e superior

elem	x.loc m	Combinação Caso inf	As baixo [cm ²]	Armadura	Combinação Caso sup	As cima [cm ²]	Armadura
B1	0.50	F3-MAX	13.00	5 d 2	F3-MAX	13.00	5 d 2

Armadura de cisalhamento nas vigas selecionadas

elem	Combinação Caso	x.loc [m]	Ved [kN]	Ned [kN]	Vrdc [kN]	Vrd_max [kN]	Ass [cm ² /m]
B1	F3-MAX	0.50	708.11	-4873.26	1056.08	8405.78	7.59

Armadura de cisalhamento em junta de construção na viga selecionada

elem	Combinação Caso	x.loc [m]	VEd [kN]
B1	F3-MAX	0.50	708.11

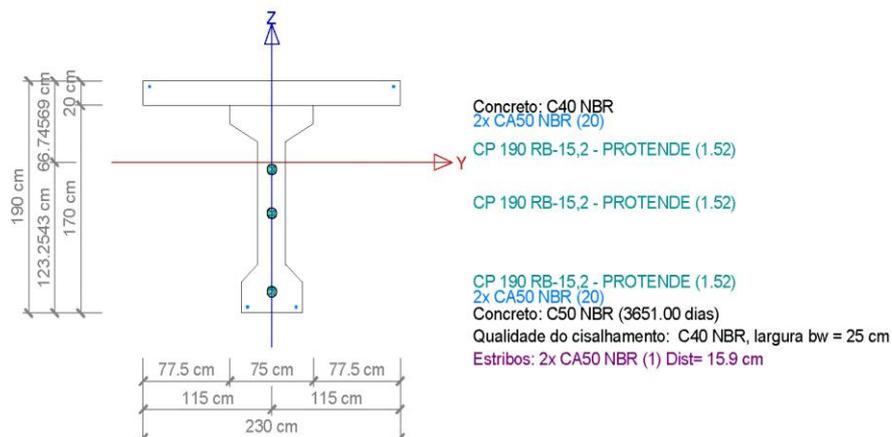
Cálculo da armadura transversal na mesa EN 1992-1-1

elem	x.loc [cm]	Combinação Caso	Cortar	v_ed [kgf/cm ²]	v_Rdc [kgf/cm ²]	v_Rd,max [kgf/cm ²]	A_s,fb [cm ²]	A_s,fs [cm ²]	A_s,fc [cm ²]	A_s,fsb [cm ²]	verificar
B1	0.50	F3-MAX	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK

Seção S2

EN 1992-1-1 cálculo do concreto

Os momentos decalados (forças de tração causadas por cisalhamento e torsão) não são levados em consideração



Armadura principal inferior e superior

elem	x.loc m	Combinação Caso inf	Md para baixo [kNm]	Nd baixo [kN]	As baixo [cm ²]	Armadura	Combinação Caso sup	Md para cima [kNm]	Nd alto [kN]	As cima [cm ²]	Armadura
B1	2.00	F3-MAX	3086.93	3115.24	5.71	2 d 2	F3-MAX	3086.93	3115.24	5.71	2 d 2

Armadura de cisalhamento nas vigas selecionadas

elem	Combinação Caso	x.loc [m]	Ved [kN]	Ned [kN]	Vrdc [kN]	Vrd_max [kN]	Ass [cm ² /m]
B1	F3-MAX	2.00	546.31	-7390.07	494.29	3139.33	6.33

Armadura de cisalhamento em junta de construção na viga selecionada

elem	Combinação Caso	x.loc [m]	VEd [kN]
B1	F3-MAX	2.00	546.31

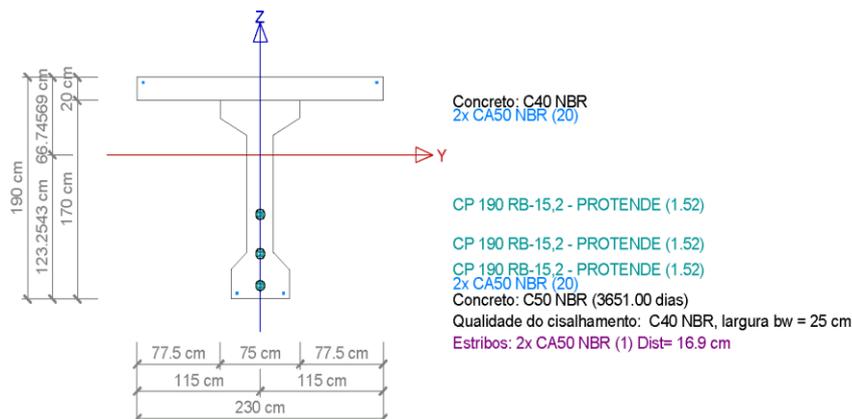
Cálculo da armadura transversal na mesa EN 1992-1-1

elem	x.loc [cm]	Combinação Caso	Cortar	v_ed [kgf/cm ²]	v_Rdc [kgf/cm ²]	v_Rd,max [kgf/cm ²]	A_s,fb [cm ²]	A_s,fs [cm ²]	A_s,fc [cm ²]	A_s,fsb [cm ²]	verificar
B1	2.00	F3-MAX	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK

Seção S3

EN 1992-1-1 cálculo do concreto

Os momentos decalados (forças de tração causadas por cisalhamento e torsão) não são levados em consideração



Armadura principal inferior e superior

elem	x.loc m	Combinação Caso inf	Md para baixo [kNm]	Nd baixo [kN]	As baixo [cm ²]	Armadura	Combinação Caso sup	Md para cima [kNm]	Nd alto [kN]	As cima [cm ²]	Armadura
B1	5.00	F3-MAX	6047.55	3164.47	5.71	2 d 2	F3-MAX	6047.55	3164.47	5.71	2 d 2

Armadura de cisalhamento nas vigas selecionadas

elem	Combinação Caso	x.loc [m]	Ved [kN]	Ned [kN]	Vrdc [kN]	Vrd_max [kN]	Ass [cm ² /m]
B1	F3-MAX	5.00	513.23	-7488.24	494.29	3139.33	5.94

Armadura de cisalhamento em junta de construção na viga selecionada

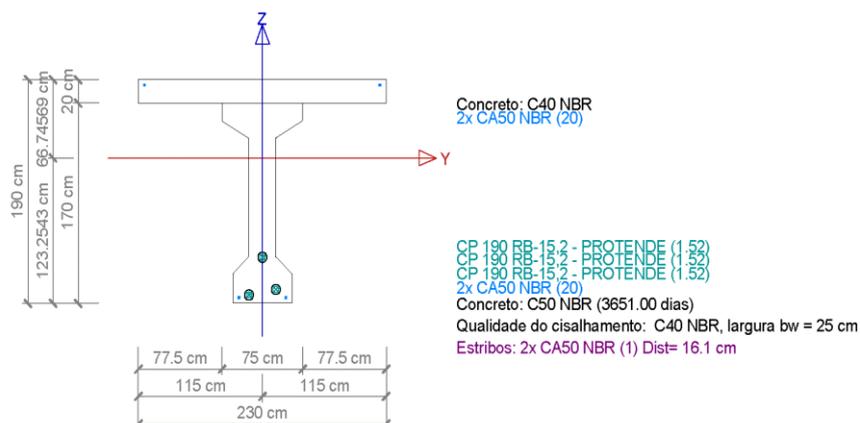
elem	Combinação Caso	x.loc [m]	VEd [kN]
B1	F3-MAX	5.00	513.23

Cálculo da armadura transversal na mesa EN 1992-1-1

elem	x.loc [cm]	Combinação Caso	Cortar	v_ed [kgf/cm ²]	v_Rdc [kgf/cm ²]	v_Rd,max [kgf/cm ²]	A_s,fb [cm ²]	A_s,fs [cm ²]	A_s,fc [cm ²]	A_s,fsb [cm ²]	verificar
B1	5.00	F3-MAX	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK

EN 1992-1-1 cálculo do concreto

Os momentos decalados (forças de tração causadas por cisalhamento e torsão) não são levados em consideração



Armadura principal inferior e superior

elem	x.loc m	Combinação Caso inf	Md para baixo [kNm]	Nd baixo [kN]	As baixo [cm ²]	Armadura	Combinação Caso sup	Md para cima [kNm]	Nd alto [kN]	As cima [cm ²]	Armadura
B1	8.00	F3-MAX	8529.31	3305.99	5.71	2 d 2	F3-MAX	8529.31	3305.99	5.71	2 d 2

Armadura de cisalhamento nas vigas selecionadas

elem	Combinação Caso	x.loc [m]	Ved [kN]	Ned [kN]	Vrdc [kN]	Vrd_max [kN]	Ass [cm ² /m]
B1	F3-MAX	8.00	538.24	-7621.23	494.29	3139.33	6.23

Armadura de cisalhamento em junta de construção na viga selecionada

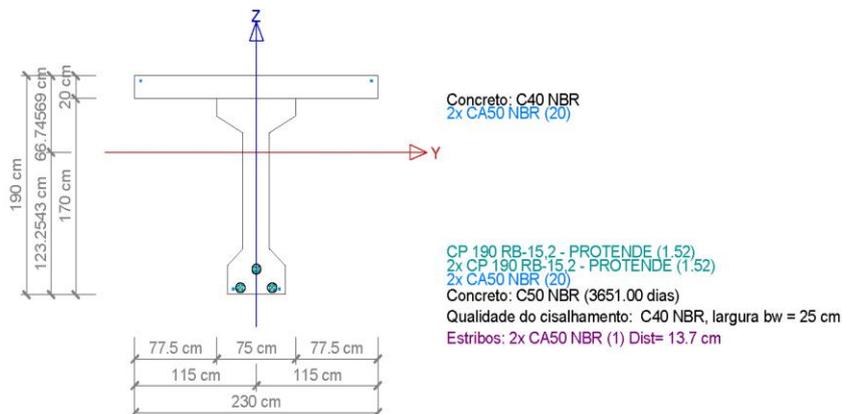
elem	Combinação Caso	x.loc [m]	VEd [kN]
B1	F3-MAX	8.00	538.24

Cálculo da armadura transversal na mesa EN 1992-1-1

elem	x.loc [cm]	Combinação Caso	Cortar	v_ed [kgf/cm ²]	v_Rdc [kgf/cm ²]	v_Rd,max [kgf/cm ²]	A_s,fb [cm ²]	A_s,fs [cm ²]	A_s,fc [cm ²]	A_s,fsb [cm ²]	verificar
B1	8.00	F3-MAX	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK

EN 1992-1-1 cálculo do concreto

Os momentos decalados (forças de tração causadas por cisalhamento e torsão) não são levados em consideração



Armadura principal inferior e superior

elem	x.loc m	Combinação Caso inf	Md para baixo [kNm]	Nd baixo [kN]	As baixo [cm ²]	Armadura	Combinação Caso sup	Md para cima [kNm]	Nd alto [kN]	As cima [cm ²]	Armadura
B1	11.00	F3-MAX	10237.19	3460.42	5.71	2 d 2	F3-MAX	10237.19	3460.42	5.71	2 d 2

Armadura de cisalhamento nas vigas selecionadas

elem	Combinação Caso	x.loc [m]	Ved [kN]	Ned [kN]	Vrdc [kN]	Vrd_max [kN]	Ass [cm ² /m]
B1	F3-MAX	11.00	635.97	-7717.23	494.29	3139.33	7.36

Armadura de cisalhamento em junta de construção na viga selecionada

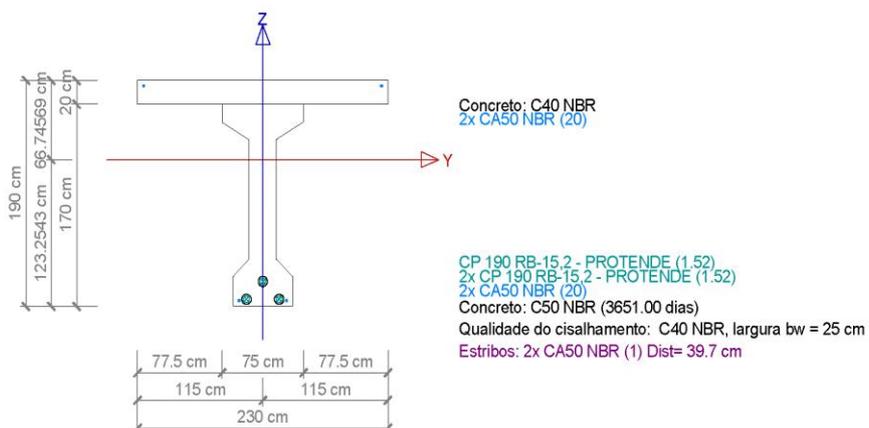
elem	Combinação Caso	x.loc [m]	VEd [kN]
B1	F3-MAX	11.00	635.97

Cálculo da armadura transversal na mesa EN 1992-1-1

elem	x.loc [cm]	Combinação Caso	Cortar	v _{ed} [kgf/cm ²]	v _{Rdc} [kgf/cm ²]	v _{Rd,max} [kgf/cm ²]	A _{s,fb} [cm ²]	A _{s,fs} [cm ²]	A _{s,fc} [cm ²]	A _{s,fsb} [cm ²]	verificar
B1	11.00	F3-MAX	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK

EN 1992-1-1 cálculo do concreto

Os momentos decalados (forças de tração causadas por cisalhamento e torsão) não são levados em consideração



Armadura principal inferior e superior

elem	x.loc m	Combinação Caso inf	Md para baixo [kNm]	Nd baixo [kN]	As baixo [cm ²]	Armadura	Combinação Caso sup	Md para cima [kNm]	Nd alto [kN]	As cima [cm ²]	Armadura
B1	14.00	F3-MAX	11230.51	3547.23	5.71	2 d 2	F3-MAX	11230.51	3547.23	5.71	2 d 2

Armadura de cisalhamento nas vigas selecionadas

elem	Combinação Caso	x.loc [m]	Ved [kN]	Ned [kN]	Vrdc [kN]	Vrd_max [kN]	Ass [cm ² /m]
B1	F3-MAX	14.00	486.48	-7711.25	494.29	3139.33	2.53

Armadura de cisalhamento em junta de construção na viga selecionada

elem	Combinação Caso	x.loc [m]	VEd [kN]
B1	F3-MAX	14.00	486.48

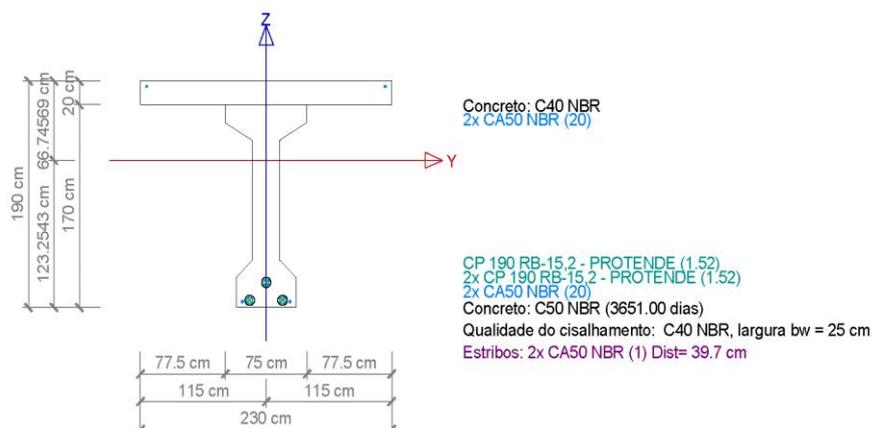
Cálculo da armadura transversal na mesa EN 1992-1-1

elem	x.loc [cm]	Combinação Caso	Cortar	v_ed [kgf/cm ²]	v_Rdc [kgf/cm ²]	v_Rd,max [kgf/cm ²]	A_s,fb [cm ²]	A_s,fs [cm ²]	A_s,fc [cm ²]	A_s,fsb [cm ²]	verificar
B1	14.00	F3-MAX	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK

Seção S7

EN 1992-1-1 cálculo do concreto

Os momentos decalados (forças de tração causadas por cisalhamento e torsão) não são levados em consideração



Armadura principal inferior e superior

elem	x.loc m	Combinação Caso inf	Md para baixo [kNm]	Nd baixo [kN]	As baixo [cm ²]	Armadura	Combinação Caso sup	Md para cima [kNm]	Nd alto [kN]	As cima [cm ²]	Armadura
B1	17.00	F3-MAX	11787.51	3597.46	5.71	2 d 2	F3-MAX	11787.51	3597.46	5.71	2 d 2

Armadura de cisalhamento nas vigas selecionadas

elem	Combinação Caso	x.loc [m]	Ved [kN]	Ned [kN]	Vrdc [kN]	Vrd_max [kN]	Ass [cm ² /m]
B1	F3-MAX	17.00	243.25	-7712.80	494.29	3139.33	2.53

Armadura de cisalhamento em junta de construção na viga selecionada

elem	Combinação Caso	x.loc [m]	VEd [kN]
B1	F3-MAX	17.00	243.25

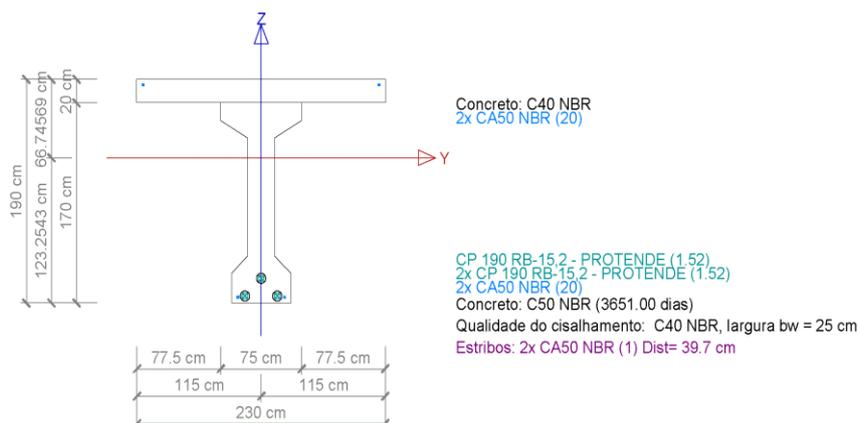
Cálculo da armadura transversal na mesa EN 1992-1-1

elem	x.loc [cm]	Combinação Caso	Cortar	v _{ed} [kgf/cm ²]	v _{Rdc} [kgf/cm ²]	v _{Rd,max} [kgf/cm ²]	A _{s,fb} [cm ²]	A _{s,fs} [cm ²]	A _{s,fc} [cm ²]	A _{s,fsb} [cm ²]	verificar
B1	17.00	F3-MAX	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK

Seção S8

EN 1992-1-1 cálculo do concreto

Os momentos decalados (forças de tração causadas por cisalhamento e torsão) não são levados em consideração



Armadura principal inferior e superior

elem	x.loc m	Combinação Caso inf	Md para baixo [kNm]	Nd baixo [kN]	As baixo [cm ²]	Armadura	Combinação Caso sup	Md para cima [kNm]	Nd alto [kN]	As cima [cm ²]	Armadura
B1	19.00	F3-MAX	11925.41	3608.80	5.71	2 d 2	F3-MAX	11925.41	3608.80	5.71	2 d 2

Armadura de cisalhamento nas vigas selecionadas

elem	Combinação Caso	x.loc [m]	Ved [kN]	Ned [kN]	Vrdc [kN]	Vrd_max [kN]	Ass [cm ² /m]
B1	F3-MAX	19.00	81.01	-7713.83	494.29	3139.33	2.53

Armadura de cisalhamento em junta de construção na viga selecionada

elem	Combinação Caso	x.loc [m]	VEd [kN]
B1	F3-MAX	19.00	81.01

Cálculo da armadura transversal na mesa EN 1992-1-1

elem	x.loc [cm]	Combinação Caso	Cortar	v _{ed} [kgf/cm ²]	v _{Rdc} [kgf/cm ²]	v _{Rd,max} [kgf/cm ²]	A _{s,fb} [cm ²]	A _{s,fs} [cm ²]	A _{s,fc} [cm ²]	A _{s,fsb} [cm ²]	verificar
B1	19.00	F3-MAX	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	OK

3.1.1.10 Transversinas

3.1.1.10.1 Protensão das Transversinas

Como a solicitação de momento fletor nas transversinas tem valores insignificantes, a protensão tem como objetivo promover a ligação entre as vigas principais.

A armadura de protensão das transversinas de 12,00m é constituída por 1 cabo composto por 4 cordoalhas de $\varnothing 15,2\text{mm}$ (CP-190RB), totalizando área de cabo igual a $5,6\text{cm}^2$. As bainhas são semi-rígidas galvanizadas e o traçado é simétrico e protendido pelas duas extremidades.

Segundo o item 9.6.1.2.1 da NBR6118:2014, para a armadura pós-tracionada, a tensão σ_i para aços da classe RB deve respeitar:

$$\sigma_i = 0,74 * 1900 = 1406\text{MPa} = 14,06\text{tf/cm}^2$$

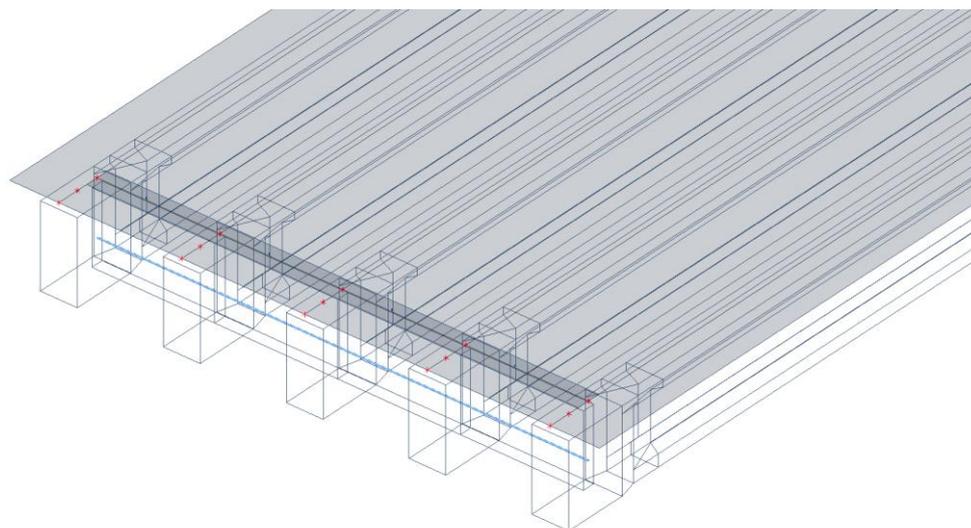
$$(0,82 * 0,9 * 1900 = 1402\text{MPa} = 14,02\text{tf/cm}^2)$$

Portanto, a força inicial de protensão P_i nas Transversinas na saída do macaco hidráulico é de:

$$P_i = 14,02 * 5,6 = 78,5\text{tf/cabo}$$

3.1.1.10.2 Modelo de Cálculo

Para análise dos esforços e perdas de protensão foi elaborado o modelo de cálculo simulando o traçado dos cabos no modelo de elementos finitos completo com laje e vigas pré-moldadas



3.1.1.10.3 Materiais

Nome	Tipo	ρ [kg/m ³]	Densidade sem cura [kg/m ³]	E_{mod} [MPa]	μ	α [m/mK]	$f_{c,k.28}$ [kgf/cm ²]	Cor
C35 NBR	Concreto	2500,0	2600,0	2,9403e+04	0.2	0,00	356,90	

Armadura EC2

Nome	Tipo	ρ [kg/m ³]	E_{mod} [MPa]	G_{mod} [MPa]	α [m/mK]	$f_{y,k}$ [kgf/cm ²]
CA50 NBR	Aço de armadura	7850,0	2,1000e+05	8,7500e+04	0,00	5098,6

3.1.1.10.4 Combinações

Nome	Lista
C01	CO1 - ELU - Envoltória - última
C02	CO12 - ELS-F_TRAN - Envoltória - serviço
C03	CO13 - ELS-D_TRAN - Envoltória - serviço

3.1.1.10.5 Cabos internos

Nome	Tipo	Material	Camada	Diâmetro do duto [mm]	Caso de Carga	Tipo de tensionamento
TND1	Interno	CP 190 RB-15,7	TRANSV ER	60,00	LC10.5 - Pot.Transv	Type 4
TND2	Interno	CP 190 RB-15,7	TRANSV ER	60,00	LC10.5 - Pot.Transv	Type 4

3.1.1.10.6 Perdas de Protensão

3.1.1.10.6.1 Perdas iniciais do cabo

➤ TND1

Tipo de histórico de protensão: 4

Cálculo das perdas por atrito, acomodação da ancoragem e por relaxamento de longa duração proveniente da tensão inicial do cabo.

Cabo tensionado a partir de ambas as extremidades, depois ancorado no início e tensionado novamente no fim.

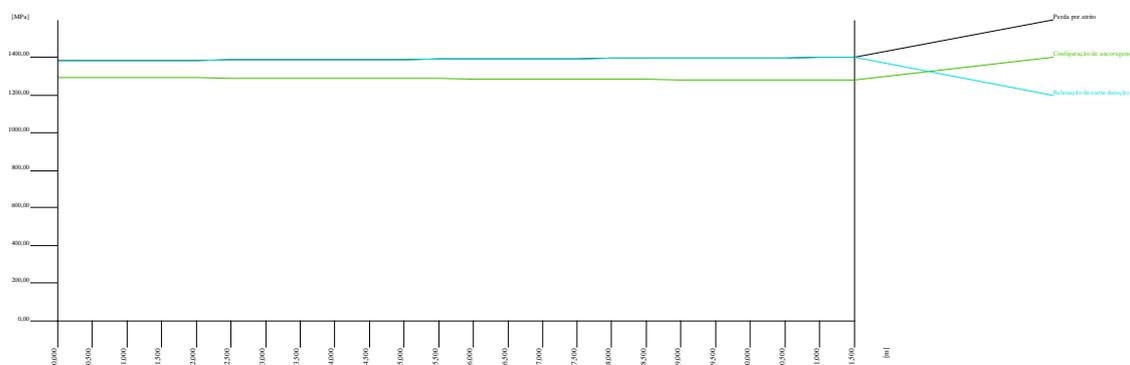
A perda por acomodação da ancoragem no início alcança o ponto de tensão mínima e a perda aparece ao longo de toda a extensão do cabo. O tensionamento no início é, portanto, ignorado.

A perda por acomodação da ancoragem na extremidade aparece ao longo de toda a extensão do cabo.

Alongamento teórico do cabo antes da transferência 0,086 [m]

Alongamento teórico do cabo após transferência 0,074 [m]

x [m]	y [m]	z [m]	Perda por atrito [MPa]	Perda por acomodação da ancoragem [MPa]	Relaxação de curta duração [MPa]	Tensionamento após ancoragem / transferência [MPa]	Relaxação passou [MPa]	Relaxação a ser passada [MPa]
0,000	0,000	0,000	-16,80	-88,18	0,00	1295,02	0,00	-46,56
0,500	0,000	0,000	-16,08	-89,58	0,00	1294,34	0,00	-46,46
1,000	0,000	0,000	-15,35	-90,99	0,00	1293,66	0,00	-46,36
1,500	0,000	0,000	-14,62	-92,39	0,00	1292,98	0,00	-46,26
2,000	0,000	0,000	-13,90	-93,80	0,00	1292,30	0,00	-46,17
2,500	0,000	0,000	-13,17	-95,21	0,00	1291,63	0,00	-46,07
3,000	0,000	0,000	-12,44	-96,61	0,00	1290,95	0,00	-45,97
3,500	0,000	0,000	-11,71	-98,02	0,00	1290,27	0,00	-45,88
4,000	0,000	0,000	-10,98	-99,43	0,00	1289,59	0,00	-45,78
4,500	0,000	0,000	-10,25	-100,83	0,00	1288,92	0,00	-45,68
5,000	0,000	0,000	-9,52	-102,24	0,00	1288,24	0,00	-45,59
5,500	0,000	0,000	-8,79	-103,64	0,00	1287,56	0,00	-45,49
6,000	0,000	0,000	-8,06	-105,05	0,00	1286,89	0,00	-45,39
6,500	0,000	0,000	-7,33	-106,46	0,00	1286,21	0,00	-45,30
7,000	0,000	0,000	-6,60	-107,86	0,00	1285,54	0,00	-45,20
7,500	0,000	0,000	-5,87	-109,27	0,00	1284,86	0,00	-45,11
8,000	0,000	0,000	-5,14	-110,68	0,00	1284,19	0,00	-45,01
8,500	0,000	0,000	-4,40	-112,08	0,00	1283,51	0,00	-44,92
9,000	0,000	0,000	-3,67	-113,49	0,00	1282,84	0,00	-44,83
9,500	0,000	0,000	-2,94	-114,90	0,00	1282,17	0,00	-44,73
10,000	0,000	0,000	-2,20	-116,30	0,00	1281,49	0,00	-44,64
10,500	0,000	0,000	-1,47	-117,71	0,00	1280,82	0,00	-44,54
11,000	0,000	0,000	-0,73	-119,12	0,00	1280,15	0,00	-44,45
11,500	0,000	0,000	0,00	-120,52	0,00	1279,48	0,00	-44,36



x [m]	y [m]	z [m]	Tensão máxima após a transferência [MPa]
0,000	0,000	0,000	1295,02

➤ TND2

Tipo de histórico de protensão: 4

Cálculo das perdas por atrito, acomodação da ancoragem e por relaxamento de longa duração proveniente da tensão inicial do cabo.

Cabo tensionado a partir de ambas as extremidades, depois ancorado no fim e tensionado novamente no início.

A perda por acomodação da ancoragem na extremidade alcança o ponto de tensão mínima e a perda aparece ao longo de toda a extensão do cabo. O tensionamento no fim é, portanto, ignorado.

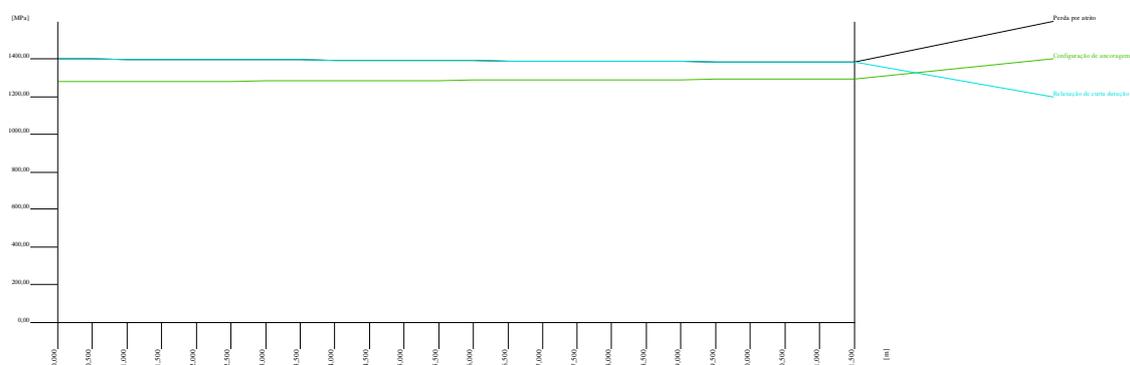
A perda por acomodação da ancoragem no início aparece ao longo de toda a extensão do cabo.

Alongamento teórico do cabo antes da transferência 0,086 [m]

Alongamento teórico do cabo após transferência 0,074 [m]

x [m]	y [m]	z [m]	Perda por atrito [MPa]	Perda por acomodação da ancoragem [MPa]	Relaxação de curta duração [MPa]	Tensionamento após ancoragem / transferência [MPa]	Relaxação passou [MPa]	Relaxação a ser passada [MPa]
0,000	0,000	0,000	0,00	-120,52	0,00	1279,48	0,00	-44,36
0,500	0,000	0,000	-0,73	-119,12	0,00	1280,15	0,00	-44,45
1,000	0,000	0,000	-1,47	-117,71	0,00	1280,82	0,00	-44,54
1,500	0,000	0,000	-2,20	-116,30	0,00	1281,49	0,00	-44,64
2,000	0,000	0,000	-2,94	-114,90	0,00	1282,17	0,00	-44,73
2,500	0,000	0,000	-3,67	-113,49	0,00	1282,84	0,00	-44,83
3,000	0,000	0,000	-4,40	-112,08	0,00	1283,51	0,00	-44,92
3,500	0,000	0,000	-5,14	-110,68	0,00	1284,19	0,00	-45,01
4,000	0,000	0,000	-5,87	-109,27	0,00	1284,86	0,00	-45,11
4,500	0,000	0,000	-6,60	-107,86	0,00	1285,54	0,00	-45,20
5,000	0,000	0,000	-7,33	-106,46	0,00	1286,21	0,00	-45,30
5,500	0,000	0,000	-8,06	-105,05	0,00	1286,89	0,00	-45,39
6,000	0,000	0,000	-8,79	-103,64	0,00	1287,56	0,00	-45,49
6,500	0,000	0,000	-9,52	-102,24	0,00	1288,24	0,00	-45,59

x [m]	y [m]	z [m]	Perda por atrito [MPa]	Perda por acomodação da ancoragem [MPa]	Relaxação de curta duração [MPa]	Tensionamento após ancoragem / transferência [MPa]	Relaxação passou [MPa]	Relaxação a ser passada [MPa]
7,000	0,000	0,000	-10,25	-100,83	0,00	1288,92	0,00	-45,68
7,500	0,000	0,000	-10,98	-99,43	0,00	1289,59	0,00	-45,78
8,000	0,000	0,000	-11,71	-98,02	0,00	1290,27	0,00	-45,88
8,500	0,000	0,000	-12,44	-96,61	0,00	1290,95	0,00	-45,97
9,000	0,000	0,000	-13,17	-95,21	0,00	1291,63	0,00	-46,07
9,500	0,000	0,000	-13,90	-93,80	0,00	1292,30	0,00	-46,17
10,000	0,000	0,000	-14,62	-92,39	0,00	1292,98	0,00	-46,26
10,500	0,000	0,000	-15,35	-90,99	0,00	1293,66	0,00	-46,36
11,000	0,000	0,000	-16,08	-89,58	0,00	1294,34	0,00	-46,46
11,500	0,000	0,000	-16,80	-88,18	0,00	1295,02	0,00	-46,56



x [m]	y [m]	z [m]	Tensão máxima após a transferência [MPa]
11,500	0,000	0,000	1295,02

3.1.1.10.6.2 Tensões de cabo

Cálculo linear, Extremo: Global

Seleção: Tudo

Cabos: Todos por seleção

Casos de carga: LC10.5

Caso	Cabo	x [m]	Tensionamento após ancoragem / transferência [MPa]	LED [MPa]	LCS [MPa]	Lmin [MPa]	Lmax [MPa]	MinTensão [MPa]	MaxTensão [MPa]
LC10.5	TND1	11,500	1279,48	0,00	0,00	0,00	0,00	1279,48	1279,48
LC10.5	TND1	0,000	1295,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1295,02	1295,02

Explicações dos Símbolos	
Tensionamento após ancoragem / transferência	A tensão na armadura protendida após a ancoragem (cabo pós-tracionado)/após a transferência de protensão (cabo pré-tracionado)
LED	Perda devido ao protensão sequencial + perda causada pela deformação elástica do concreto
LCS	Perda devido à fluência e retração do concreto + perda devido ao relaxamento do aço à longa duração
Lmin	Perda (alteração) de protensão causado pela carga (min)
Lmax	Perda (alteração) de protensão causado pela carga (max)
MinTensão	Tensão mínima em fase
MaxTensão	Tensão máxima em fase

3.1.1.10.7 Esforços Solicitantes

Cálculo linear

Combinação: CO1 - ELU

Sistema de coordenadas: Principal

Extremo 1D: Global

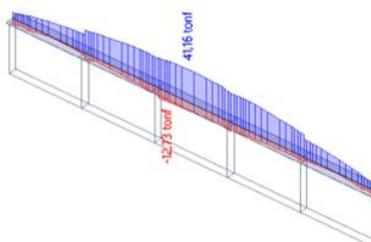
Seleção: B6, B8, B10, B69

Nome	dx [m]	Caso	N [tonf]	V _y [tonf]	V _z [tonf]	M _x [tonfm]	M _y [tonfm]	M _z [tonfm]	V _r [tonf/m]
B6	2,300	CO1 - ELU/1	1,04	-23,58	-5,84	14,72	-2,35	-0,43	-3,45
B10	0,000	CO1 - ELU/2	-0,37	23,56	5,06	-14,92	-3,34	-0,10	3,00
B10	0,000	CO1 - ELU/3	-2,20	22,29	5,98	-14,93	-5,47	1,00	3,54
B9	0,000	CO1 - ELU/4	-12,73	13,77	4,18	-8,36	-23,97	-0,33	2,47
B9	1,150-	CO1 - ELU/5	41,16	0,00	0,00	-0,04	23,72	0,59	0,00
B10	2,300	CO1 - ELU/6	0,33	-16,06	2,68	5,51	-4,78	-5,73	1,59
B10	0,000	CO1 - ELU/6	-7,49	13,92	5,42	-11,59	-9,97	3,71	3,21
B6	2,013-	CO1 - ELU/7	9,88	-17,93	-17,19	10,81	2,64	-0,59	-10,17
B10	0,288-	CO1 - ELU/8	9,88	17,93	17,20	-10,81	2,64	-0,59	10,17

Nome	Chave de combinação
CO1 - ELU/1	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC21

Nome	Chave de combinação
CO1 - ELU/2	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC171
CO1 - ELU/3	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC172
CO1 - ELU/4	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.35*LC4 + 1.50*LC170
CO1 - ELU/5	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC95
CO1 - ELU/6	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.35*LC4 + 1.50*LC175
CO1 - ELU/7	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC50
CO1 - ELU/8	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC140

Valores: **N**
 Cálculo linear
 Combinação: CO1 - ELU
 Sistema de coordenadas:
 Principal
 Extremo 1D: Global
 Seleção: B6, B8..B10, B69



3.1.1.10.8 Verificação das Tensões

ELS-F - INF

Cálculo linear

Combinação: CO12 - ELS-F_TRAN

Sistema de coordenadas: Principal

Extremo 1D: Elemento

Seleção: B6, B8..B10, B69

Fibras: "Finf"

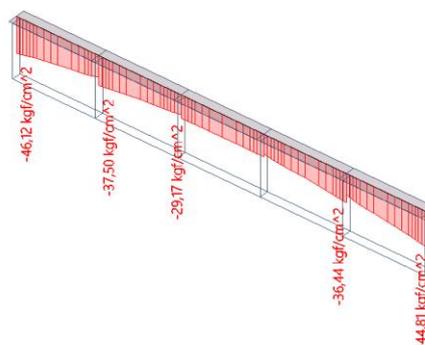
Nome	dx [m]	Fibra	Caso	σ_x [kgf/cm ²]	T_{xy} / T_{xs} [kgf/cm ²]	T_{xz} / T_{zs} [kgf/cm ²]
B6	2,300	Finf	CO12 - ELS-F_TRAN/1	-44,81	0,00	0,00

Nome	dx [m]	Fibra	Caso	σ_x [kgf/cm ²]	T_{xy} / T_{xs} [kgf/cm ²]	T_{xz} / T_{xs} [kgf/cm ²]
B6	0,000	Finf	CO12 - ELS-F_TRAN/2	-14,10	0,00	0,00
B8	2,300	Finf	CO12 - ELS-F_TRAN/3	-36,44	0,00	0,00
B8	0,000	Finf	CO12 - ELS-F_TRAN/2	-7,65	0,00	0,00
B9	0,096-	Finf	CO12 - ELS-F_TRAN/4	-29,17	0,00	0,00
B9	2,300	Finf	CO12 - ELS-F_TRAN/5	-8,84	0,00	0,00
B10	0,000	Finf	CO12 - ELS-F_TRAN/6	-46,12	0,00	0,00
B10	2,300	Finf	CO12 - ELS-F_TRAN/7	-13,84	0,00	0,00
B69	0,000	Finf	CO12 - ELS-F_TRAN/4	-37,50	0,00	0,00
B69	2,300	Finf	CO12 - ELS-F_TRAN/7	-7,60	0,00	0,00

Nome	Chave de combinação
CO12 - ELS-F_TRAN/1	LC1 + LC2 + LC3 + LC4 + 0.50*LC25 + LC10.5
CO12 - ELS-F_TRAN/2	LC1 + LC2 + LC3 + LC4 + 0.50*LC12 + 0.50*LC25 + LC10.5
CO12 - ELS-F_TRAN/3	LC1 + LC2 + LC3 + LC4 + 0.50*LC24 + LC10.5
CO12 - ELS-F_TRAN/4	LC1 + LC2 + LC3 + LC4 + 0.50*LC174 + LC10.5
CO12 - ELS-F_TRAN/5	LC1 + LC2 + LC3 + LC4 + 0.50*LC12 + 0.50*LC95 + LC10.5
CO12 - ELS-F_TRAN/6	LC1 + LC2 + LC3 + LC4 + 0.50*LC175 + LC10.5
CO12 - ELS-F_TRAN/7	LC1 + LC2 + LC3 + LC4 + 0.50*LC12 + 0.50*LC175 + LC10.5

Modelo de análise - σ_x

Valores: σ_x
 Cálculo linear
 Combinação: CO12 - ELS-F_TRAN
 Sistema de coordenadas: Principal
 Extremo 1D: Elemento
 Seleção: B6, B8..B10, B69
 Fibras: "Finf"



ELS - D - IN



Cálculo linear

Combinação: CO13 - ELS-D_TRAN

Sistema de coordenadas: Principal

Extremo 1D: Elemento

Seleção: B6, B8..B10, B69

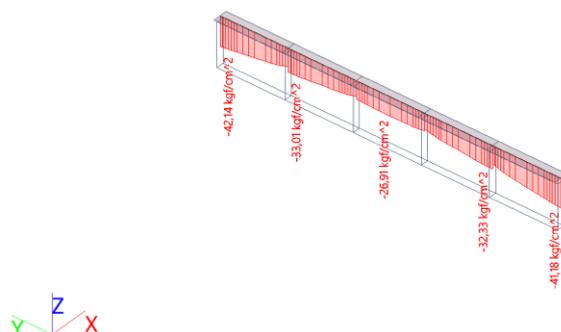
Fibras: "Finf"

Nome	dx [m]	Fibra	Caso	σ_x [kgf/cm ²]	T_{xy} / T_{xs} [kgf/cm ²]	T_{xz} / T_{xs} [kgf/cm ²]
B6	2,300	Finf	CO13 - ELS-D_TRAN/1	-41,18	0,00	0,00
B6	0,000	Finf	CO13 - ELS-D_TRAN/2	-17,14	0,00	0,00
B8	2,204-	Finf	CO13 - ELS-D_TRAN/3	-32,33	0,00	0,00
B8	0,000	Finf	CO13 - ELS-D_TRAN/2	-11,41	0,00	0,00
B9	1,150-	Finf	CO13 - ELS-D_TRAN/4	-26,91	0,00	0,00
B9	2,300	Finf	CO13 - ELS-D_TRAN/5	-12,75	0,00	0,00
B10	0,000	Finf	CO13 - ELS-D_TRAN/6	-42,14	0,00	0,00
B10	2,300	Finf	CO13 - ELS-D_TRAN/7	-17,08	0,00	0,00
B69	0,000	Finf	CO13 - ELS-D_TRAN/8	-33,01	0,00	0,00
B69	2,300	Finf	CO13 - ELS-D_TRAN/7	-11,42	0,00	0,00

Nome	Chave de combinação
CO13 - ELS-D_TRAN/1	LC1 + LC2 + LC3 + LC4 + 0.30*LC25 + LC10.5
CO13 - ELS-D_TRAN/2	LC1 + LC2 + LC3 + LC4 + 0.30*LC12 + 0.30*LC25 + LC10.5
CO13 - ELS-D_TRAN/3	LC1 + LC2 + LC3 + LC4 + 0.30*LC24 + LC10.5
CO13 - ELS-D_TRAN/4	LC1 + LC2 + LC3 + LC4 + 0.30*LC170 + LC10.5
CO13 - ELS-D_TRAN/5	LC1 + LC2 + LC3 + LC4 + 0.30*LC12 + 0.30*LC95 + LC10.5
CO13 - ELS-D_TRAN/6	LC1 + LC2 + LC3 + LC4 + 0.30*LC175 + LC10.5
CO13 - ELS-D_TRAN/7	LC1 + LC2 + LC3 + LC4 + 0.30*LC12 + 0.30*LC175 + LC10.5
CO13 - ELS-D_TRAN/8	LC1 + LC2 + LC3 + LC4 + 0.30*LC174 + LC10.5

Modelo de análise - σ_x

Valores: σ_x
Cálculo linear
Combinação: CO13 -
ELS-D_TRAN
Sistema de coordenadas:
Principal
Extremo 1D: Elemento
Seleção: B6, B8..B10, B69
Fibras: "Finf"



3.1.1.11 Lajes moldadas in-loco

As lajes do tabuleiro foram modeladas em elementos de superfície 2D, ligados às Vigas e Transversinas, conforme apresentado na descrição do modelo estrutural.

A armadura principal, na direção transversal à laje, é posicionada dentro das pré-lajes, totalizando uma espessura de lajes de 25cm.

A armadura principal na direção longitudinal é posicionada sobre as pré-lajes, capacitando o trabalho dessa direção.



3.1.1.11.1 Esforços Solicitantes

Cálculo linear

Combinação: CO3 - ELU_LJ

Extremo: Elemento

Seleção: S1

Localção: Em nós med. em macro. Sistema: LCS do elemento de malha

Magnitudes básicas

Nome	Malha	Posição [m]	Caso	m_x [tonfm/m] m_y [tonfm/m]
S1	Elemento: 5867 Nó: 1096	38,680 4,492 0,000	CO3 - ELU_LJ/1	-3,52 -0,40
S1	Elemento: 5760 Nó: 6254	18,300 4,492 0,000	CO3 - ELU_LJ/2	5,47 6,10
S1	Elemento: 1939 Nó: 172	0,000 10,050 0,000	CO3 - ELU_LJ/3	-1,20 -8,08
S1	Elemento: 8156 Nó: 8638	19,900 6,792 0,000	CO3 - ELU_LJ/4	5,42 7,59

Nome	Chave de combinação
CO3 - ELU_LJ/1	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.35*LC4 + 1.50*LC13 + 1.50*LC14 + 1.50*LC15 + 1.50*LC16 + 1.50*LC92
CO3 - ELU_LJ/2	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.35*LC4 + 1.50*LC14 + 1.50*LC15 + 1.50*LC16 + 1.50*LC17 + 1.50*LC86
CO3 - ELU_LJ/3	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.35*LC4 + 1.50*LC17 + 1.50*LC18 + 1.50*LC19 + 1.50*LC174
CO3 - ELU_LJ/4	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.35*LC4 + 1.50*LC15 + 1.50*LC16 + 1.50*LC17 + 1.50*LC116

Valores: mx

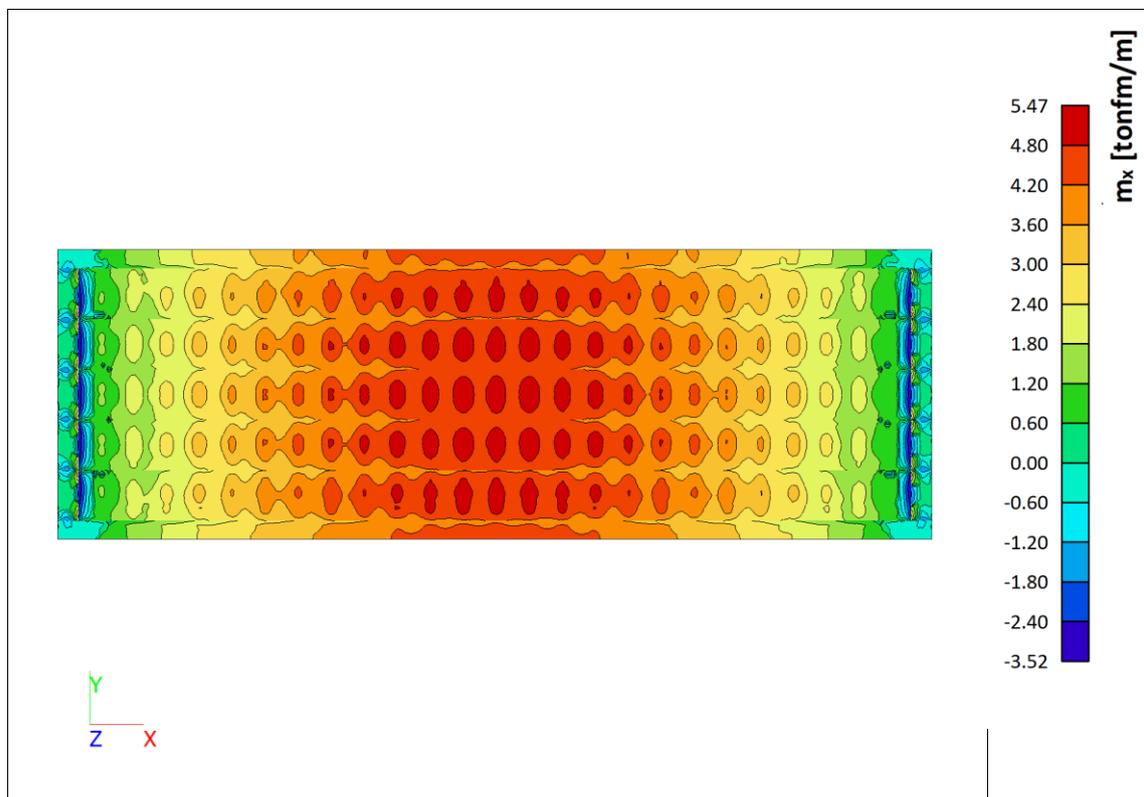
Cálculo linear

Combinação: CO3 - ELU_LJ

Extremo: Elemento

Seleção: S1

Localção: Em nós med. em macro. Sistema: LCS do elemento de malha



Valores: m_y

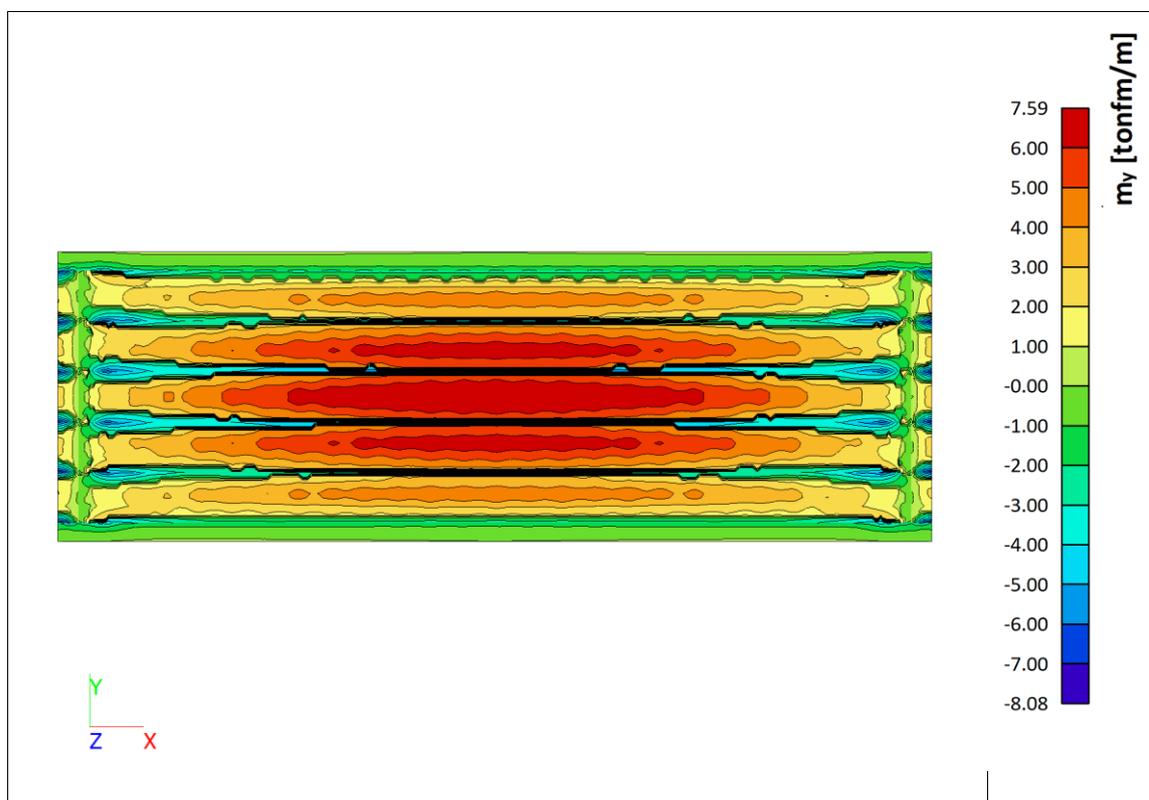
Cálculo linear

Combinação: CO3 - ELU_LJ

Extremo: Elemento

Seleção: S1

Localção: Em nós med. em macro. Sistema: LCS do elemento de malha



3.1.1.11.2 Verificação ao Estado Limite Último – ELU

NBR:6118-2014 - 2D - ELU

Cálculo linear

Combinação: CO3 - VELU_LJ

Extremo: Elemento

Seleção: S1

Localção: Em nós med. em macro. Sistema: LCS do elemento de malha

Seção no elemento:

Elemento: S1

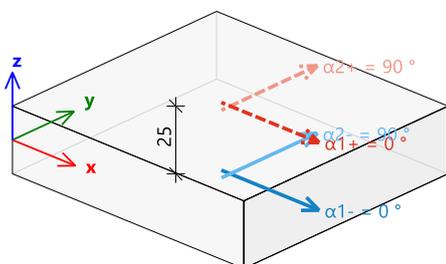
Tipo do elemento: Placa

Ponto da malha: 2373

Coordenadas do ponto: $x = 0.93$ m, $y = 7.94$ m, $z = 0$ m

Seção transversal - Direções das armaduras

Espessura do elemento 2D: 25 cm



Concreto C35

Classe de agressividade ambiental: CAA II - Moderate

(Table 6.1)

Valor resistência característica à compressão

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

(8.2.4)

Coefficiente parcial de segurança

$$\gamma_c = 1.4 \text{ para combinações Normais}$$

(Table 12.1)

Valor da resistência de cálculo à compressão

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{35}{1.4} = 25 \text{ MPa}$$

(12.3.3 a.)

Cobrimento para a armadura inferior

$$c_- = 2.5 \text{ cm}$$

(Table 7.2)

Cobrimento para a armadura superior

$$c_+ = 2.5 \text{ cm}$$

(Table 7.2)

Módulo de elasticidade secante

$$E_{cs} = 29403 \text{ MPa}$$

(8.2.8)

Resistência do concreto: $f_{ck} \leq 50$ MPa

$$\alpha_c = 0.85 \quad \lambda = 0.8$$

(17.2.2.e)

Aço da armadura CA-50

Resistência característica ao escoamento

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de segurança

$$\gamma_s = 1.15 \text{ para combinações Normais} \quad (\text{Table 12.1})$$

Valor da resistência de cálculo

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 435 \text{ MPa} \quad (12.4.1)$$

Módulo de elasticidade

$$E_s = 210000 \text{ MPa} \quad (8.3.5)$$

Diâmetros das armaduras nas camadas

$$\phi_{1,-} = 8 \text{ mm} - \text{Primeira direção da camada inferior}$$

$$\phi_{2,-} = 8 \text{ mm} - \text{Segunda direção da camada inferior}$$

$$\phi_{1,+} = 8 \text{ mm} - \text{Primeira direção da camada superior}$$

$$\phi_{2,+} = 8 \text{ mm} - \text{Segunda direção da camada superior}$$

$$\phi_w = 6.3 \text{ mm} - \text{Armadura de cisalhamento}$$

Direções das camadas da armadura

$$\alpha_{1,-} = 0^\circ - \text{Primeira direção na superfície inferior}$$

$$\alpha_{2,-} = 90^\circ - \text{Segunda direção na superfície inferior}$$

$$\alpha_{1,+} = 0^\circ - \text{Primeira direção na superfície superior}$$

$$\alpha_{2,+} = 90^\circ - \text{Segunda direção na superfície superior}$$

Forças internas - análise MEF

Combinação ELU: (1.35*LC1+1.35*LC2+1.35*LC3+1.35*LC4+1.50*LC16+1.50*LC17+1.50*LC18+1.50*LC19+1.50*LC174)

Esforços de membrana normais

$$n_x = -55 \text{ kN/m}$$

$$n_y = -9.36 \text{ kN/m}$$

Esforços de membrana tangenciais

$$n_{xy} = -302 \text{ kN/m}$$

Momentos fletores

$$m_x = 26 \text{ kNm/m}$$

$$m_y = 5.33 \text{ kNm/m}$$

Momento torsor

$$m_{xy} = -6.82 \text{ kNm/m}$$

Forças cortantes

$$v_x = 75.9 \text{ kN/m}$$

$$v_y = -50.7 \text{ kN/m}$$

Configurações de cálculo

Direção para o recálculo das forças

$$\alpha_{cal,1-} = \alpha_{cal} = -16.7$$

$$\alpha_{cal,2-} = \alpha_{cal} + 90 = -16.7 + 90 = 73.3$$

$$\alpha_{cal,1+} = \alpha_{cal} = -16.7$$

$$\alpha_{cal,2+} = \alpha_{cal} + 90 = -16.7 + 90 = 73.3$$

Direção para a determinação do braço de alavanca interno

$$\alpha_z = -16.7^\circ$$

Forças resultantes para o cálculo do braço de alavanca interno

$$m_z = 28.1 \text{ kNm/m}$$

$$n_z = 115 \text{ kN/m}$$

Braço de alavanca interno

$$z = 20.3 \text{ cm}$$

Posição para o recálculo das forças na superfície inferior para o centro de gravidade da seção do elemento 2D.

$$z_- = 10.1 \text{ cm}$$

Posição para o recálculo das forças na superfície superior para o centro de gravidade da seção do elemento 2D.

$$z_+ = 10.1 \text{ cm}$$

Estado: Flexão + Tração

Altura da zonade compressão

$$x_c = 0.472 \text{ cm}$$

Braço de alavanca interno

$$z = 21.5 \text{ cm}$$

Posição para o recálculo das forças na superfície inferior para o centro de gravidade da seção do elemento 2D.

$$z_- = 12.3 \text{ cm}$$

Posição para o recálculo das forças na superfície superior para o centro de gravidade da seção do elemento 2D.

$$z_+ = 9.2 \text{ cm}$$

Forças recalculadas

Cálculo das forças de superfície

Superfície inferior

$$n_{x-} = \frac{n_x}{2} + \frac{m_x}{z} = \frac{-55}{2} + \frac{26}{21.5} = 93.5 \text{ kN/m}$$

$$n_{y-} = \frac{n_y}{2} + \frac{m_y}{z} = \frac{-9.36}{2} + \frac{5.33}{21.5} = 20.1 \text{ kN/m}$$

$$n_{xy-} = \frac{n_{xy}}{2} + \frac{m_{xy}}{z} = \frac{-302}{2} + \frac{-6.82}{21.5} = -182 \text{ kN/m}$$

Superfície superior

$$n_{x+} = \frac{n_x}{2} - \frac{m_x}{z} = \frac{-55}{2} - \frac{26}{21.5} = -148 \text{ kN/m}$$

$$n_{y+} = \frac{n_y}{2} - \frac{m_y}{z} = \frac{-9.36}{2} - \frac{5.33}{21.5} = -29.4 \text{ kN/m}$$

$$n_{xy+} = \frac{n_{xy}}{2} - \frac{m_{xy}}{z} = \frac{-302}{2} - \frac{-6.82}{21.5} = -119 \text{ kN/m}$$

Cálculo das forças pela fórmula de transformação de Baumann

Cálculo das forças dimensionais no centro de gravidade

Forças dimensionais no centro de gravidade na primeira direção na superfície inferior

$$n_{Ed1-} = n_{Eds1-} + n_{Edsvirt1+} = 276 + -29.4 = 247 \text{ kN/m}$$

$$m_{Ed1-} = n_{Eds1-} \cdot Z_- - n_{Edsvirt1+} \cdot Z_+ = 276 \cdot 12.3 - -29.4 \cdot 9.2 = 36.7 \text{ kNm/m}$$

Forças dimensionais no centro de gravidade na segunda direção na superfície inferior

$$n_{Ed2-} = n_{Eds2-} + n_{Edsvirt2+} = 203 + 89.6 = 292 \text{ kN/m}$$

$$m_{Ed2-} = n_{Eds2-} \cdot Z_- - n_{Edsvirt2+} \cdot Z_+ = 203 \cdot 12.3 - 89.6 \cdot 9.2 = 16.7 \text{ kNm/m}$$

Força dimensional no centro de gravidade na direção da biela de concreto na superfície inferior

$$n_{Ed3-} = n_{Eds3-} + n_{Edsvirt3+} = -365 + -238 = -603 \text{ kN/m}$$

$$m_{Ed3-} = n_{Eds3-} \cdot Z_- - n_{Edsvirt3+} \cdot Z_+ = -365 \cdot 12.3 - -238 \cdot 9.2 = -23 \text{ kNm/m}$$

Forças dimensionais no centro de gravidade na primeira direção na superfície superior

$$n_{Ed1+} = n_{Eds1+} + n_{Edsvirt1-} = -29.4 + 276 = 247 \text{ kN/m}$$

$$m_{Ed1+} = -n_{Eds1+} \cdot Z_+ + n_{Edsvirt1-} \cdot Z_- = - -29.4 \cdot 9.2 + 276 \cdot 12.3 = 36.7 \text{ kNm/m}$$

Forças dimensionais no centro de gravidade na segunda direção na superfície superior

$$n_{Ed2+} = n_{Eds2+} + n_{Edsvirt2-} = 89.6 + 203 = 292 \text{ kN/m}$$

$$m_{Ed2+} = -n_{Eds2+} \cdot Z_+ + n_{Edsvirt2-} \cdot Z_- = -89.6 \cdot 9.2 + 203 \cdot 12.3 = 16.7 \text{ kNm/m}$$

Força dimensional no centro de gravidade na direção da biela de concreto na superfície superior

$$n_{Ed3+} = n_{Eds3+} + n_{Edsvirt3-} = -238 + -365 = -603 \text{ kN/m}$$

$$m_{Ed3+} = -n_{Eds3+} \cdot Z_+ + n_{Edsvirt3-} \cdot Z_- = - -238 \cdot 9.2 + -365 \cdot 12.3 = -23 \text{ kNm/m}$$

Forças de dimensionamento e armadura longitudinal necessária

Primeira direção:

Forças de membrana

$$N_{xd} = 247 \text{ kN/m}$$

Momento fletor

$$M_{xd} = 36.7 \text{ kNm/m}$$

Armadura necessária na primeira direção para a superfície inferior

$$A_{s,req.1-} = 7.03 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Armadura necessária na primeira direção para a superfície superior

$$A_{s,req.1+} = 0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Domínios de deformação: 2

Segunda direção:

Forças de membrana

$$N_{yd} = 292 \text{ kN/m}$$

Momento fletor

$$M_{yd} = 16.7 \text{ kNm/m}$$

Armadura necessária na segunda direção para a superfície inferior

$$A_{s,req,2-} = 5.54 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Armadura necessária na segunda direção para a superfície superior

$$A_{s,req,2+} = 1.18 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Domínios de deformação: 1

Força cortante de cálculo e armadura necessária

(19.4)

Resistência de cálculo média à tração do concreto

$$f_{ct,m} = 3.21 \text{ MPa}$$

(8.2.5)

Resistência de cálculo à tração inferior do concreto

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} = \frac{2.25}{1.4} = 1.6 \text{ MPa}$$

(8.2.5)

Tensão resistente de cálculo do concreto ao cisalhamento

$$\tau_{Rd} = 0.25 \cdot f_{ctd} = 0.25 \cdot 1.6 = 0.401 \text{ MPa}$$

(19.4.1)

Tensão resistente por mecanismos complementares ao da treliça

$$\tau_c = 0.6 \cdot f_{ctd} = 0.6 \cdot 1.6 = 0.963 \text{ MPa}$$

(17.4.2.2)

Primeira direção:

Taxa de armadura longitudinal

$$\rho_1 = \frac{A_{s,req,1-}}{b_w \cdot d_{1,-}} = \frac{7.03}{100 \cdot 22.1} = 0.318 \%$$

Tensão normal na seção causada pelo carregamento

$$\sigma_{cp} = - \left(\frac{N_{xd}}{b_w \cdot h} \right) = - \left(\frac{247}{100 \cdot 25} \right) = -0.986 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Tração}$$

Coefficiente de armadura

$$k = 1.38$$

Força cortante resistente de cálculo

$$V_{rd1,x} = \left(\tau_{Rd} \cdot k \cdot \left(1.2 + 40 \cdot \rho_1 \right) + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_w \cdot d_{1,-} \quad (19.4.1)$$
$$= \left(0.401 \cdot 1.38 \cdot \left(1.2 + 40 \cdot 0.318 \right) + 0.15 \cdot -0.986 \right) \cdot 100 \cdot 22.1 = 130 \text{ kN/m}$$

Nota: $V_{rd1,x} > v_x$ - A armadura de cisalhamento não é necessária

Armadura de cisalhamento necessária

$$A_{sw,x} = 0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Segunda direção:

Taxa de armadura longitudinal

$$\rho_1 = \frac{A_{s,req.2}}{b_w \cdot d_{2,-}} = \frac{5.54}{100 \cdot 21.3} = 0.26 \%$$

Tensão normal na seção causada pelo carregamento

$$\sigma_{cp} = - \left(\frac{N_{yd}}{b_w \cdot h} \right) = - \left(\frac{292}{100 \cdot 25} \right) = -1.17 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Tração}$$

Coefficiente de armadura

$$k = 1.39$$

Força cortante resistente de cálculo

$$V_{rd1,y} = \left(\tau_{Rd} \cdot k \cdot \left(1.2 + 40 \cdot \rho_1 \right) + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_w \cdot d_{2,-} \quad (19.4.1)$$
$$= \left(0.401 \cdot 1.39 \cdot \left(1.2 + 40 \cdot 0.26 \right) + 0.15 \cdot -1.17 \right) \cdot 100 \cdot 21.3 = 117 \text{ kN/m}$$

Nota: $V_{rd1,y} > v_y$ - A armadura de cisalhamento não é necessária

Armadura de cisalhamento necessária

$$A_{sw,y} = 0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

NBR:6118-2014 - 2D - ELU

Cálculo linear

Combinação: CO3 - VELU_LJ

Extremo: Elemento

Seleção: S1

Localção: Em nós med. em macro. Sistema: LCS do elemento de malha

Seção no elemento:

Elemento: S1

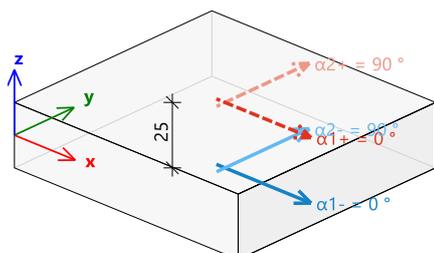
Tipo do elemento: Placa

Ponto da malha: 145

Coordenadas do ponto: $x = 0.93$ m, $y = 10.1$ m, $z = 0$ m

Seção transversal - Direções das armaduras

Espessura do elemento 2D: 25 cm



Concreto C35

Classe de agressividade ambiental: CAA II - Moderate

(Table 6.1)

Valor resistência característica à compressão

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

(8.2.4)

Coefficiente parcial de segurança

$$\gamma_c = 1.4 \text{ para combinações Normais}$$

(Table 12.1)

Valor da resistência de cálculo à compressão

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{35}{1.4} = 25 \text{ MPa}$$

(12.3.3 a.)

Cobrimento para a armadura inferior

$$c_- = 2.5 \text{ cm}$$

(Table 7.2)

Cobrimento para a armadura superior

$$c_+ = 2.5 \text{ cm}$$

(Table 7.2)

Módulo de elasticidade secante

$$E_{cs} = 29403 \text{ MPa}$$

(8.2.8)

Resistência do concreto: $f_{ck} \leq 50$ MPa

$$\alpha_c = 0.85 \quad \lambda = 0.8$$

(17.2.2.e)

Aço da armadura CA-50

Resistência característica ao escoamento

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

Coeficiente parcial de segurança

$$\gamma_s = 1.15 \text{ para combinações Normais} \quad (\text{Table 12.1})$$

Valor da resistência de cálculo

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 435 \text{ MPa} \quad (12.4.1)$$

Módulo de elasticidade

$$E_s = 210000 \text{ MPa} \quad (8.3.5)$$

Diâmetros das armaduras nas camadas

$$\phi_{1,-} = 8 \text{ mm} - \text{Primeira direção da camada inferior}$$

$$\phi_{2,-} = 8 \text{ mm} - \text{Segunda direção da camada inferior}$$

$$\phi_{1,+} = 8 \text{ mm} - \text{Primeira direção da camada superior}$$

$$\phi_{2,+} = 8 \text{ mm} - \text{Segunda direção da camada superior}$$

$$\phi_w = 6.3 \text{ mm} - \text{Armadura de cisalhamento}$$

Direções das camadas da armadura

$$\alpha_{1,-} = 0^\circ - \text{Primeira direção na superfície inferior}$$

$$\alpha_{2,-} = 90^\circ - \text{Segunda direção na superfície inferior}$$

$$\alpha_{1,+} = 0^\circ - \text{Primeira direção na superfície superior}$$

$$\alpha_{2,+} = 90^\circ - \text{Segunda direção na superfície superior}$$

Forças internas - análise MEF

Combinação ELU: $(1.35*LC1+1.35*LC2+1.35*LC3+1.35*LC4+1.50*LC17+1.50*LC18+1.50*LC19+1.50*LC174)$

Esforços de membrana normais

$$n_x = -54.7 \text{ kN/m}$$

$$n_y = 191 \text{ kN/m}$$

Esforços de membrana tangenciais

$$n_{xy} = 491 \text{ kN/m}$$

Momentos fletores

$$m_x = -13.9 \text{ kNm/m}$$

$$m_y = -12 \text{ kNm/m}$$

Momento torsor

$$m_{xy} = 0.437 \text{ kNm/m}$$

Forças cortantes

$$v_x = 204 \text{ kN/m}$$

$$v_y = -57.5 \text{ kN/m}$$

Configurações de cálculo

Direção para o recálculo das forças

$$\alpha_{cal,1-} = \alpha_{cal} = -103$$

$$\alpha_{cal,2-} = \alpha_{cal} + 90 = -103 + 90 = -12.6$$

$$\alpha_{cal,1+} = \alpha_{cal} = -103$$

$$\alpha_{cal,2+} = \alpha_{cal} + 90 = -103 + 90 = -12.6$$

Direção para a determinação do braço de alavanca interno

$$\alpha_z = -12.6^\circ$$

Forças resultantes para o cálculo do braço de alavanca interno

$$m_z = -14 \text{ kNm/m}$$

$$n_z = -252 \text{ kN/m}$$

Braço de alavanca interno

$$z = 20.3 \text{ cm}$$

Posição para o recálculo das forças na superfície inferior para o centro de gravidade da seção do elemento 2D.

$$z_- = 10.1 \text{ cm}$$

Posição para o recálculo das forças na superfície superior para o centro de gravidade da seção do elemento 2D.

$$z_+ = 10.1 \text{ cm}$$

Estado: Flexão + Compressão

Altura da zonade compressão

$$x_c = 0.867 \text{ cm}$$

Braço de alavanca interno

$$z = 21.4 \text{ cm}$$

Posição para o recálculo das forças na superfície superior para o centro de gravidade da seção do elemento 2D.

$$z_+ = 12.2 \text{ cm}$$

Posição para o recálculo das forças na superfície inferior para o centro de gravidade da seção do elemento 2D.

$$z_- = 9.2 \text{ cm}$$

Forças recalculadas

Cálculo das forças de superfície

Superfície inferior

$$n_{x-} = \frac{n_x}{2} + \frac{m_x}{z} = \frac{-54.7}{2} + \frac{-13.9}{21.4} = -92.3 \text{ kN/m}$$

$$n_{y-} = \frac{n_y}{2} + \frac{m_y}{z} = \frac{191}{2} + \frac{-12}{21.4} = 39.1 \text{ kN/m}$$

$$n_{xy-} = \frac{n_{xy}}{2} + \frac{m_{xy}}{z} = \frac{491}{2} + \frac{0.437}{21.4} = 247 \text{ kN/m}$$

Superfície superior

$$n_{x+} = \frac{n_x}{2} - \frac{m_x}{z} = \frac{-54.7}{2} - \frac{-13.9}{21.4} = 37.7 \text{ kN/m}$$

$$n_{y+} = \frac{n_y}{2} - \frac{m_y}{z} = \frac{191}{2} - \frac{-12}{21.4} = 152 \text{ kN/m}$$

$$n_{xy+} = \frac{n_{xy}}{2} - \frac{m_{xy}}{z} = \frac{491}{2} - \frac{0.437}{21.4} = 243 \text{ kN/m}$$

Cálculo das forças pela fórmula de transformação de Baumann

Cálculo das forças dimensionais no centro de gravidade

Forças dimensionais no centro de gravidade na primeira direção na superfície inferior

$$n_{Ed1-} = n_{Eds1-} + n_{Edsvirt1+} = 155 + 281 = 436 \text{ kN/m}$$

$$m_{Ed1-} = n_{Eds1-} \cdot Z_- - n_{Edsvirt1+} \cdot Z_+ = 155 \cdot 9.2 - 281 \cdot 12.2 = -19.9 \text{ kNm/m}$$

Forças dimensionais no centro de gravidade na segunda direção na superfície inferior

$$n_{Ed2-} = n_{Eds2-} + n_{Edsvirt2+} = 286 + 395 = 681 \text{ kN/m}$$

$$m_{Ed2-} = n_{Eds2-} \cdot Z_- - n_{Edsvirt2+} \cdot Z_+ = 286 \cdot 9.2 - 395 \cdot 12.2 = -21.6 \text{ kNm/m}$$

Força dimensional no centro de gravidade na direção da biela de concreto na superfície inferior

$$n_{Ed3-} = n_{Eds3-} + n_{Edsvirt3+} = -495 + -487 = -981 \text{ kN/m}$$

$$m_{Ed3-} = n_{Eds3-} \cdot Z_- - n_{Edsvirt3+} \cdot Z_+ = -495 \cdot 9.2 - -487 \cdot 12.2 = 13.6 \text{ kNm/m}$$

Forças dimensionais no centro de gravidade na primeira direção na superfície superior

$$n_{Ed1+} = n_{Eds1+} + n_{Edsvirt1-} = 281 + 155 = 436 \text{ kN/m}$$

$$m_{Ed1+} = -n_{Eds1+} \cdot Z_+ + n_{Edsvirt1-} \cdot Z_- = -281 \cdot 12.2 + 155 \cdot 9.2 = -19.9 \text{ kNm/m}$$

Forças dimensionais no centro de gravidade na segunda direção na superfície superior

$$n_{Ed2+} = n_{Eds2+} + n_{Edsvirt2-} = 395 + 286 = 681 \text{ kN/m}$$

$$m_{Ed2+} = -n_{Eds2+} \cdot Z_+ + n_{Edsvirt2-} \cdot Z_- = -395 \cdot 12.2 + 286 \cdot 9.2 = -21.6 \text{ kNm/m}$$

Força dimensional no centro de gravidade na direção da biela de concreto na superfície superior

$$n_{Ed3+} = n_{Eds3+} + n_{Edsvirt3-} = -487 + -495 = -981 \text{ kN/m}$$

$$m_{Ed3+} = -n_{Eds3+} \cdot Z_+ + n_{Edsvirt3-} \cdot Z_- = -487 \cdot 12.2 + -495 \cdot 9.2 = 13.6 \text{ kNm/m}$$

Forças de dimensionamento e armadura longitudinal necessária

Primeira direção:

Forças de membrana

$$N_{xd} = 436 \text{ kN/m}$$

Momento fletor

$$M_{xd} = -19.9 \text{ kNm/m}$$

Armadura necessária na primeira direção para a superfície inferior

$$A_{s,req.1-} = 2.63 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Armadura necessária na primeira direção para a superfície superior

$$A_{s,req.1+} = 7.4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Domínios de deformação: 1

Segunda direção:

Forças de membrana

$$N_{yd} = 681 \text{ kN/m}$$

Momento fletor

$$M_{yd} = -21.6 \text{ kNm/m}$$

Armadura necessária na segunda direção para a superfície inferior

$$A_{s,req,2-} = 5.01 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Armadura necessária na segunda direção para a superfície superior

$$A_{s,req,2+} = 10.7 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Domínios de deformação: 1

Força cortante de cálculo e armadura necessária

(19.4)

Resistência de cálculo média à tração do concreto

$$f_{ct,m} = 3.21 \text{ MPa} \quad (8.2.5)$$

Resistência de cálculo à tração inferior do concreto

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} = \frac{2.25}{1.4} = 1.6 \text{ MPa} \quad (8.2.5)$$

Tensão resistente de cálculo do concreto ao cisalhamento

$$\tau_{Rd} = 0.25 \cdot f_{ctd} = 0.25 \cdot 1.6 = 0.401 \text{ MPa} \quad (19.4.1)$$

Tensão resistente por mecanismos complementares ao da treliça

$$\tau_c = 0.6 \cdot f_{ctd} = 0.6 \cdot 1.6 = 0.963 \text{ MPa} \quad (17.4.2.2)$$

Primeira direção:

Taxa de armadura longitudinal

$$\rho_1 = \frac{A_{s,req.1+}}{b_w \cdot d_{1,+}} = \frac{7.4}{100 \cdot 22.1} = 0.335 \%$$

Tensão normal na seção causada pelo carregamento

$$\sigma_{cp} = - \left(\frac{N_{xd}}{b_w \cdot h} \right) = - \left(\frac{436}{100 \cdot 25} \right) = -1.74 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Tração}$$

Coefficiente de armadura

$$k = 1.38$$

Força cortante resistente de cálculo

$$V_{rd1,x} = \left(\tau_{Rd} \cdot k \cdot \left(1.2 + 40 \cdot \rho_1 \right) + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_w \cdot d_{1,+} \quad (19.4.1)$$

$$= \left(0.401 \cdot 1.38 \cdot \left(1.2 + 40 \cdot 0.335 \right) + 0.15 \cdot -1.74 \right) \cdot 100 \cdot 22.1 = 105 \text{ kN/m}$$

Nota: $V_{rd1,x} < v_x$ - Armadura de cisalhamento é necessária

Tensão de cisalhamento devido à carga

$$\tau_{wd} = \frac{\text{abs}(v_x)}{b_w \cdot d_{1,+}} = \frac{\text{abs}(204)}{100 \cdot 22.1} = 0.924 \text{ MPa}$$

Resistência última da biela de concreto

$$\tau_{wu} = 0.27 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \cdot f_{cd} = 0.27 \cdot \left(1 - \frac{35}{250} \right) \cdot 25 = 5.81 \text{ MPa} \quad (17.4.2.2)$$

Tensão de cálculo de cisalhamento

$$\tau_d = 1.11 \cdot \left(\tau_{wd} - \tau_c \right) = 1.11 \cdot \left(0.924 - 0.963 \right) = -0.043 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 343 \text{ MPa} \Rightarrow \text{A espessura do elemento 2D é maior do que 0.15m e menor do que 0.35m} \quad (19.4.2)$$

Armadura de cisalhamento mínima necessária

$$\rho_c = \frac{0.2 \cdot f_{ct,m}}{f_{yd}} = \frac{0.2 \cdot 3.21}{343} = 0.187 \%$$

$$A_{sw,x} = \rho_c \cdot b_w \cdot h = 0.187 \cdot 100 \cdot 25 = 4.69 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \phi 6.3 \text{ c/ } 13.3\text{cm}$$

Segunda direção:

Taxa de armadura longitudinal

$$\rho_1 = \frac{A_{s,req,2+}}{bw \cdot d_{2,+}} = \frac{10,7}{100 \cdot 21,3} = 0,501 \%$$

Tensão normal na seção causada pelo carregamento

$$\sigma_{cp} = - \left(\frac{N_{yd}}{bw \cdot h} \right) = - \left(\frac{681}{100 \cdot 25} \right) = -2,73 \text{ MPa} \Rightarrow \text{Tração}$$

Coefficiente de armadura

$$k = 1,39$$

Força cortante resistente de cálculo

$$V_{rd1,y} = \left(\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_1) + 0,15 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot bw \cdot d_{2,+} \quad (19.4.1)$$

$$= \left(0,401 \cdot 1,39 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,501) + 0,15 \cdot -2,73 \right) \cdot 100 \cdot 21,3 = 78,9 \text{ kN/m}$$

Nota: $V_{rd1,y} > V_y$ - A armadura de cisalhamento não é necessária

Armadura de cisalhamento necessária

$$A_{sw,y} = 0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

3.1.1.11.3 Detalhamento da Armadura da Laje

NBR:6118-2014 - 2D - ELU

Cálculo linear

Combinação: CO3 - VELU_LJ

Extremo: Elemento

Seleção: S1

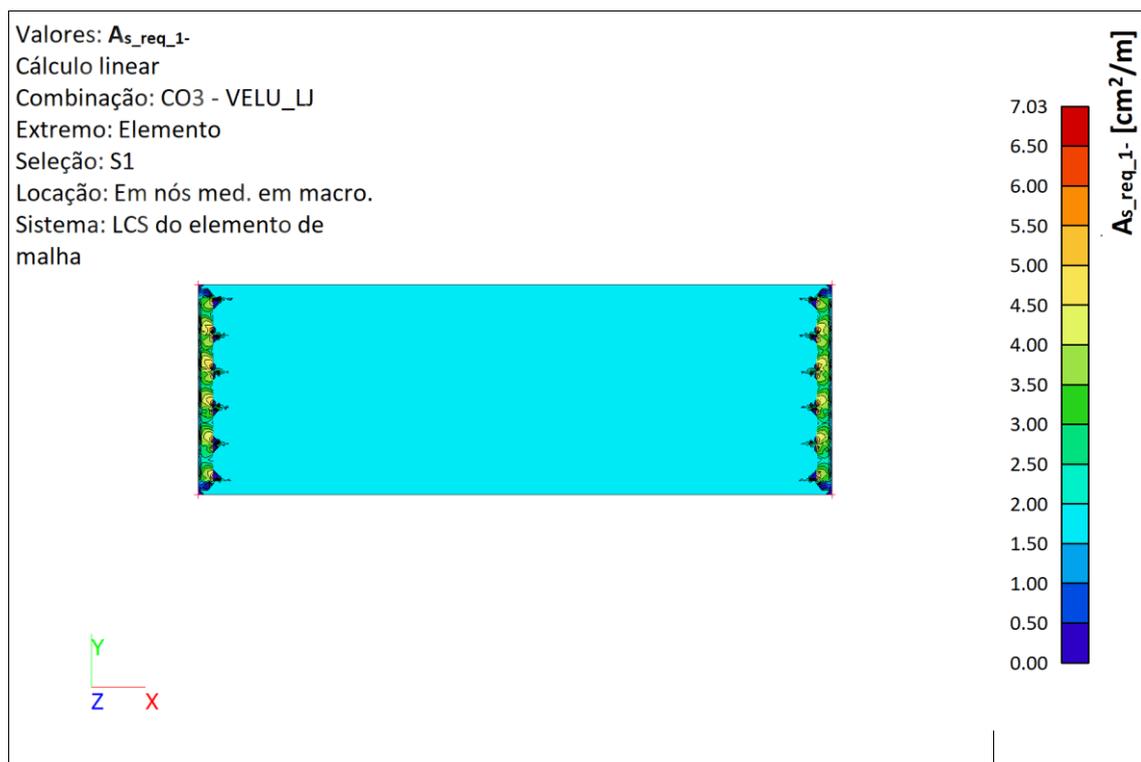
Localção: Em nós med. em macro. Sistema: LCS do elemento de malha

Nome	Malha	Posição [m]	Caso	$A_{s,req,1-}$ [cm ² /m]	$A_{s,req,2-}$ [cm ² /m]	$A_{s,req,1+}$ [cm ² /m]	$A_{s,req,2+}$ [cm ² /m]	$A_{sw,x}$ [cm ² /m]	$A_{sw,y}$ [cm ² /m]
S1	Elemento : 1898 Nó: 2373	0,930 7,942 0,000	CO3 - VELU_LJ /1	7,03	5,54	0,00	1,18	0,00	0,00
S1	Elemento : 11452 Nó: 11917	2,500 10,050 0,000	CO3 - VELU_LJ /2	1,88	14,92	1,88	0,00	43,05	0,00
S1	Elemento : 11440 Nó: 145	0,930 10,050 0,000	CO3 - VELU_LJ /2	2,63	5,01	7,40	10,66	4,69	0,00
S1	Elemento : 9261 Nó: 104	2,180 7,750 0,000	CO3 - VELU_LJ /2	1,88	0,15	1,88	12,82	26,47	4,69

Nome	Malha	Posição [m]	Caso	A _{s_req_1-} [cm ² /m]	A _{s_req_2-} [cm ² /m]	A _{s_req_1+} [cm ² /m]	A _{s_req_2+} [cm ² /m]	A _{sw,x} [cm ² /m]	A _{sw,y} [cm ² /m]
S1	Elemento : 1260 Nó: 131	2,300 12,350 0,000	CO3 - VELU_LJ /3	1,88	3,30	1,88	4,91	53,53	0,00
S1	Elemento : 1923 Nó: 2405	0,000 9,283 0,000	CO3 - VELU_LJ /2	1,27	4,94	1,64	6,99	0,00	9,69

Nome	Chave de combinação
CO3 - VELU_LJ/1	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.35*LC4 + 1.50*LC16 + 1.50*LC17 + 1.50*LC18 + 1.50*LC19 + 1.50*LC174
CO3 - VELU_LJ/2	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.35*LC4 + 1.50*LC17 + 1.50*LC18 + 1.50*LC19 + 1.50*LC174
CO3 - VELU_LJ/3	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.35*LC4 + 1.50*LC14 + 1.50*LC15 + 1.50*LC16 + 1.50*LC17 + 1.50*LC18 + 1.50*LC19 + 1.50*LC174

A_{s_req_1-}



A_{s_req_2-}

Valores: $A_{s_req_2-}$

Cálculo linear

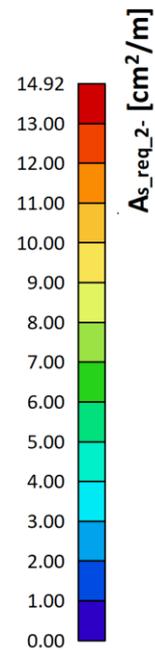
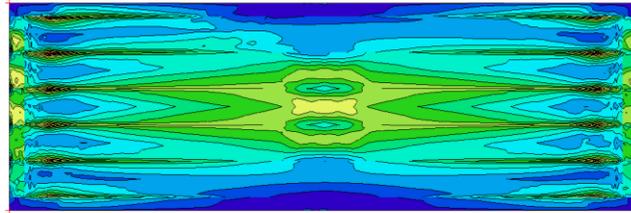
Combinação: CO3 - VELU_LJ

Extremo: Elemento

Seleção: S1

Localção: Em nós med. em macro.

Sistema: LCS do elemento de malha



$A_{s_req_1+}$

Valores: $A_{s_req_1+}$

Cálculo linear

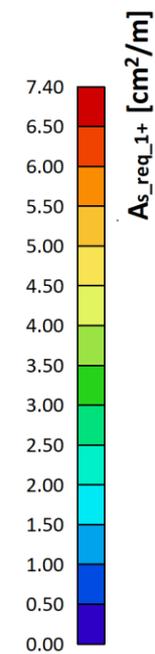
Combinação: CO3 - VELU_LJ

Extremo: Elemento

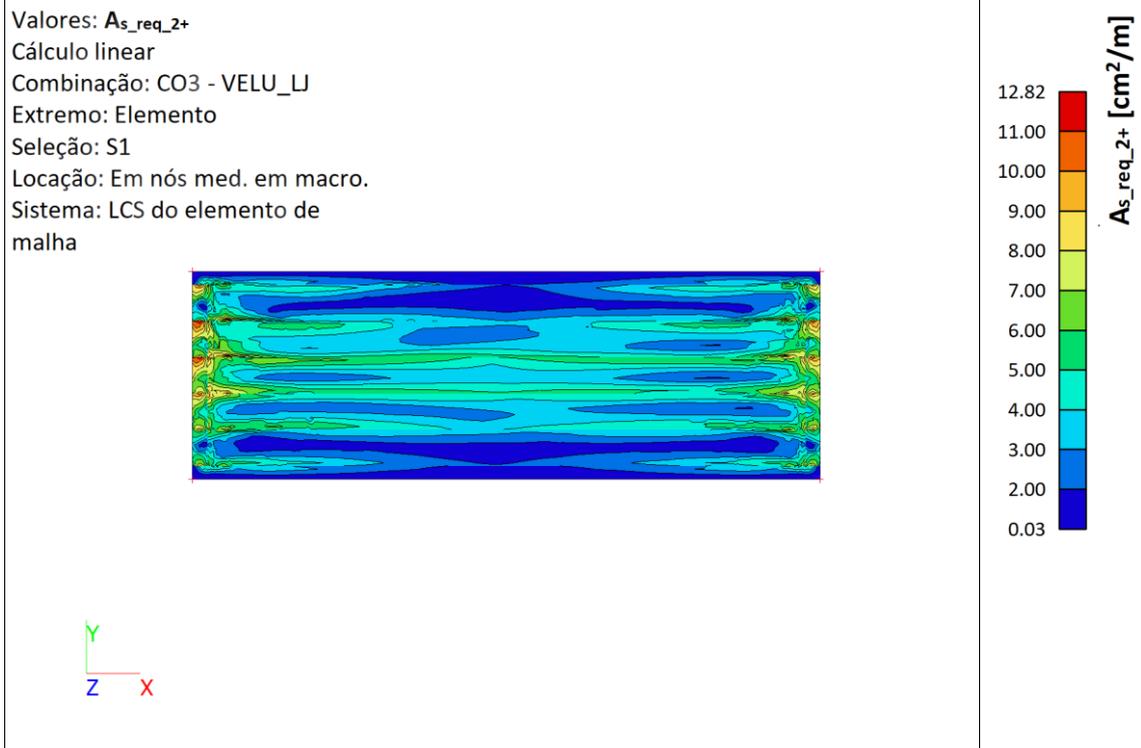
Seleção: S1

Localção: Em nós med. em macro.

Sistema: LCS do elemento de malha



$A_{s_req_2+}$



3.1.1.11.4 Verificação da Armadura superior do tabuleiro para ação de 10Tf

VERIFICACAO DA ARMADURA SUPERIOR TRANSVERSAL DO TABULEIRO PARA ACAO DE 10TF (VERTICAL) CONCOMITANTEMENTE COM A FORÇA HORIZONTAL INCIDENTE NA BARREIRA RIGIDA

GEOMETRIA		
h (cm)	d' (cm)	d (cm)
25	2,5	22,5

PROPRIEDADES - MATERIAIS			
f_{ck} (MPa)	γ_c	f_{yk} (MPa)	γ_s
40	1,4	500	1,15

COEFICIENTE DE AÇÃO EXCEPCIONAL		
γ_f	1	Carga de 10tf
γ_f	1,15	Carga Permanente

CARGA LAJE			
P.PROP (tf)	d (m)	γ_f	$M_{d(-)}$ (tf.m)
0,625	1,10	1,15	0,43

CARGA BARREIRA			
P.PROP (tf)	d (m)	γ_f	$M_{d(-)}$ (tf.m)
0,586	0,90	1,15	0,61

CARGA BARREIRA			
P (tf)	d (m)	γ_f	$M_{d(-)}$ (tf.m)
10	0,90	1	9,00

SOLICITACÃO		
$M_{d(-)}$ (tf.m)	b (m)	M_d (tf.m)
10,04	2,24	4,48

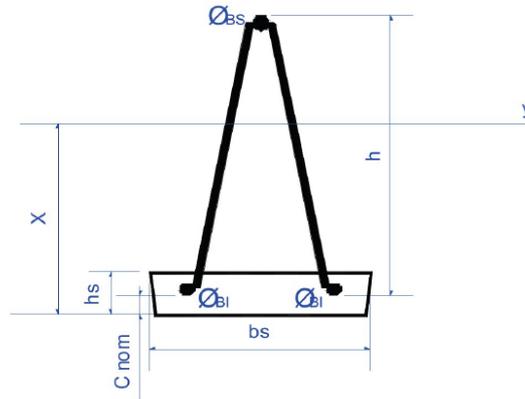
DIMENSIONAMENTO				
$A_{s,calc}$ (cm ²)	$A_{s,min}$ (cm ²)	Armadura adotada		
		ϕ (mm)	Quant./m	$A_{s,adot}$ (cm ²)
5,00	3,6	12,5	5	6,14

Conforme a NBR 7188:2013: O guarda rodas é dimensionado para uma força horizontal perpendicular à direção do tráfego de 100kN. A ação é aplicada em um comprimento de 50 cm, no topo do elemento, admitindo-se distribuição espacial a 45°.
 Considerando a largura de 50cm e espraiaida a 45°.
 $b=0.5+2x0.87 = 2.24m$

ok

3.1.1.12 Pré-lajes

CÁLCULO DAS PRÉ-LAJES



Para a análise das pré-lajes que fazem parte da composição tabuleiros dos viadutos em grelha de vigas pré-moldadas, devem ser avaliados dois períodos distintos de comportamento dos mesmos:

1º) Análise construtiva – cálculo isostático – Peças estruturais sujeitas aos carregamentos de:

- Peso Próprio das pré-lajes
- Concreto da laje executado sobre as pré-lajes
- Sobrecarga de trabalho durante a execução da obra (100kgf/m²)

2º) Análise ao longo do tempo – estrutura solidarizada: laje final composta por pré-laje+capa sobre as vigas pré-moldadas – Peças estruturais sujeitas aos carregamentos de:

- Cargas permanentes – Pavimento, Recapeamento e Barreira rígida;
- Cargas móveis – Multidão + Veículo com impacto.

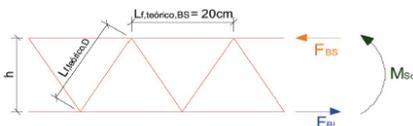
No presente item, será considerada apenas a análise construtiva, sendo a análise ao longo do tempo contemplada no item Cálculo da Laje.

GEOMETRIA					TRELIÇA ADOTADA					
L _E EFETIVO (cm)	b _S (cm)	h _S (cm)	C _{nom} (cm)	H _{CAPA} (cm)	Quant. _{TR} (unid.)	Treliça adotada	H _{TR} (cm)	φ _{BS} (mm)	φ _D (mm)	φ _{BI} (mm)
170	50	5	1,5	20	2	TR 16746	16	7	4,2	6

PROPRIEDADES - MATERIAIS								
f _{ck} (MPa)	γ _c	f _{cd} (tf/cm ²)	f _{yk} (MPa)	γ _s	f _{yd} (tf/cm ²)	E _s (MPa)	E _{ci} (MPa)	E _{cs} (MPa)
35	1,4	0,25	600	1,15	5,22	210000	33130	28161

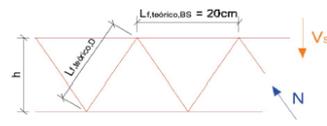
ESFORÇOS SOLICITANTES					
P _{PRÓPRIO} (kN/m)	Q _{SOBR.CARG.} (kN/m)	γ _E	γ _q	M _{sd} (kN.m)	V _{sd} (kN)
3,13	0,50	1,3	1,2	1,68	3,96

VERIFICAÇÕES



FLAMBAGEM DO BANZO SUPERIOR (ELU)			
I _{BS} (m ⁴)	k	P _{CR} (kN)	M _{d,res} (kN.m)
1,18E-10	0,89	7,71	2,47

Ok!



FLAMBAGEM DAS DIAGONAIS (ELU)				
L _{f,teórico,D} (cm)	N (kN)	I _D (m ⁴)	k	P _{CR,D} (kN)
19,29	2,39	1,53E-11	0,62	4,43

Ok!

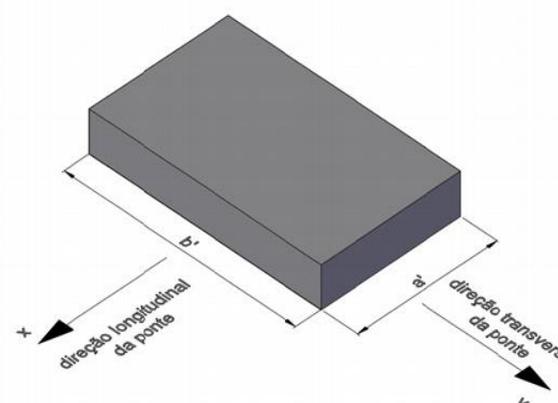
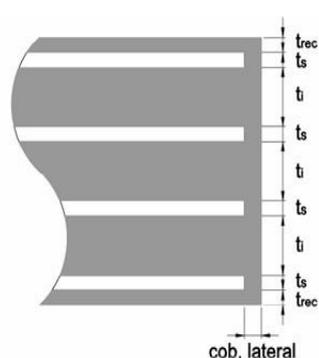
RUPTURA DA SOLDA	
V (kN)	
4,62	Ok!

DESLOCAMENTO MÁXIMO NA FASE TRANSITÓRIA				
Flecha _{lim} (cm)	I _H	k	EI (kN.cm ²)	Flecha _c (cm)
0,34	674,58	0,66	1253771	0,20

Ok!

3.1.1.13 Verificação do Aparelhos de apoio

VERIFICAÇÃO DOS APARELHOS DE APOIO DE NEOPRENE FRETADO - EN 1337-3/2005: Structural Bearings - Part3: Elastomeric Bearings

PARÂMETROS DE CÁLCULO - MODELO		
Carga normal - permanente	F_q	80870,00 kgf
Carga normal - acidental	F_q	46670,00 kgf
Fator majoração cargas vivas	k	1,5 -
Rotação long. permanente	α_{perm}	1,10E-02 rad
Rotação long. acidental	α_{acc}	1,60E-03 rad
Carga Horizontal long. permanente	H_q	7030,00 kgf
Carga Horizontal long. acidental	H_q	360,00 kgf
Deslocamento long. permanente	u_{gp}	0,00E+00 cm
Deslocamento long. acidental	u_{gp}	0,00E+00 cm
Largura do aparelho: // eixo long. Obra	a'	30 cm
Comprimento do aparelho	b'	45 cm
Espessura das camadas de elastômero	t_1	0,8 cm
Altura total elastômero entre chapas	$n \cdot t_1$	3,2 cm
Módulo de elasticidade transversal	G	10 kgf/cm ²
Tensão máxima de tração da fregagem	f_{yk}	2100 kgf/cm ²
Coefficiente de atrito	μ	6 -
Espessura da chapa externa	$t_{2,e}$	4 mm
Espessura da chapa interna	$t_{2,i}$	4 mm
Cobrimento vertical	t_{rec-v}	2,5 mm
Cobrimento horizontal	t_{rec-h}	4 mm
Quantidade de aparelhos para uso		1 unid.
Quantidade de aparelhos p/ ensaio		1 unid.

DESLOCAMENTOS		
Deslocamento total permanente	u_q	1,66 cm -
Deslocamento total acidental	u_q	0,04 cm -

VERIFICAÇÃO DA TENSÃO DE COMPRESSÃO SOB AÇÃO DA CARGA MÁXIMA E DESLIZAMENTO		
Tensão normal considerando área total do aparelho	$\sigma_{F,AT}$	94,47 kgf/cm ²
Tensão normal com área reduzida	$\sigma_{F,AR}$	75,91 kgf/cm ² Ok!
Tensão normal permanente com área reduzida	$\sigma_{p,AR}$	46,02 kgf/cm ² Ok!

VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE DO APARELHO DE APOIO AO DESLIZAMENTO E FLAMBAGEM		
Tmin - deslizamento Concreto - cargas permanentes	$T_{min,C,P}$	1,70 cm Ok!
Tmin - deslizamento Concreto - cargas totais	$T_{min,C,T}$	1,39 cm Ok!
Tmin - deslizamento Geral - cargas permanentes	$T_{min,G,P}$	2,72 cm Ok!
Tmin - deslizamento Geral - cargas totais	$T_{min,G,T}$	1,97 cm Ok!
Tmin - limitação deslocamento horizontal	$T_{min,dh}$	2,43 cm Ok!
$T_{m\acute{a}x}$ para estabilidade	$T_{l\acute{m}ax}$	31,30 cm Ok!

VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE DO APARELHO DE APOIO À ROTAÇÃO		
Soma das deflexões das camadas internas	$\sum v_c$	0,24 cm -
Soma das deflexões das camadas de cobrimento	$\sum v_r$	0,00 cm -
Deflexão total	$\sum v_i$	0,24 cm Ok!
Rotação admissível pela análise da estabilidade	$\alpha_{adm,est}$	2,48E-02 rad Ok!
Rotação admissível sem considerar camadas cobrimento	$\alpha_{adm,s-c}$	2,44E-02 rad Ok!
Rotação adicional permanente pelo limite deformação 5	$\alpha_{adm,lim5}$	1,74E-02 rad -

LIMITAÇÃO DA DEFORMAÇÃO DE CISALHAMENTO NO ELASTÔMERO (<S)		
Deformação de cisalhamento por esforços normais	ϵ_c	1,50
Deformação de cisalhamento por esforços horizontais	ϵ_h	0,42
Deformação de cisalhamento devida às rotações	ϵ_α	2,23
Deformações totais por cisalhamento no elastômero	ϵ	1,91 Ok!
Deformações totais por cisalhamento no cobrimento	ϵ_r	0,85 Ok!

DIMENSIONAMENTO DAS CHAPAS DE AÇO DE FREGAGEM		
Espessura mínima para a chapa interna de aço	$t_{s,min}$	1,13 mm Ok!

VERIFICAÇÃO PELO UIC-CODE		
Soma das deflexões das camadas internas	$\sum v_c$	0,0722 cm
Soma das deflexões das camadas de cobrimento	$\sum v_r$	0,0009 cm
Deflexão total	$\sum v_i$	0,0731 cm
Rotação admissível pela análise da estabilidade (K=1)	$\alpha_{adm,est}$	1,10E-02 rad
Rotação adm. sem considerar camadas cobrimento (K=1)	$\alpha_{adm,s-c}$	1,08E-02 rad
Rotação adicional permanente	$\alpha_{adm,perm}$	6,72E-03 rad

RESUMO - ESPECIFICAÇÃO ADOTADA			
Dimensões	Quant.	Volume Un.	Volume Tot.
a' x b' x h	(und.)	(dm ³)	(dm ³)
300mm x 450mm x 57mm	1	7,70	15,390

3.1.1.14 Travessa dos Encontros

3.1.1.14.1 Esforços Solicitantes

Cálculo linear

Combinação: CO13 - ELU-MESO/INFRA

Sistema de coordenadas: Principal

Extremo 1D: Global

Seleção: B14, B56, B60, B71

Direção y

Nome	dx [m]	Caso	V _z [tonf]	N _d [tonf]	M _y [tonfm]	M _{1dy,min} [tonfm]	M _{dy,recal} [tonfm]	M _{dy,tot} [tonfm]	λ _y [-]	λ _{1y} [-]	V _y [tonf]	M _x [tonfm]
B71	2,300	CO13 - ELU-MESO/INFRA/1	-19,38	-0,70	-6,41	0,00	-6,41	0,00	0,00	0,00	1,98	-4,52
B56	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/2	19,38	-0,70	-6,41	0,00	-6,41	0,00	0,00	0,00	-1,98	4,52
B56	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/3	16,54	-4,37	-5,33	0,00	-5,33	0,00	0,00	0,00	0,04	0,58
B56	1,533-	CO13 - ELU-MESO/INFRA/3	-4,12	1,49	1,73	0,00	1,73	0,00	0,00	0,00	0,78	-8,05
B56	2,300	CO13 - ELU-MESO/INFRA/4	-18,77	-3,88	-6,89	0,00	-6,89	0,00	0,00	0,00	0,25	-12,46
B56	1,150-	CO13 - ELU-MESO/INFRA/5	0,03	1,11	3,17	0,00	3,17	0,00	0,00	0,00	0,00	-4,49
B14	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/6	2,85	1,18	0,17	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	-11,48	0,35
B60	0,850	CO13 - ELU-MESO/INFRA/7	-2,85	1,18	0,17	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	11,48	-0,35
B56	2,300	CO13 - ELU-MESO/INFRA/8	-18,68	-3,88	-6,89	0,00	-6,89	0,00	0,00	0,00	0,24	-15,04
B71	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/9	18,68	-3,88	-6,89	0,00	-6,89	0,00	0,00	0,00	-0,24	15,12

Direção z

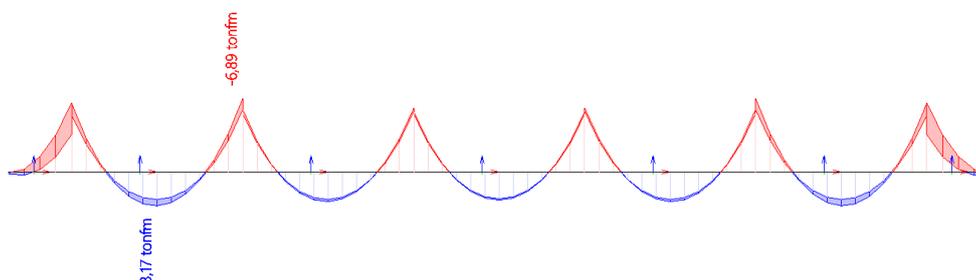
Nome	dx [m]	Caso	V _y [tonf]	N _d [tonf]	M _z [tonfm]	M _{1dz,min} [tonfm]	M _{dz,recal} [tonfm]	M _{dz,tot} [tonfm]	λ _z [-]	λ _{1z} [-]	V _z [tonf]	M _x [tonfm]
B14	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/6	-11,48	1,18	-0,06	0,00	-0,06	0,00	0,00	0,00	2,85	0,35
B60	0,850	CO13 - ELU-MESO/INFRA/7	11,48	1,18	-0,06	0,00	-0,06	0,00	0,00	0,00	-2,85	-0,35
B56	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/3	0,04	-4,37	-0,06	0,00	-0,06	0,00	0,00	0,00	16,54	0,58
B56	1,533-	CO13 - ELU-MESO/INFRA/3	0,78	1,49	0,09	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	-4,12	-8,05
B14	0,850	CO13 - ELU-	-7,64	-3,97	-6,56	0,00	-6,56	0,00	0,00	0,00	-15,83	-7,17

Nome	dx [m]	Caso	V _y [tonf]	N _d [tonf]	M _z [tonfm]	M _{1dz,min} [tonfm]	M _{dz,recal} [tonfm]	M _{dz,tot} [tonfm]	λ _z [-]	λ _{1z} [-]	V _z [tonf]	M _x [tonfm]
		MESO/INFRA/10										
B71	2,300	CO13 - ELU-MESO/INFRA/1	1,98	-0,70	0,41	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00	-19,38	-4,52
B56	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/2	-1,98	-0,70	0,41	0,00	0,41	0,00	0,00	0,00	19,38	4,52
B56	2,300	CO13 - ELU-MESO/INFRA/8	0,24	-3,88	1,16	0,00	1,16	0,00	0,00	0,00	-18,68	-15,04
B71	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/9	-0,24	-3,88	1,16	0,00	1,16	0,00	0,00	0,00	18,68	15,12

Nome	Chave de combinação
CO13 - ELU-MESO/INFRA/1	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC6 + LC9 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC84
CO13 - ELU-MESO/INFRA/2	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + LC9 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC114
CO13 - ELU-MESO/INFRA/3	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC6 + LC9 + LC10 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC26
CO13 - ELU-MESO/INFRA/4	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC6 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.20*LC8 + 1.50*LC113
CO13 - ELU-MESO/INFRA/5	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + LC9 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC175
CO13 - ELU-MESO/INFRA/6	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + LC9 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC84
CO13 - ELU-MESO/INFRA/7	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC6 + LC9 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC114
CO13 - ELU-MESO/INFRA/8	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC6 + 1.20*LC7 + 1.35*LC4 + 1.20*LC8 + 1.50*LC25
CO13 - ELU-MESO/INFRA/9	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + 1.20*LC7 + 1.35*LC4 + 1.20*LC8 + 1.50*LC175
CO13 - ELU-MESO/INFRA/10	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + LC9 + LC10 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC99

LC9 / Valor tot. - M_y

Valores: M_y
Cálculo linear
Combinação: CO13 -
ELU-MESO/INFRA
Sistema de coordenadas: Principal
Extremo 1D: Global
Seleção: B14, B56..B60, B71



3.1.1.14.2 Verificação ao Estado Limite Último - ELU

ELU - NBR-6118:2014

Cálculo linear

Combinação: CO13 - ELU-MESO/INFRA

Sistema de coordenadas: Principal

Extremo 1D: Elemento

Seleção: B14, B56, B60, B71

Cálculo longitudinal

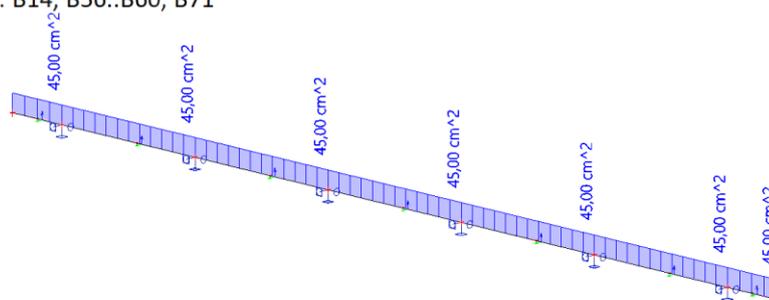
Nome	dx [m]	Caso	A _{s, req} [cm ²]	A _{s, req+} [cm ²]	A _{s, req-} [cm ²]	A _{st, req} [cm ²]	A _{sc, req} [cm ²]	A _{s, min} [cm ²]	nBar s	φ _i [cm]	A _{s, pele} [cm ²]
B14	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/1	45,00	0,00	37,06	37,06	0,00	45,00	19	1,60	5,00
B14	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/2	45,00	36,83	0,00	36,83	0,00	45,00	19	1,60	5,00
B56	1,917-	CO13 - ELU-MESO/INFRA/3	45,00	37,02	0,00	37,02	0,00	45,00	19	1,60	5,00
B56	1,533-	CO13 - ELU-MESO/INFRA/4	45,00	0,00	37,09	37,09	0,00	45,00	19	1,60	5,00
B57	0,383-	CO13 - ELU-MESO/INFRA/5	45,00	36,93	0,00	36,93	0,00	45,00	19	1,60	5,00
B57	1,150-	CO13 - ELU-MESO/INFRA/3	45,00	0,00	37,06	37,06	0,00	45,00	19	1,60	5,00
B58	1,917-	CO13 - ELU-MESO/INFRA/6	45,00	36,89	0,00	36,89	0,00	45,00	19	1,60	5,00
B58	1,150-	CO13 - ELU-MESO/INFRA/7	45,00	0,00	37,05	37,05	0,00	45,00	19	1,60	5,00
B59	1,917-	CO13 - ELU-MESO/INFRA/8	45,00	36,93	0,00	36,93	0,00	45,00	19	1,60	5,00
B59	1,150-	CO13 - ELU-MESO/INFRA/9	45,00	0,00	37,06	37,06	0,00	45,00	19	1,60	5,00
B60	0,850	CO13 - ELU-MESO/INFRA/10	45,00	36,83	0,00	36,83	0,00	45,00	19	1,60	5,00
B60	0,850	CO13 - ELU-MESO/INFRA/11	45,00	0,00	37,06	37,06	0,00	45,00	19	1,60	5,00
B71	0,383-	CO13 - ELU-MESO/INFRA/12	45,00	37,02	0,00	37,02	0,00	45,00	19	1,60	5,00
B71	0,767-	CO13 - ELU-MESO/INFRA/12	45,00	0,00	37,09	37,09	0,00	45,00	19	1,60	5,00

Cálculo do cisalhamento e torção

Nome	dx [m]	Caso	A _{sw/s} [cm ² /m]	φ _ω [cm]	s [m]	A _{90/s} [cm ² /m]	A _{st} [cm ²]	A _{s, t} [cm ²]	A _{wt/s} [cm ² /m]
B14	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/2	23,17	0,80	0,029	23,17	26,25	71,25	34,76
B56	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/8	23,17	0,80	0,029	23,17	26,25	71,25	34,76
B57	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/13	23,17	0,80	0,029	23,17	26,25	71,25	34,76
B58	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/14	23,17	0,80	0,029	23,17	26,25	71,25	34,76
B59	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/14	23,17	0,80	0,029	23,17	26,25	71,25	34,76
B60	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/13	23,17	0,80	0,029	23,17	26,25	71,25	34,76
B71	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/8	23,17	0,80	0,029	23,17	26,25	71,25	34,76

Nome	Chave de combinação
CO13 - ELU-MESO/INFRA/1	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + LC9 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC84
CO13 - ELU-MESO/INFRA/2	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + LC9 + LC10 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC84
CO13 - ELU-MESO/INFRA/3	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC6 + LC9 + LC10 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC25
CO13 - ELU-MESO/INFRA/4	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC6 + LC9 + LC10 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC26
CO13 - ELU-MESO/INFRA/5	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC6 + 1.20*LC7 + 1.35*LC4 + 1.20*LC8 + 1.50*LC25
CO13 - ELU-MESO/INFRA/6	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + LC9 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.20*LC8 + 1.50*LC175
CO13 - ELU-MESO/INFRA/7	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + 1.20*LC7 + LC9 + LC10 + 1.35*LC4 + 1.50*LC173
CO13 - ELU-MESO/INFRA/8	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + 1.20*LC7 + 1.35*LC4 + 1.20*LC8 + 1.50*LC175
CO13 - ELU-MESO/INFRA/9	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + LC9 + LC10 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC175
CO13 - ELU-MESO/INFRA/10	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC6 + LC9 + LC10 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC114
CO13 - ELU-MESO/INFRA/11	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC6 + LC9 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC114
CO13 - ELU-MESO/INFRA/12	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + LC9 + LC10 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC176
CO13 - ELU-MESO/INFRA/13	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + 1.20*LC7 + LC10 + 1.35*LC4 + 1.20*LC8 + 1.50*LC175
CO13 - ELU-MESO/INFRA/14	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC6 + LC9 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC84

Valores: A_s_{req}
 Cálculo linear
 Combinação: CO13 -
 ELU-MESO/INFRA
 Sistema de coordenadas: Principal
 Extremo 1D: Elemento
 Seleção: B14, B56..B60, B71



3.1.1.14.3 Fretagem

Combinação: CO13 - ELU-MESO/INFRA

Sistema de coordenadas: Elemento

Extremo 1D: Global

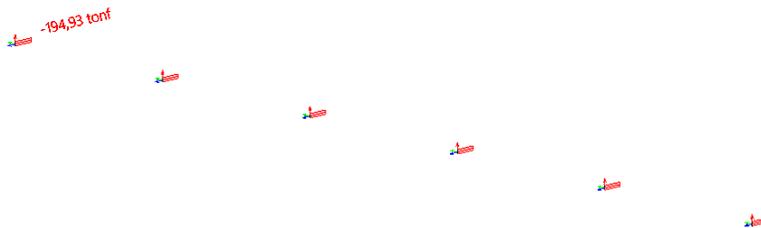
Seleção: B15, B19, B67.

Nome	dx [m]	Caso	N [tonf]	V_y [tonf]	V_z [tonf]	M_x [tonfm]	M_y [tonfm]	M_z [tonfm]
B19	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/1	-194,93	-1,15	15,95	0,00	-0,42	0,03
B15	0,050	CO13 - ELU-MESO/INFRA/2	-65,76	-1,10	10,82	0,00	0,25	-0,03
B19	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/3	-106,13	-2,24	7,78	0,00	-0,22	0,06
B15	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/4	-139,42	-1,97	18,06	0,00	-0,48	0,05
B15	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/5	-105,85	-1,62	14,08	0,00	-0,38	0,04
B19	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/6	-106,49	1,64	13,98	0,00	-0,38	-0,04
B15	0,000	CO13 - ELU-MESO/INFRA/7	-103,35	-0,84	18,00	0,00	-0,48	0,02

Nome	dx [m]	Caso	N [tonf]	V _y [tonf]	V _z [tonf]	M _x [tonfm]	M _y [tonfm]	M _z [tonfm]
B16	0,050	CO13 - ELU-MESO/INFRA/8	-104,62	-2,47	17,95	0,00	0,43	-0,06
B19	0,050	CO13 - ELU-MESO/INFRA/9	-119,70	-3,42	10,53	0,00	0,24	-0,09
B15	0,050	CO13 - ELU-MESO/INFRA/10	-119,70	3,42	10,53	0,00	0,24	0,09

Nome	Chave de combinação
CO13 - ELU-MESO/INFRA/1	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + 1.20*LC7 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC170
CO13 - ELU-MESO/INFRA/2	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + LC9 + LC10 + 1.35*LC4 + 1.20*LC8 + 1.50*LC171
CO13 - ELU-MESO/INFRA/3	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + 1.20*LC7 + LC10 + 1.35*LC4 + 1.20*LC8 + 1.50*LC175
CO13 - ELU-MESO/INFRA/4	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + LC9 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.50*LC175
CO13 - ELU-MESO/INFRA/5	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + 1.20*LC7 + 1.35*LC4 + 1.20*LC8 + 1.50*LC24
CO13 - ELU-MESO/INFRA/6	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC6 + 1.20*LC7 + 1.35*LC4 + 1.20*LC8 + 1.50*LC174
CO13 - ELU-MESO/INFRA/7	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.20*LC8 + 1.50*LC175
CO13 - ELU-MESO/INFRA/8	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + 1.20*LC7 + LC9 + 1.35*LC4 + 1.50*LC175
CO13 - ELU-MESO/INFRA/9	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC5 + LC10 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.20*LC8 + 1.50*LC110
CO13 - ELU-MESO/INFRA/10	1.35*LC1 + 1.35*LC2 + 1.35*LC3 + 1.40*LC6 + LC10 + 1.35*LC4 + 1.50*LC12 + 1.20*LC8 + 1.50*LC80

Valores: N
 Cálculo linear
 Combinação: CO13 -
 ELU-MESO/INFRA
 Sistema de coordenadas: Elemento
 Extremo 1D: Global
 Seleção: B15..B19, B67



CÁLCULO DA FRETAGEM DA TRAVESSA - SEGUNDO FRITZ LEONHARDT					
$Z_y = 0,30 \cdot P \cdot (1 - a/d)$					
$Z_z = 0,30 \cdot P \cdot (1 - c/b)$					
a=	0,5	ARMADURA LONGITUDINAL			
b=	1,5	$Z_y =$	34,11	$A_s =$	7,84 cm ²
c=	0,6				
d=	1,2				
P=	194,93 T	ARMADURA LONGITUDINAL			
		$Z_y =$	35,09	$A_s =$	8,07 cm ²
		<u>Adotado =</u> 4 CAMADAS 7R - ϕ 10 - c/15			
		<u>Adotado =</u> 4 CAMADAS 7R - ϕ 10 - c/15			

3.1.1.15 Cortinas

3.1.1.15.1 Esforços Solicitantes

Cálculo linear

Combinação: CO15 - ELU - CORTINA

Extremo: Global

Seleção: S2

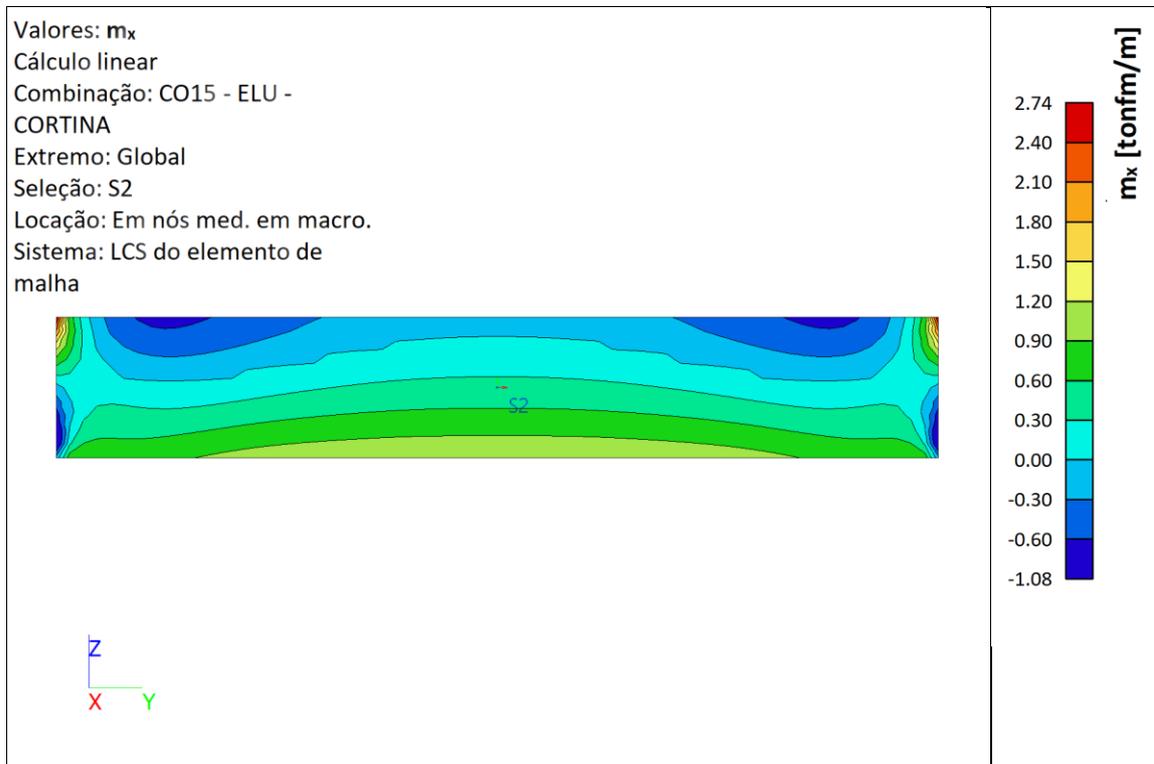
Localção: Em nós med. em macro. Sistema: LCS do elemento de malha

Magnitudes básicas

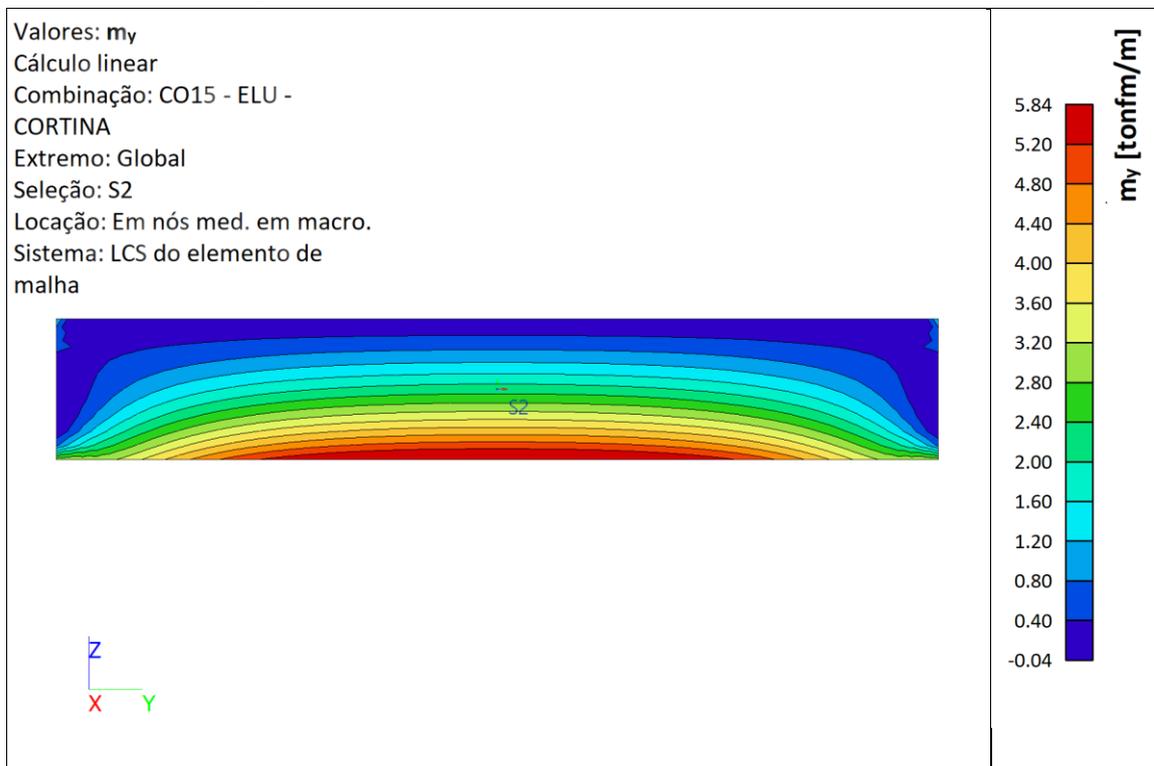
Nome	Posição [m]	Caso	m_x [tonfm/m] m_y [tonfm/m]	v_x [tonf/m] v_y [tonf/m]
S2	-0,400 0,125 -1,757	CO15 - ELU - CORTINA/1	-1,08 0,71	13,03 -5,37
S2	-0,400 0,125 -1,341	CO15 - ELU - CORTINA/1	-0,77 -0,04	4,49 7,47
S2	-0,400 6,500 -1,965	CO15 - ELU - CORTINA/1	1,16 5,84	0,00 -4,21
S2	-0,400 0,125 0,113	CO15 - ELU - CORTINA/1	2,74 1,16	-20,11 6,59
S2	-0,400 13,075 0,113	CO15 - ELU - CORTINA/1	2,74 1,16	20,11 6,59
S2	-0,400 0,125 -1,965	CO15 - ELU - CORTINA/1	-0,20 2,95	9,10 -19,93
S2	-0,400 0,125 -0,302	CO15 - ELU - CORTINA/1	1,38 0,45	-3,04 13,00

Nome	Chave de combinação
CO15 - ELU - CORTINA/1	1.50*LC9.1 + 1.50*LC10.2

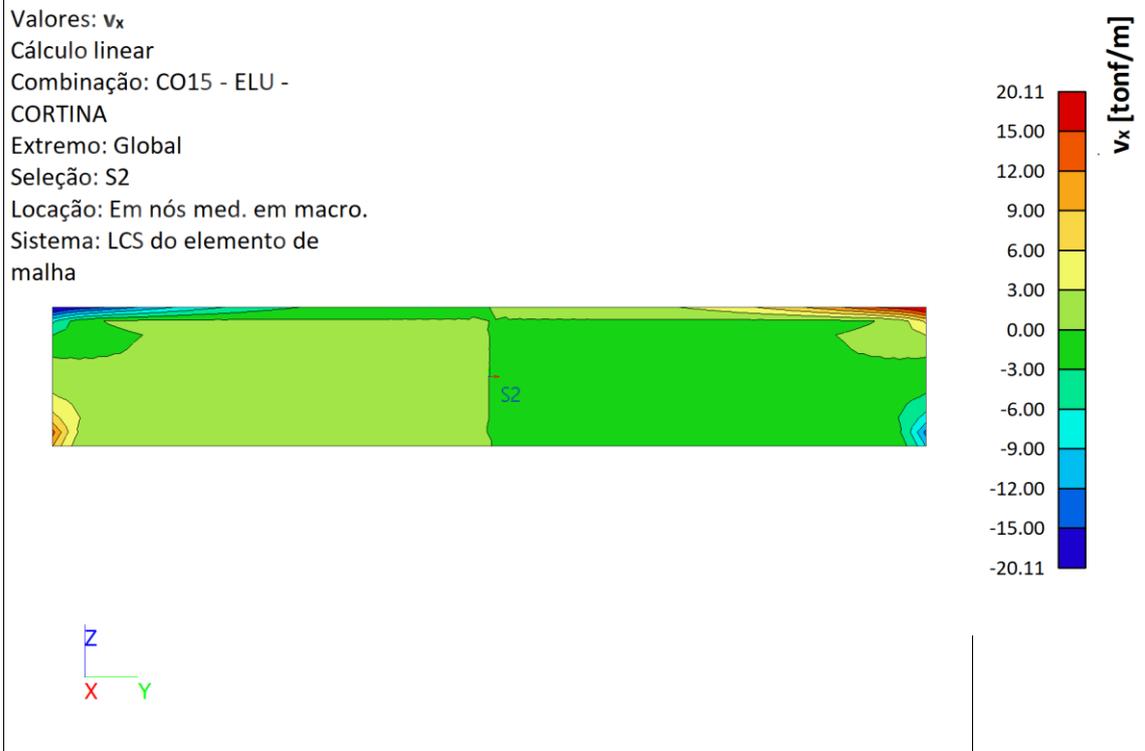
LC1 / Valor tot. - m_x



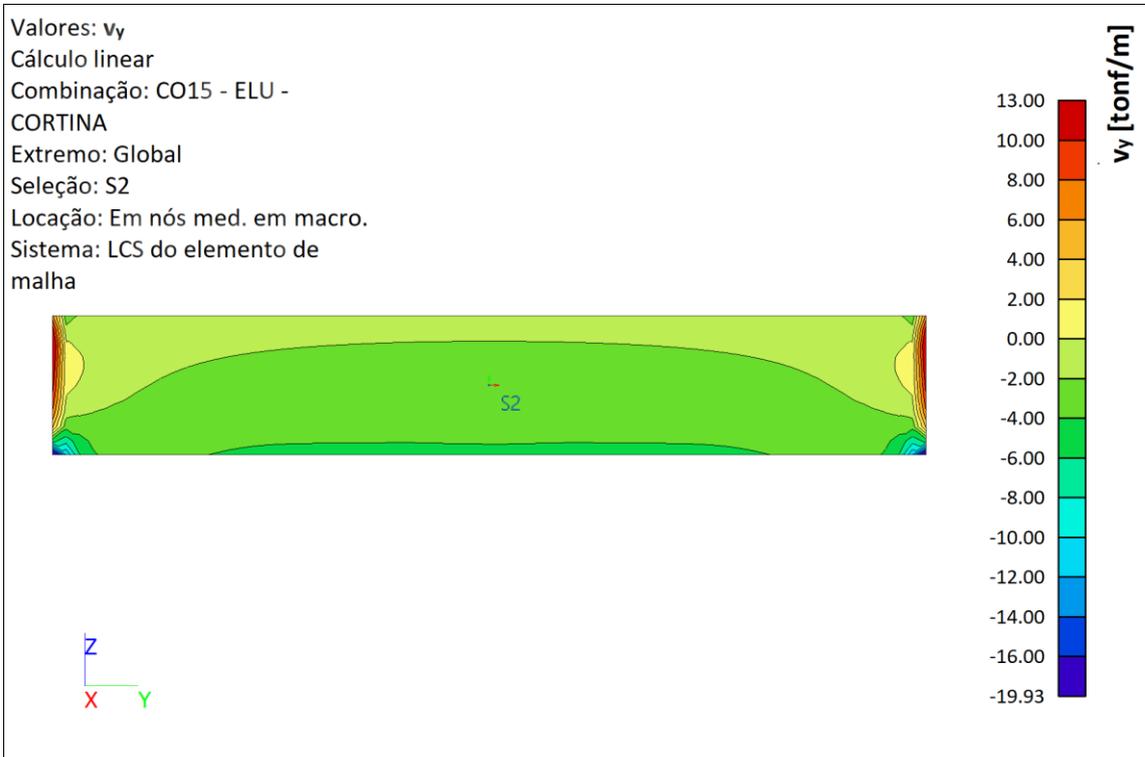
LC1 / Valor tot. - m_y



LC1 / Valor tot. - v_x



LC1 / Valor tot. - v_y



3.1.1.15.2 Verificação ao Estado Limite Último (ELU)

NBR:6118-2014 - 2D - ELU

Combinação: CO15 - ELU - CORTINA

Extremo: Elemento

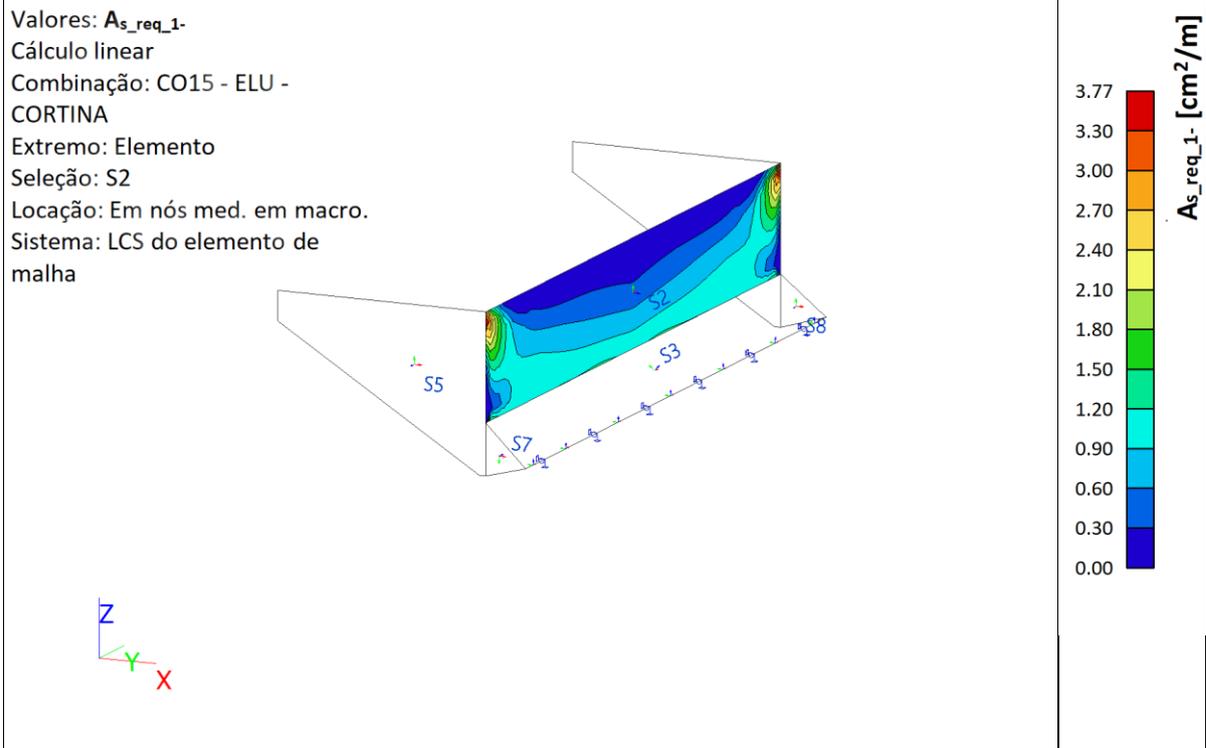
Seleção: S2

Localção: Em nós med. em macro. Sistema: LCS do elemento de malha

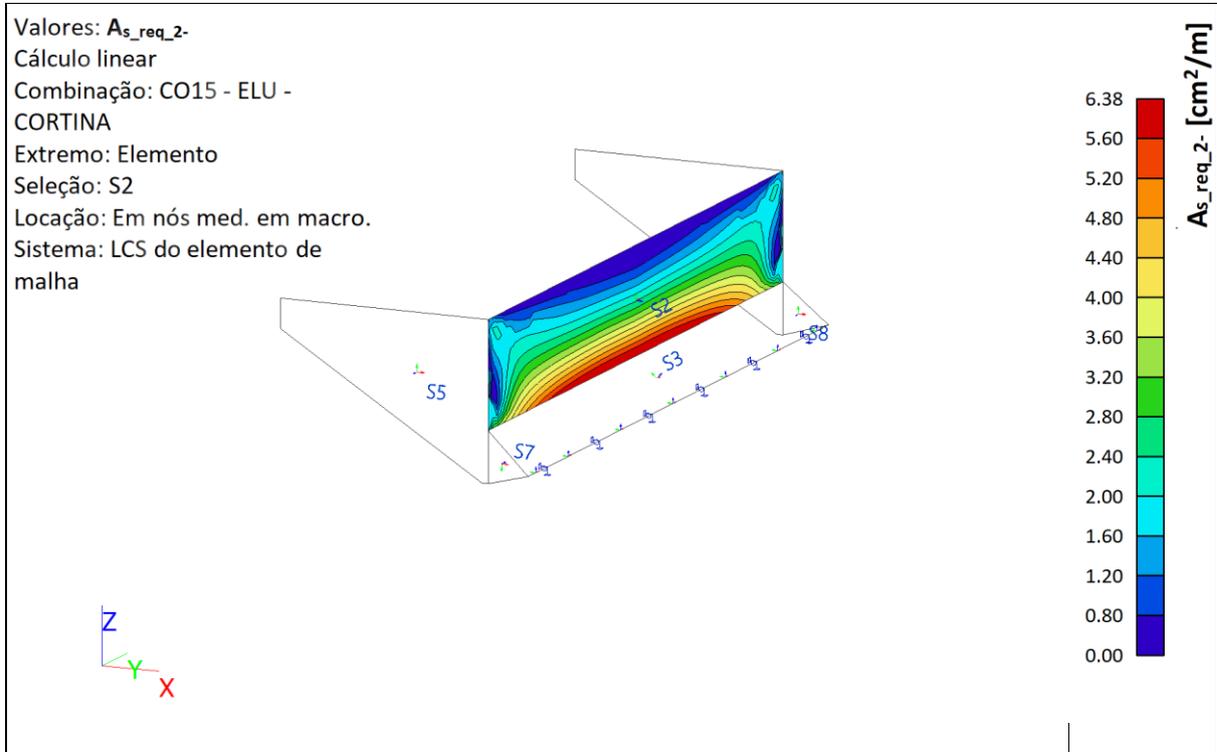
Nome	Malha	Posição [m]	Caso	A _{s_req_1-} [cm ² /m]	A _{s_req_2-} [cm ² /m]	A _{s_req_1+} [cm ² /m]	A _{s_req_2+} [cm ² /m]	A _{sw,x} [cm ² /m]	A _{sw,y} [cm ² /m]
S2	Elemento: 14547 Nó: 14876	-0,400 0,125 -0,095	CO15 - ELU - CORTINA/1	3,77	1,42	0,00	0,00	0,00	0,00
S2	Elemento: 14062 Nó: 14353	-0,400 7,297 -1,965	CO15 - ELU - CORTINA/1	1,20	6,38	0,00	0,00	0,00	0,00
S2	Elemento: 14606 Nó: 14935	-0,400 12,079 -0,095	CO15 - ELU - CORTINA/1	0,45	1,20	2,06	1,27	0,00	0,00
S2	Elemento: 14027 Nó: 14283	-0,400 0,324 -1,757	CO15 - ELU - CORTINA/1	0,11	1,88	0,00	1,88	0,00	0,00
S2	Elemento: 14612 Nó: 14941	-0,400 0,324 0,113	CO15 - ELU - CORTINA/1	1,49	1,16	0,00	0,01	4,23	0,00
S2	Elemento: 14482 Nó: 14810	-0,400 0,125 -0,302	CO15 - ELU - CORTINA/1	2,49	0,97	0,00	0,00	0,00	4,23

Nome	Chave de combinação
CO15 - ELU - CORTINA/1	1.50*LC9.1 + 1.50*LC10.2

LC9 / Valor tot. - A_s_req_1-



LC9 / Valor tot. - A_s_req_2-



LC9 / Valor tot. - A_{s_req_1+}

Valores: A_{s_req_1+}

Cálculo linear

Combinação: CO15 - ELU -

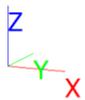
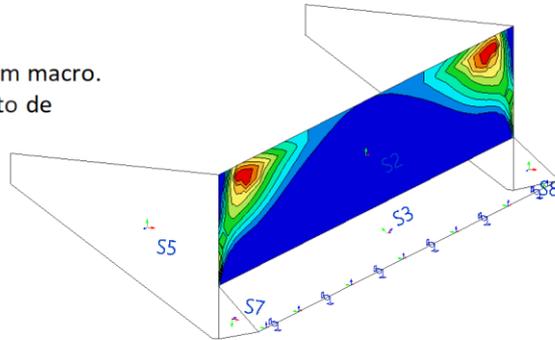
CORTINA

Extremo: Elemento

Seleção: S2

Localção: Em nós med. em macro.

Sistema: LCS do elemento de malha



LC9 / Valor tot. - A_{s_req_2+}

Valores: A_{s_req_2+}

Cálculo linear

Combinação: CO15 - ELU -

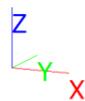
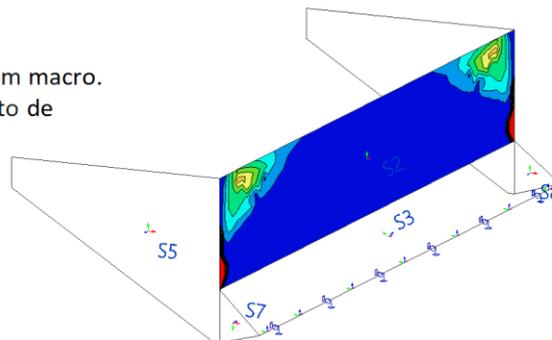
CORTINA

Extremo: Elemento

Seleção: S2

Localção: Em nós med. em macro.

Sistema: LCS do elemento de malha



3.1.1.16 Alas

3.1.1.16.1 Solicitação dos Esforços

Cálculo linear

Combinação: CO16 - ELU - ALAS

Extremo: Elemento

Seleção: S5, S6

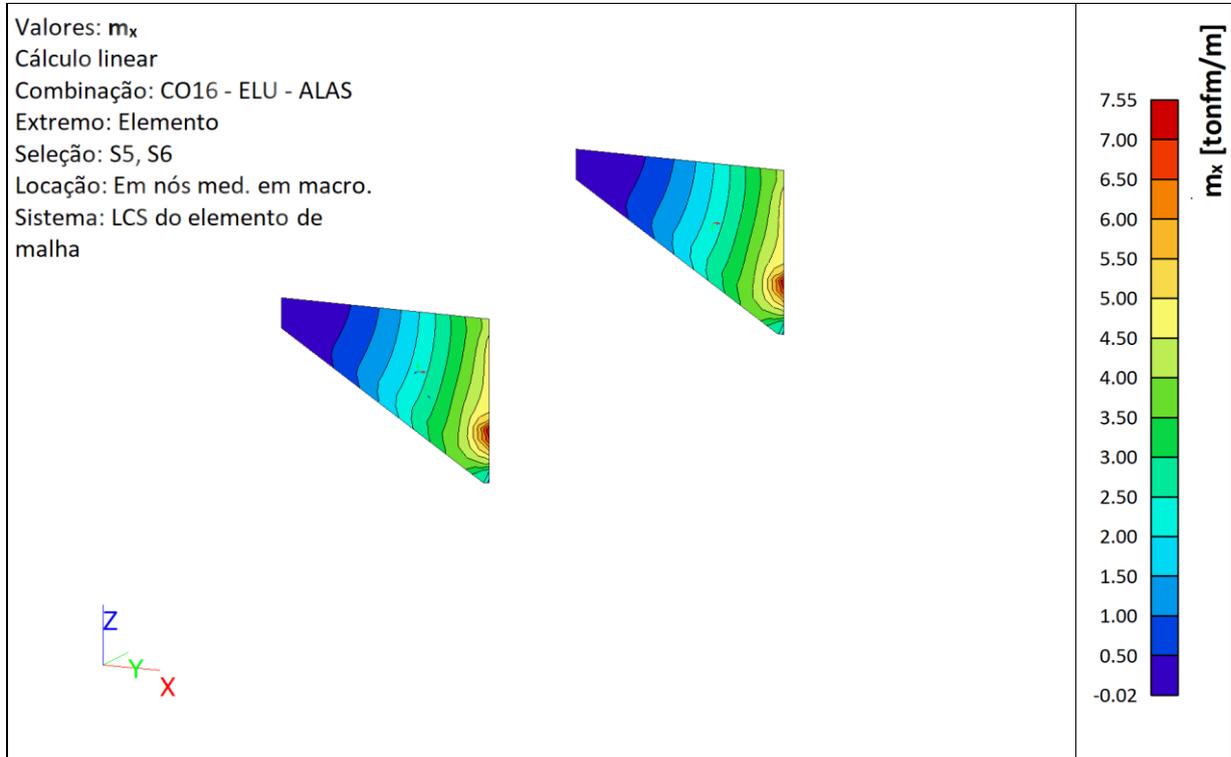
Localção: Em nós med. em macro. Sistema: LCS do elemento de malha

Magnitudes básicas

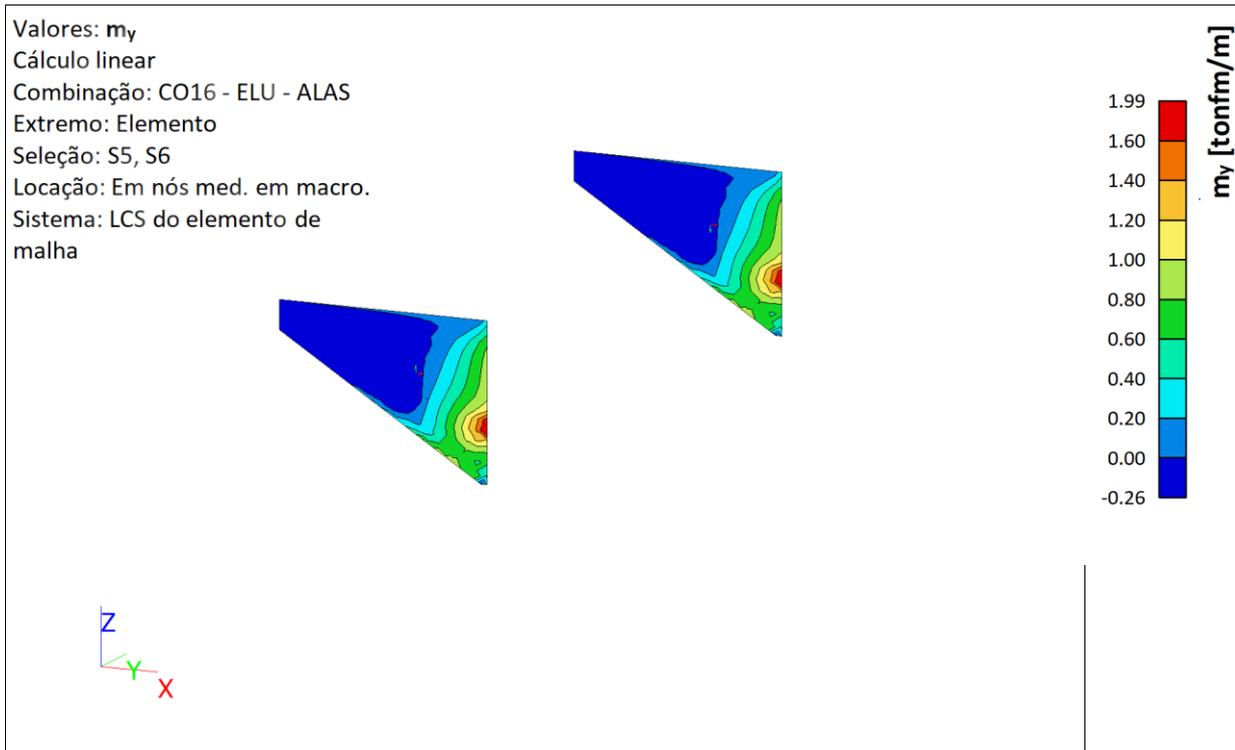
Nome	Malha	Posição [m]	Caso	m_x	v_x
				[tonfm/m]	[tonf/m]
				m_y	v_y
				[tonfm/m]	[tonf/m]
S5	Elemento: 15117 Nó: 188	-4,525 0,125 -0,457	CO16 - ELU - ALAS/1	-0,02 -0,02	0,29 -0,38
S5	Elemento: 15209 Nó: 15591	-2,943 0,125 -0,885	CO16 - ELU - ALAS/1	0,99 -0,26	0,69 -0,41
S5	Elemento: 15099 Nó: 186	-0,400 0,125 -2,957	CO16 - ELU - ALAS/1	1,74 0,25	-6,45 -2,28
S5	Elemento: 15275 Nó: 15434	-1,692 0,125 -2,228	CO16 - ELU - ALAS/1	2,80 0,82	8,43 -5,85
S5	Elemento: 15094 Nó: 173	-0,400 0,125 -1,965	CO16 - ELU - ALAS/1	7,55 1,99	20,18 18,45
S6	Elemento: 15323 Nó: 193	-4,525 13,075 -0,457	CO16 - ELU - ALAS/1	-0,02 -0,02	0,29 0,38
S6	Elemento: 15415 Nó: 15813	-2,943 13,075 -0,885	CO16 - ELU - ALAS/1	0,99 -0,26	0,69 0,41
S6	Elemento: 15305 Nó: 191	-0,400 13,075 -2,957	CO16 - ELU - ALAS/1	1,74 0,25	-6,45 2,28
S6	Elemento: 15300 Nó: 174	-0,400 13,075 -1,965	CO16 - ELU - ALAS/1	7,55 1,99	20,18 -18,45
S6	Elemento: 15481 Nó: 15656	-1,692 13,075 -2,228	CO16 - ELU - ALAS/1	2,80 0,82	8,43 5,85

Nome	Chave de combinação
CO16 - ELU - ALAS/1	1.50*LC10.4

LC9 / Valor tot. - m_x



LC9 / Valor tot. - m_y



LC9 / Valor tot. - v_x

Valores: v_x

Cálculo linear

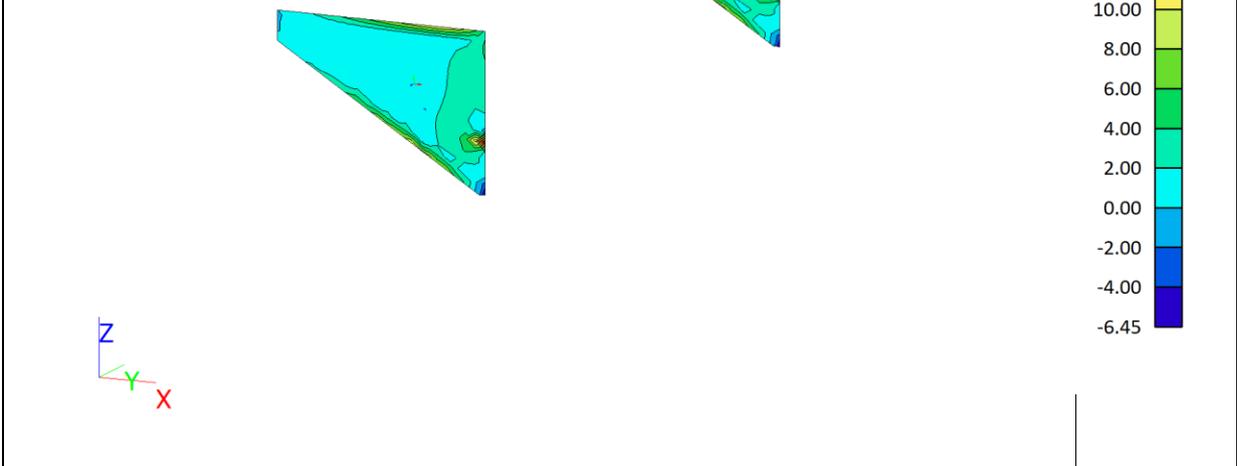
Combinação: CO16 - ELU - ALAS

Extremo: Elemento

Seleção: S5, S6

Localção: Em nós med. em macro.

Sistema: LCS do elemento de malha



LC9 / Valor tot. - v_y

Valores: v_y

Cálculo linear

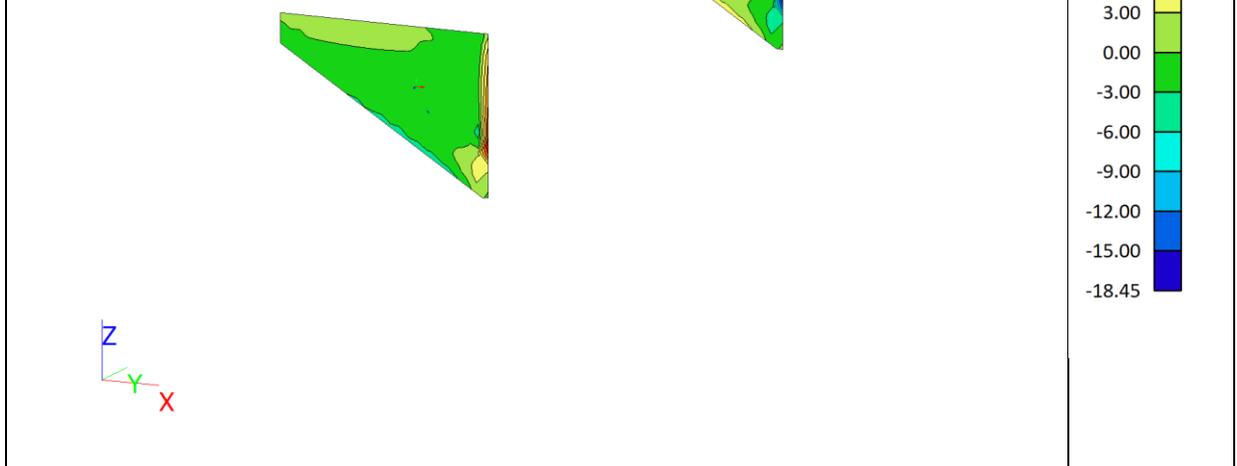
Combinação: CO16 - ELU - ALAS

Extremo: Elemento

Seleção: S5, S6

Localção: Em nós med. em macro.

Sistema: LCS do elemento de malha



3.1.1.16.2 Verificação ao Estado Limite Último (ELU)

Combinação: CO16 - ELU - ALAS

Extremo: Elemento

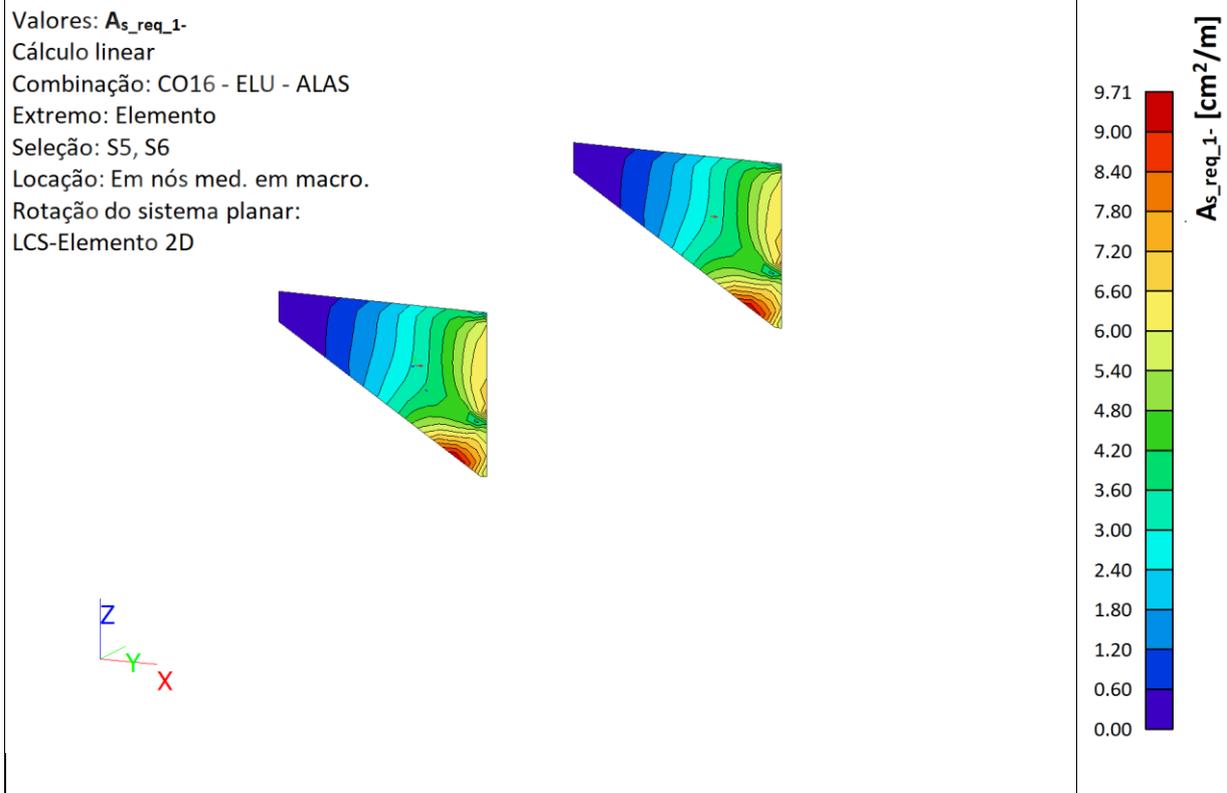
Seleção: S5, S6

Localção: Em nós med. em macro. Rotação do sistema planar: LCS-Elemento 2D

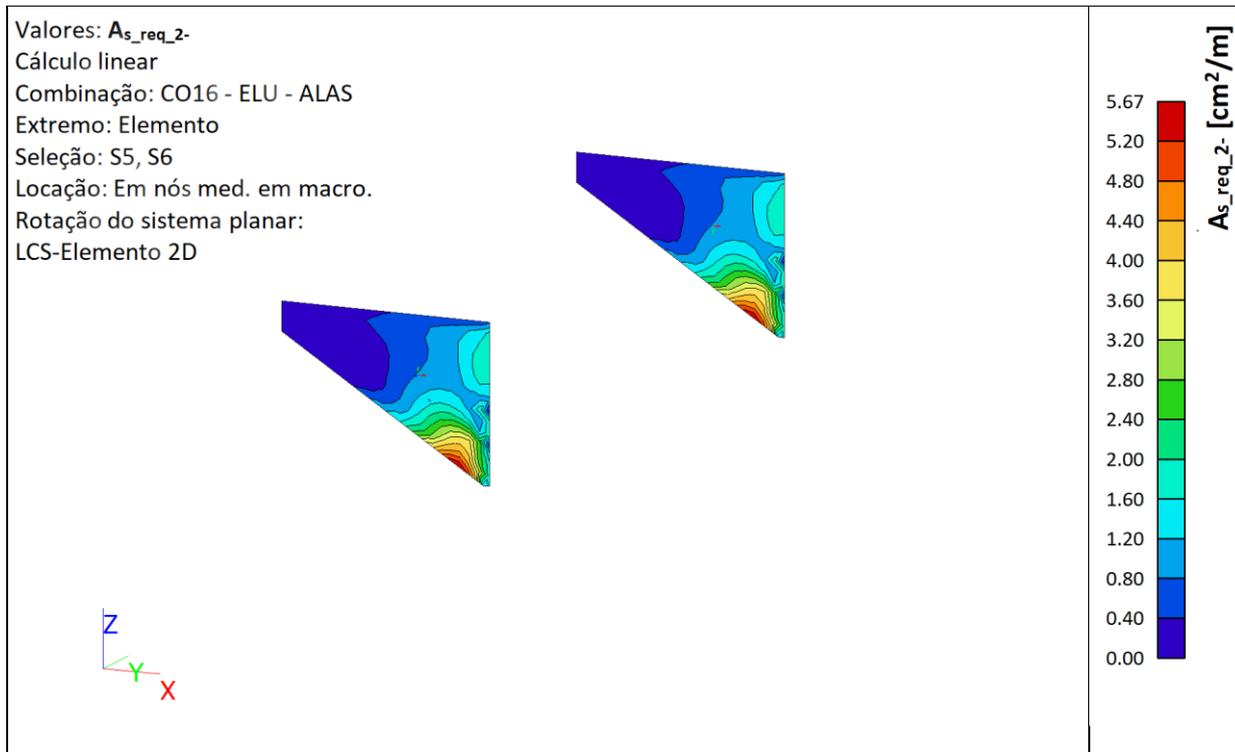
Nome	Malha	Posição [m]	Caso	A _{s_req_1-} [cm ² /m]	A _{s_req_2-} [cm ² /m]	A _{s_req_1+} [cm ² /m]	A _{s_req_2+} [cm ² /m]	A _{sw,x} [cm ² /m]	A _{sw,y} [cm ² /m]
S5	Elemento: 15101 Nó: 15430	-1,025 0,125 -2,644	CO16 - ELU - ALAS/1	9,71	5,67	0,00	0,00	0,00	0,00
S5	Elemento: 15099 Nó: 186	-0,400 0,125 -2,957	CO16 - ELU - ALAS/1	5,96	1,75	0,04	0,00	0,00	0,00
S5	Elemento: 15094 Nó: 173	-0,400 0,125 -1,965	CO16 - ELU - ALAS/1	4,14	1,88	0,00	1,88	0,86	4,23
S6	Elemento: 15307 Nó: 15652	-1,025 13,075 -2,644	CO16 - ELU - ALAS/1	9,71	5,67	0,00	0,00	0,00	0,00
S6	Elemento: 15305 Nó: 191	-0,400 13,075 -2,957	CO16 - ELU - ALAS/1	5,96	1,75	0,04	0,00	0,00	0,00
S6	Elemento: 15300 Nó: 174	-0,400 13,075 -1,965	CO16 - ELU - ALAS/1	4,14	1,88	0,00	1,88	0,86	4,23

Nome	Chave de combinação
CO16 - ELU - ALAS/1	1.50*LC10.4

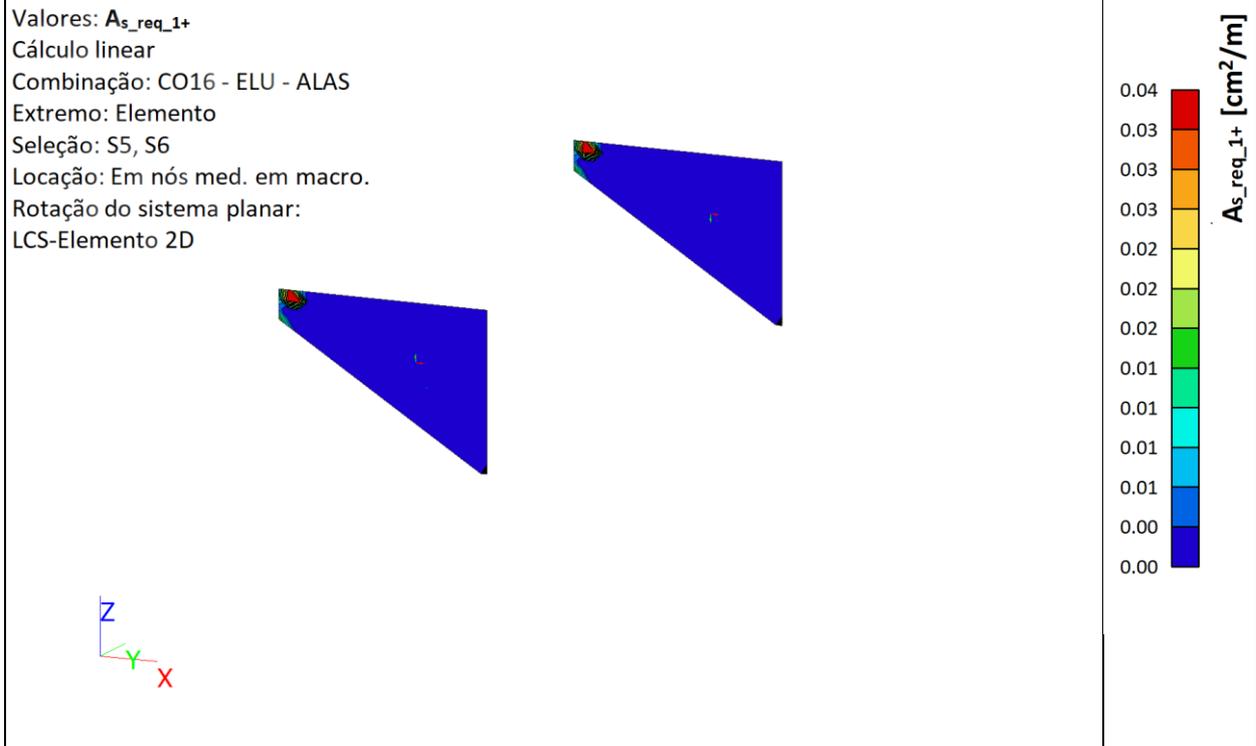
LC9 / Valor tot. - A_s_req_1-



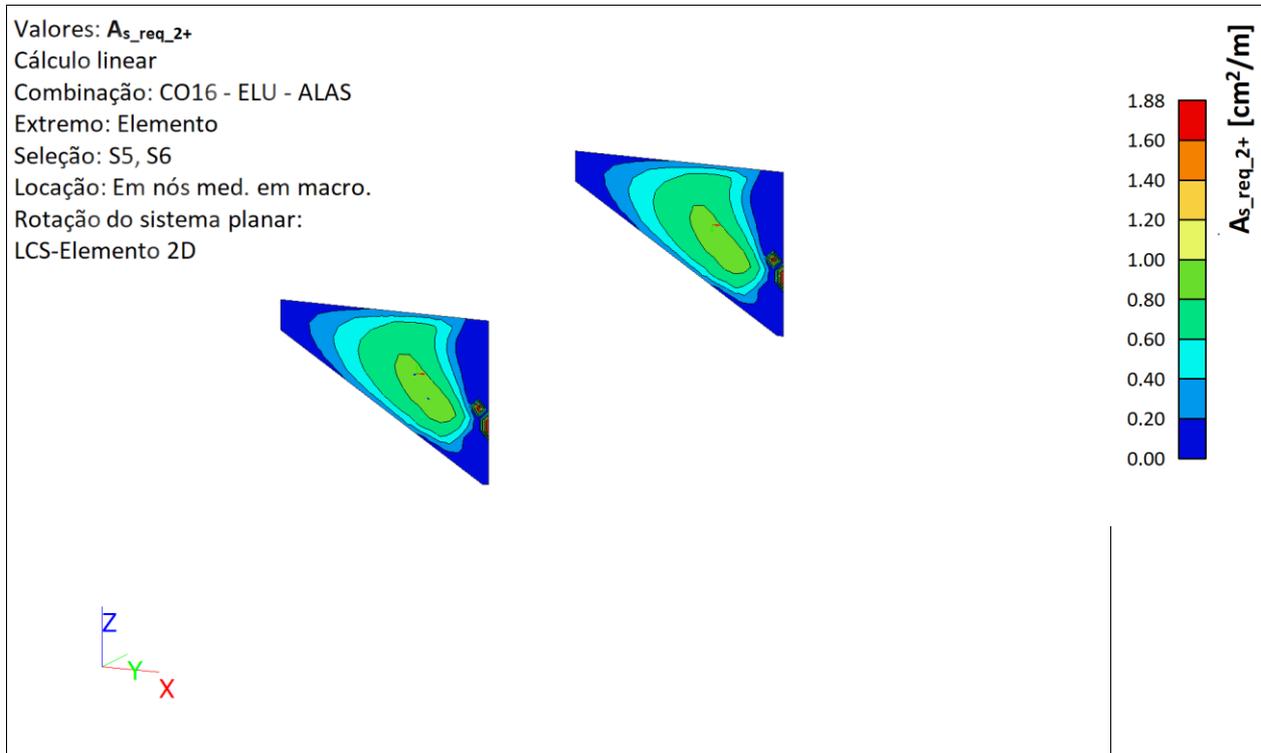
LC9 / Valor tot. - A_s_req_2-



LC9 / Valor tot. - A_{s_req_1+}



LC9 / Valor tot. - A_{s_req_2+}



3.1.1.17 Barreira rígida tipo New Jersey Simples

CÁLCULO DAS BARREIRAS

GEOMETRIA			
h (cm)	b (cm)	d' (cm)	d (cm)
40	224	3	37

PROPRIEDADES - MATERIAIS			
f_{ck} (MPa)	γ_c	f_{yk} (MPa)	γ_s
30	1,4	500	1,15

SOLICITAÇÃO			
F_s (kN)	d (cm)	γ	M_{sd} (kN.m)
100,00	87,00	1,40	121,80

Conforme a NBR 7188:2013: O guarda rodas é dimensionado para uma força horizontal perpendicular à direção do tráfego de 100kN. A ação é aplicada em um comprimento de 50 cm, no topo do elemento, admitindo-se distribuição espacial a 45°.

DIMENSIONAMENTO				
Armaduras Verticais				
$A_{s,calc}$ (cm ²)	$A_{s,min}$ (cm ²)	Armadura adotada		
		ϕ (mm)	Quant./m	$A_{s,adot.}$ (cm ²)
7,77	6,0	12,5	7	8,59

ok!

3.1.1.18 Laje de aproximação

Para o cálculo da laje Aproximação foi considerado a hipótese de que a laje se apoia no solo em 2/3 do seu comprimento.

As cargas permanentes consideradas foram as seguintes:

Peso próprio, calculado automaticamente pelo programa.

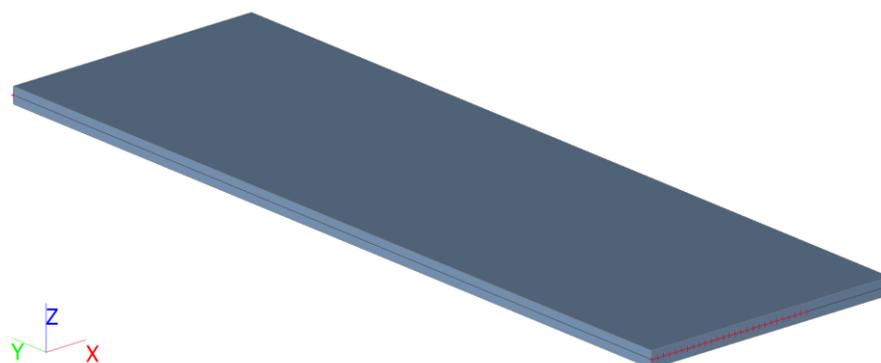
Peso de terra sobre a laje, com altura de 35 cm.

Pavimento asfáltico, com espessura de 7 cm.

Barreiras “New Jersey”, ao longo das bordas laterais.

Cargas Moveis: cargas do veículo de 45Tf mais a de multissão de 0,5 Tf/m².

O solo foi representado por uma Kv de 1500Kn/m



3.1.1.18.1 Esforços Solicitantes

Extremo: Elemento

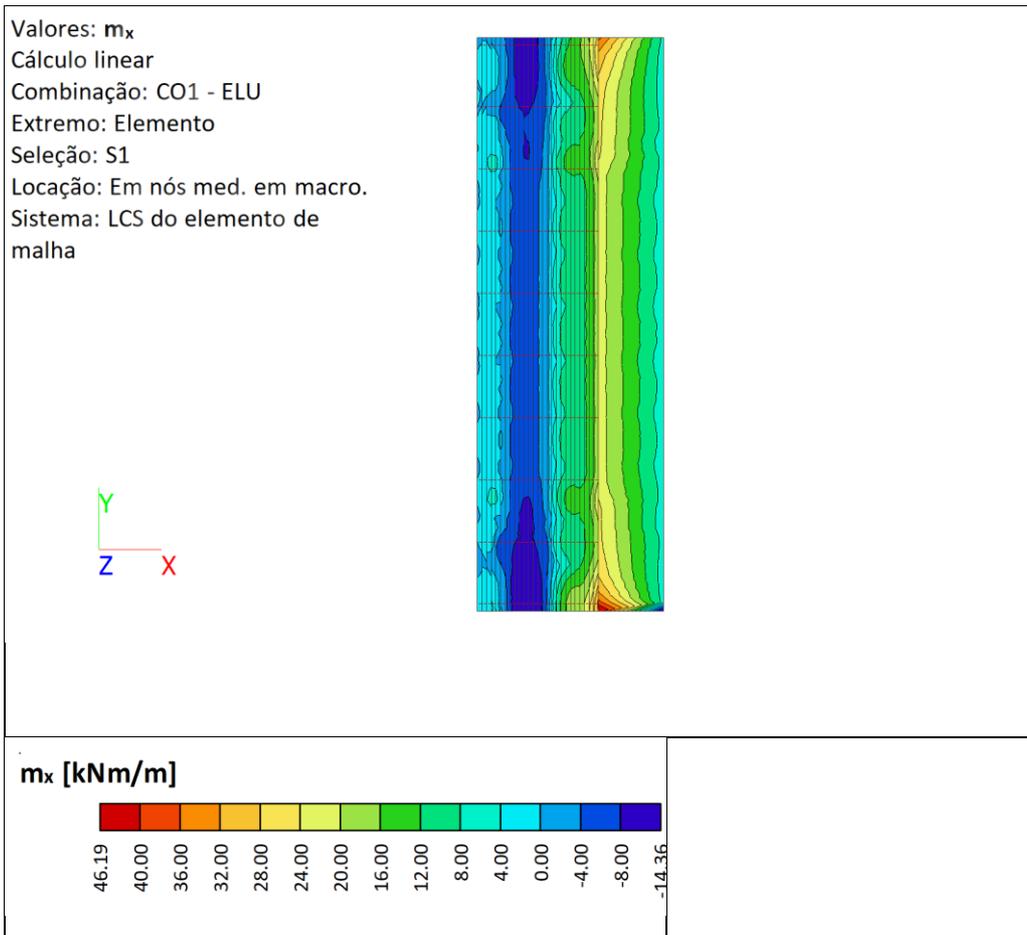
Seleção: S1

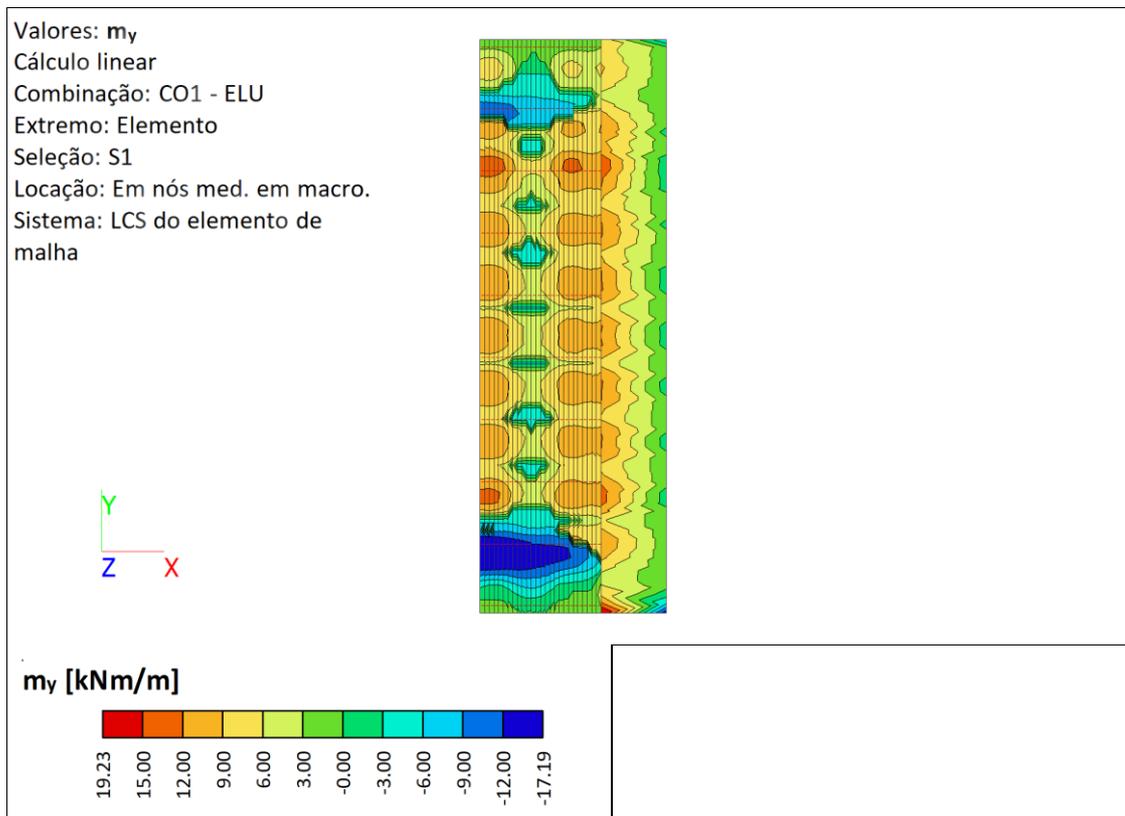
Localção: Em nós med. em macro. Sistema: LCS do elemento de malha

Magnitudes básicas

Nome	Malha	Posição [m]	Caso	m_x [kNm/m] m_y [kNm/m]
S1	Elemento: 559 Nó: 5	1,000 0,600 0,000	CO1 - ELU/1	-14,36 -0,38
S1	Elemento: 68 Nó: 253	0,100 1,800 0,000	CO1 - ELU/1	-0,79 -17,19
S1	Elemento: 1613 Nó: 53	2,600 0,600 0,000	CO1 - ELU/1	46,19 19,23

Nome	Chave de combinação
CO1 - ELU/1	1.35*LC1 + 1.35*LC3 + 1.50*LC6 + 1.50*LC20 + 1.35*LC5 + 1.35*LC4





3.1.1.18.2 Verificação ao Estado Limite Último (ELU)

NBR:6118-2014 - 2D - ELU

Combinação: CO1 - ELU

Extremo: Elemento

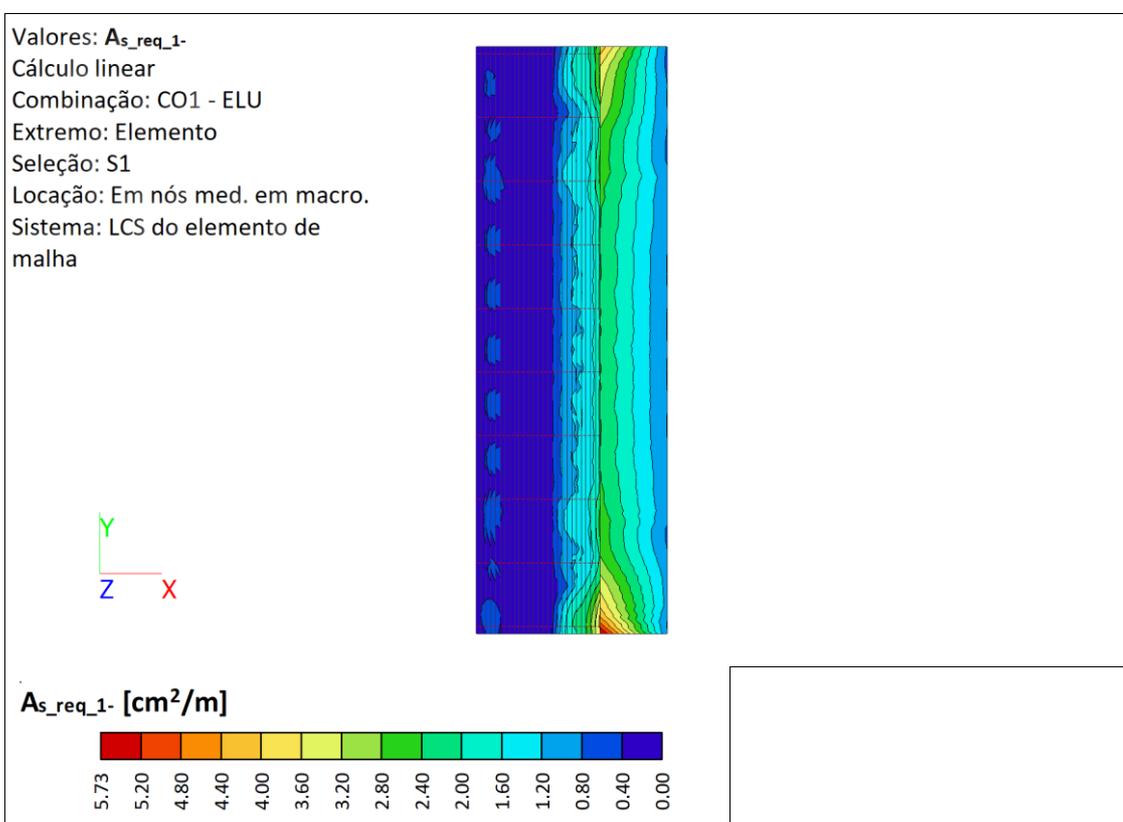
Seleção: S1

Localização: Em nós med. em macro. Sistema: LCS do elemento de malha

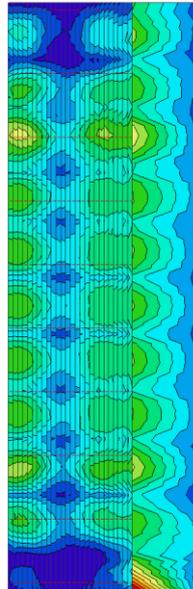
Nome	Malha	Posição [m]	Caso	$A_{s_req_1-}$ [cm ² /m]	$A_{s_req_2-}$ [cm ² /m]	$A_{s_req_1+}$ [cm ² /m]	$A_{s_req_2+}$ [cm ² /m]	$A_{sw,x}$ [cm ² /m]	$A_{sw,y}$ [cm ² /m]
S1	Elemento: 1613 Nó: 53	2,600 0,600 0,000	CO1 - ELU/1	5,73	2,95	0,00	0,00	0,00	0,00
S1	Elemento: 559 Nó: 632	1,000 0,800 0,000	CO1 - ELU/1	0,00	0,00	1,64	0,35	0,00	0,00

Nome	Malha	Posição [m]	Caso	$A_{s_req_1-}$ [cm ² /m]	$A_{s_req_2-}$ [cm ² /m]	$A_{s_req_1+}$ [cm ² /m]	$A_{s_req_2+}$ [cm ² /m]	$A_{sw,x}$ [cm ² /m]	$A_{sw,y}$ [cm ² /m]
S1	Elemento: 68 Nó: 133	0,200 1,800 0,000	CO1 - ELU/2	0,00	0,00	0,35	2,02	0,00	0,00

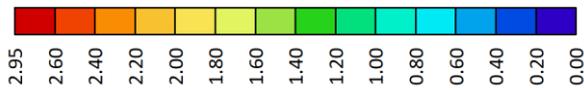
Nome	Chave de combinação
CO1 - ELU/1	1.35*LC1 + 1.35*LC3 + 1.50*LC6 + 1.50*LC20 + 1.35*LC5 + 1.35*LC4
CO1 - ELU/2	1.35*LC1 + 1.35*LC3 + 1.50*LC20 + 1.35*LC5 + 1.35*LC4



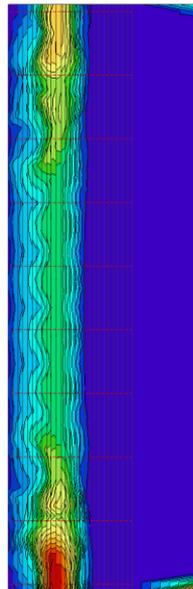
Valores: $A_{s_req_2-}$
 Cálculo linear
 Combinação: CO1 - ELU
 Extremo: Elemento
 Seleção: S1
 Localização: Em nós med. em macro.
 Sistema: LCS do elemento de malha



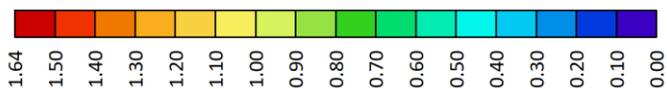
$A_{s_req_2-}$ [cm²/m]

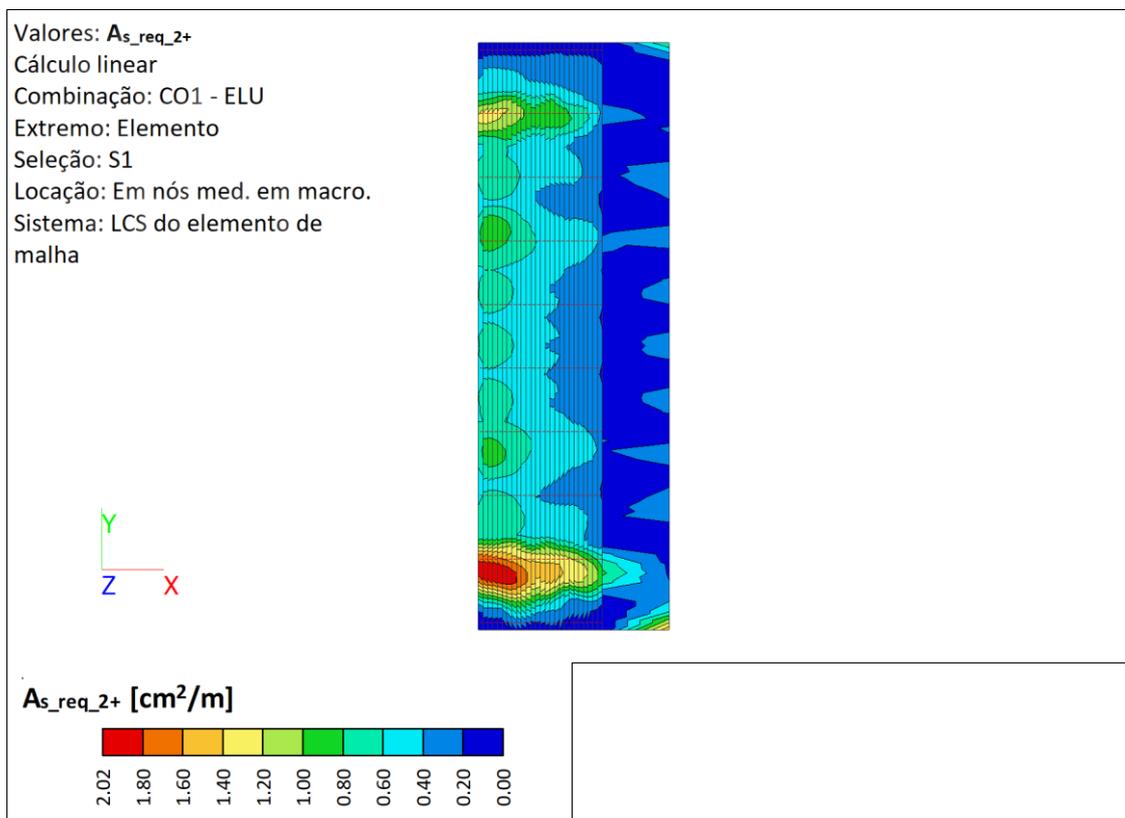


Valores: $A_{s_req_1+}$
 Cálculo linear
 Combinação: CO1 - ELU
 Extremo: Elemento
 Seleção: S1
 Localização: Em nós med. em macro.
 Sistema: LCS do elemento de malha



$A_{s_req_1+}$ [cm²/m]





3.1.1.19 Fundação

3.1.1.19.1 Introdução

Vimos através deste apresentar Memorial de Cálculo e Especificações Técnicas do Projeto Geotécnico – Fundações e Estabilidade de Taludes da OAE-Ponte sobre o rio Apucarantina, situado no km 15 da PR445 – Londrina, PR.

3.1.1.19.2 Documentos De Referência

Para a elaboração do presente projeto os seguintes documentos foram consultados (anexo 01):

- Sondagens Mistas SM-252
- Sondagens Mistas SM-253
- Sondagens Mistas SM-254

- Sondagens Mistas SM-255

3.1.1.19.3 Perfil Geotécnico

3.1.1.19.3.1 Pista Esquerda – Encontro 1

Caracterizada pela sondagem SM-252, sendo que a cota do furo é ~735,3 m.

Ocorre camada inicial de 3,9 m de argila siltosa, vermelha, muito mole a mole, seguida por 1,5 m de argila arenosa, marrom acinzentada, média a dura.

Após estes solos ocorre pacote com aproximadamente 10,5 m de solo saprolítico ou rocha extremamente alterada. O RQD obtido variou de 0 a 23% e o Nspt, executado no solo, entre 39 e 30/8.

Subjacente a este pacote mais intemperizado, ocorre basalto com RQD entre 14 e 98% até o limite da sondagem (19,8 m).

Não foi observado o nível d'água.

3.1.1.19.3.2 Pista Esquerda – Encontro 2

Caracterizada pela sondagem SM-254, sendo que a cota do furo é ~735,0 m.

Ocorre camada inicial de 3,0 m de argila siltosa, vermelha, média, seguida por 4,7 m de argila siltosa, média a dura com matações.

Após estes solos ocorre basalto com RQD entre 60 e 97%.

Não foi observado o nível d'água.

3.1.1.19.3.3 Pista Direita – Encontro 1

Caracterizada pela sondagem SM-253, sendo que a cota do furo é ~733,0 m.

Ocorre camada inicial de 3,0 m de argila siltosa, vermelha, mole, seguida por 2,0 m de arenito extremamente alterado.

Após estes solos ocorre basalto com RQD entre 87 e 100% (A3/A1).

Não foi observado o nível d'água.

3.1.1.19.3.4 Pista Direita – Encontro 2

Caracterizada pela sondagem SM-255, sendo que a cota do furo é ~733,5 m.

Ocorre camada inicial de 1,6 m de argila siltosa, vermelha, mole, seguida por 1,6 m de areia fofa.

Após estes solos ocorre basalto com RQD entre 8 e 98%.

Não foi observado o nível d'água.

3.1.1.19.4 Análise Estabilidade – Seção Longitudinal

3.1.1.19.4.1 Parâmetros Geomecânicos

Para o material de aterro foram utilizados os parâmetros conservativos de solos brasileiros propostos por Marques, Ehrlich e Riccio (2006), obtidos a partir da análise dos resultados de ensaios apresentados por Maiolino (1985) e Melo (1986).

Dessa forma, considerando material CH e grau de compactação mínimo de 95% tem-se coesão de 25 kPa, ângulo de atrito de 25° e densidade de 1,7.

Analisando as sondagens, tem-se, em média, uma camada de 3,0 m de argila mole com $N_{spt} \sim 3$. Para este material foi empregada a coesão não drenada de 30 kPa (Teixeira e Godoy, 1996) e densidade de 1,5 (Godoy, 1972).

Abaixo da argila ocorre rocha (arenito ou basalto).

3.1.1.19.4.2 Sobrecarga

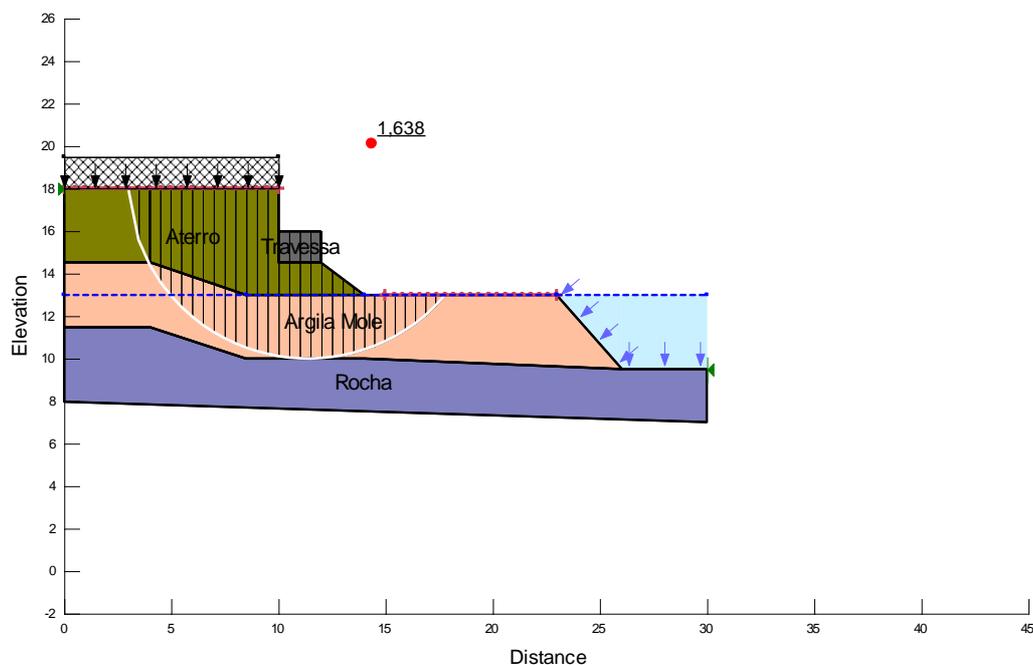
Para a sobrecarga de utilização foi adotada a carga média distribuída no trem tipo TB-450, ou seja, média entre 25 (450 kN em 18 m²) e 5 kPa (carga circundante).

3.1.1.19.4.3 Análise de Estabilidade

As análises de estabilidade global foram processadas em *software* específico (Geoslope) através do critério do equilíbrio limite, método de Bishop.

Foi processada análise da seção longitudinal da pista direita – encontro 1, devido ser a com geometria mais desfavorável.

O fator de segurança obtido foi superior a 1,5, acima do preconizado em norma. A seguir é apresentado o *print-out* da análise processada.



3.1.1.19.5 Projeto De Fundações – Considerações Gerais

3.1.1.19.5.1 Análise de Alternativas

Para essa estrutura, devido a presença de rocha muito próxima da superfície, das cargas envolvidas e da logística de execução da obra, a solução técnica mais viável é através de estacas raiz com embutimento em rocha.

A solução em estacão não atenderia o custo e a logística de obra.

Já a solução em tubulões foi descartada pela escavação em rocha e a necessidade de ser com ar comprimido, o que, por motivos de segurança e agilidade não é recomendável.

3.1.1.19.5.2 Estacas Raiz – Dimensionamento Geotécnico

3.1.1.19.5.2.1 Carga Admissível à Compressão - ELU

Para o dimensionamento das fundações em estaca raiz embutidas em solo saprolítico e/ou rocha extremamente alterada (A4) foram utilizados os métodos de Teixeira (1996) e Brasfond (1991), os quais utilizam correlações semi-empíricas com o SPT.

Foi adotado Fator de Segurança Global igual a 2 no somatório das resistências de ponta e atrito lateral, conforme item 6.2.1.2.1 da NBR 6122/19.

Já para as estacas embutidas em rocha muito alterada (A3) a sã (A0), foi adotado o método de Cabral e Antunes (2000), o qual utiliza correlações com a resistência a compressão simples da rocha. Neste método foi utilizado o fator de segurança igual a 3, conforme os autores.

a) Método Teixeira

A capacidade de carga (R) da estaca é dada por:

$$R = \alpha N_p A_p + \beta N_l U L$$

Onde:

α e β → fatores em função do tipo de estaca e do tipo de solo;

N_p → valor médio do Nspt da ponta (considerados os valores 4 diâmetros acima e 1 diâmetro abaixo e Nspt máximo de 40);

A_p → área da ponta;

N_l → valor médio do Nspt ao longo do fuste;

U → perímetro;

L → comprimento.

A tabela abaixo apresenta os valores de α , segundo Teixeira (1996) para estacas raiz.

Tipo de Solo	α (tf/m ²)
Argila siltosa (CM)	10
Silte argiloso (MC)	11
Argila arenosa (CS)	14
Silte arenoso (MS)	16
Areia argilosa (SC)	19
Areia siltosa (SM)	22
Areia (S)	26
Areia c/ pedregulhos (SG)	29

O valor de β é de 0,6 tf/m² para todos os tipos de solos.

Para o cálculo do atrito lateral foi adotado também o limite de Nspt 40.

Para a rocha extremamente alterada (A4) foi adotado como sendo o solo encontrado, mas arenoso(a).

a) Método Brasfond (1991)

Semelhante ao método de Teixeira, a capacidade de carga (R) da estaca é dada por:

$$R = \alpha N_p A_p + \beta N_l U L$$

Onde:

α e β → fatores em função do tipo de estaca e do tipo de solo;

N_p → valor médio do Nspt da ponta (considerados os valores 4 diâmetros acima e 1 diâmetro abaixo e Nspt máximo de 40);

A_p → área da ponta;

N_l → valor médio do Nspt ao longo do fuste;

U → perímetro;

L → comprimento.

A tabela abaixo apresenta os valores de α , segundo o método Brasfond (1991) para estacas raiz.

Tipo de Solo	α (tf/m ²)
Argila siltosa (CM)	8
Silte argiloso (MC)	10
Argila arenosa (CS)	12
Silte arenoso (MS)	15
Areia argilosa (SC)	18
Areia siltosa (SM)	21
Areia (S)	27
Areia c/ pedregulhos (SG)	30

O valor de β é de 0,5 tf/m² para todos os tipos de solos.

Para o cálculo do atrito lateral foi adotado também o limite de Nspt 40.

Para a rocha extremamente alterada (A4) foi adotado como sendo o solo encontrado, mas arenoso(a).

b) Método Cabral e Antunes (2000)

A capacidade de carga (R) da estaca é dada por:

$$R = \sigma_p A_p + \sigma_l U L$$

$$\sigma_p = \sigma_c \beta_p$$

$$\sigma_l = 0,035 \sigma_p$$

Onde:

σ_p → resistência de ponta (limitado a 40% do fck)

σ_c → resistência a compressão da rocha

σ_l → atrito lateral (limitado a fck/15 ou 1,33 MPa)

β_p → coeficiente de correção;

A_p → área da ponta;

N_l → valor médio do N_{spt} ao longo do fuste;

U → perímetro;

L → comprimento.

A tabela abaixo apresenta os valores de β_p , segundo o método Cabral e Antunes (2000) para estacas embutidas em rocha.

Tipo de Rocha	β_p	
	Variação	Média
Muito Alterada (A3)	0,07 a 0,13	0,1
Alterada (A2)	0,24 a 0,36	0,3
Pouco alterada a sã (A1 A0)	0,48 a 0,60	0,54

Já na tabela a seguir são apresentados os valores sugeridos para a resistência a compressão da rocha.

Tipo de Rocha	σ_c (MPa)
Rochas ígneas e metamórficas (basaltos, gnaisses e granitos)	70 a 250
Rochas metamórficas foliadas (ardósias e xistos)	40 a 90
Rochas sedimentares bem cimentadas (arenitos, calcários e siltitos)	30 a 80

3.1.1.19.5.2.2 Recalques Admissíveis - ELS

Para a estimativa de recalques das estacas embutidas em solo e/ou rocha extremamente alterada, foi considerada a distribuição das cargas ao longo do fuste, utilizando o método de Teixeira e que o atrito de cada camada é esgotado antes de transferir para a camada subjacente.

Dessa forma foi empregada a Lei de Hooke para a estimativa do encurtamento elástico e adotado módulo de elasticidade do concreto igual a 21 GPa.

Para a estimativa dos recalques das camadas de solo foi empregada o método proposto por Vesic (1975) e Aoki (1984).

Os módulos de deformabilidade do solo (E_s) foram estimados com base na correlação com o N_{spt} , sendo que para estacas escavadas o valor de E_s é:

- Argila siltosa $\rightarrow E_s = 3 \times 0,22 \times N_{spt}$ (MPa);
- Saprolito/rocha A4 $\rightarrow E_s = 3 \times 1 \times N_{spt}$ (MPa).

Já para as estacas embutidas em rocha muito alterada a sã, devido a grande rigidez desses materiais, foram considerados somente o encurtamento elástico com a distribuição de resistência obtida pelo método Cabral e Antunes.

3.1.1.19.5.2.3 Esforços Horizontais

Da análise das sondagens, o material de menor rigidez/resistência é constituído por argila mole. Para este material, o módulo de reação horizontal do solo (K_h) é crescente linearmente com a profundidade, segundo o coeficiente de reação horizontal (n_h).

Como as estacas terão o seu topo engastado (fixo) no bloco, o cálculo do deslocamento será realizado pelo Método de Matlock e Reese (1956, 1960 e 1961). Já a determinação do momento máximo será através do Método de Duncan, Evans e Ooi (1994) e a distribuição ao longo da profundidade com o emprego do Método de Matlock e Reese.

Para a verificação da capacidade geotécnica, foi empregado o método de Hansen (1961).

- a) Método Matlock e Reese (1956, 1960 e 1961)

Este método foi desenvolvido para solos com crescimento linear do módulo de reação horizontal do solo.

Calcula-se:

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}}$$
$$y = C_y \frac{HT^3}{EI}$$

Onde:

H: esforço horizontal no topo da estaca;

T: comprimento característico

n_h : coeficiente de reação horizontal do solo;

E: Módulo de deformação da estaca;

I: momento de inércia de área da estaca

y: deslocamento;

C_y : coeficiente para cálculo de deslocamento (-0,923 para topo engastado)

a) Método de Duncan, Evans e Ooi (1994)

O método desenvolvido por Duncan et al. é resultado da aplicação das curvas p-y a inúmeros casos e, com o emprego de variáveis adimensionais, tornou possível representar uma ampla gama de condições reais por meio de relações.

Obtêm-se a força característica (H_c) e o momento característico M_c através das seguintes formulações para estacas circulares maciças:

Para argila:

$$H_c = 7,34 D^2 E \left(\frac{Su}{E} \right)^{0,68}$$
$$M_c = 3,86 D^2 E \left(\frac{Su}{E} \right)^{0,46}$$

Para areia:

$$H_c = 1,57 D^2 E \left(\frac{\gamma' D \phi' K_p}{E} \right)^{0,57}$$

$$M_c = 1,33D^2E \left(\frac{\gamma' D \phi' K_p}{E} \right)^{0,40}$$

Onde:

H_c: esforço horizontal característico;

M_c: momento característico;

D: diâmetro da estaca;

E: módulo de elasticidade do material da estaca;

S_u: coesão não drenada;

γ': peso específico efetivo da areia;

φ': ângulo de atrito efetivo da areia;

K_p: coeficiente de empuxo passivo (Rankine)

Os parâmetros geomecânicos (S_u, γ' e φ') deverão ser calculados numa profundidade igual a 8D à partir da superfície do terreno (cota de arrasamento).

Estes parâmetros foram obtidos através de correlações com N_{spt}, sendo para S_u através de Teixeira e Godoy (1996), φ' por Teixeira (1996) e γ' por Godoy (1972).

Para o cálculo do momento máximo foram empregadas as curvas entre H/H_c e M_{máx}/M_c, sendo os valores indicados na tabela abaixo e H é a força horizontal aplicada na estaca.

M _{máx} /M _c	Argila		Areia	
	Topo Livre H/H _c	Topo fixo H/H _c	Topo Livre H/H _c	Topo fixo H/H _c
0,000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,001	0,0050	0,0041	0,0021	0,0019
0,002	0,0090	0,0078	0,0038	0,0037
0,003	0,0125	0,0112	0,0052	0,0052
0,004	0,0157	0,0144	0,0065	0,0067
0,005	0,0185	0,0175	0,0076	0,0080
0,006	0,0212	0,0204	0,0087	0,0093
0,008	0,0264	0,0258	0,0107	0,0117
0,010	0,0319	0,0308	0,0126	0,0138
0,015	0,0432	0,0419	0,0168	0,0186

Para a determinação da posição do momento máximo, bem como a distribuição ao longo da profundidade foram utilizados os coeficientes do método de Matlock e Reese.

b) Método de Hansen (1961)

Método baseado na teoria de empuxo de terra. No presente projeto foi empregado para se obter o empuxo passivo disponível e compará-lo com a carga horizontal a ser aplicada. O fator de segurança mínimo adotado foi igual a 2 (adotado com base na NBR6122/19 por analogia, visto que não há recomendação específica).

Dessa forma, foi calculado o empuxo passivo na estaca até profundidade de rotação (momento nulo) através da teoria de empuxo de Rankine. Os parâmetros geomecânicos foram obtidos através de correlações com N_{spt} , baseado nos valores referência constantes do manual NC-03/80 do Metrô-SP e γ' por Godoy (1972).

3.1.1.19.5.3 Estacas Raiz – Dimensionamento Estrutural

As estacas da OAE trabalharão à flexo-compressão. Dessa forma, o dimensionamento foi através dos métodos consagrados de concreto armado para pilar, utilizando *software* específico Pcalc1.4 da TQS.

O f_{ck} máximo a ser adotado nos cálculos de projeto é de 20 MPa e os fatores de segurança parciais e de majoração dos esforços foram os preconizados no item 8.6 da NBR6122/19, ou seja:

- γ_c : 1,6;
- γ_s : 1,15;
- γ_f : 1,4;

Também foi verificada a taxa máxima de armadura de 6% para que o dimensionamento pudesse considerar a resistência do aço e da argamassa.

Para o esforço de cisalhamento foi empregado roteiro de cálculo apresentado no livro Dimensionamento de Fundações Profundas de Urbano Rodrigues Alonso (Editora Edgard Blücher, 1989), o qual é transcrito abaixo.

$$\begin{aligned}\tau_{wd} &= \frac{Q_d}{a^2} \\ \tau_c &= \Psi_1 \sqrt{f_{ck}} \\ \Psi_1 &= 0,07 (\rho \leq 0,001) \\ \Psi_1 &= 5 (\rho - 0,001) + 0,07 (0,001 < \rho \leq 0,015) \\ \Psi_1 &= 0,14 (\rho > 0,015) \\ \tau_d &= 1,15 \tau_{wd} - \tau_c \\ A_s &= \frac{100}{f_{yd}} a \tau_d \\ A_{sw,min} &= 0,2 \frac{0,3 f_{ck}^{2/3}}{f_{yk}} b_w 100\end{aligned}$$

Onde,

$\tau_{wd} \leq 0,25 f_{cd}$ ou 4,5 MPa;

Q_d : Cortante de cálculo;

a : lado do quadrado circunscrito à estaca;

ρ : taxa de armadura longitudinal tracionada;

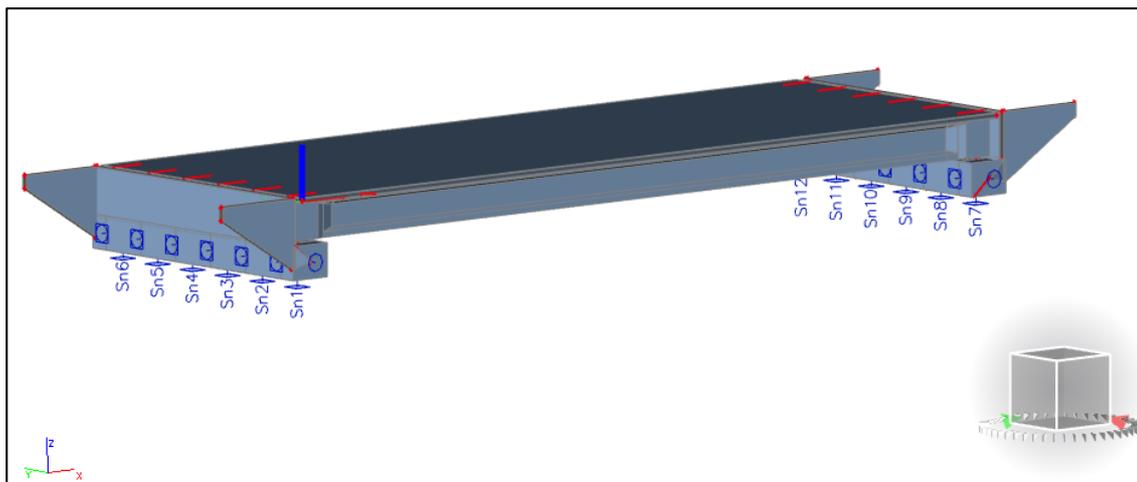
A_s : armadura transversal

$A_{sw,min}$: armadura transversal mínima (cm²/m)

3.1.1.19.6 Carregamentos

3.1.1.19.6.1 Carregamentos Estrutura

Com base na tabela de esforços fornecida pela Progressus e transcrita abaixo, foram calculadas as cargas máxima e mínima verticais e máxima horizontal para cinco hipóteses de carregamento.



RESULTADOS DAS COMBINAÇÕES RARAS					
APOIO SN1					
	Rx (L) [tonf]	Ry (T) [tonf]	Rz (N) [tonf]	Mx (T) [tonfm]	My (L) [tonfm]
MÁX Rx (-)	-10,88	-0,06	127,24	-2,09	0,00
MÁX Rx (+)	5,14	1,73	97,61	-0,75	0,00
MÁX Ry (-)	-0,78	-2,11	108,05	2,67	0,00
MÁX Ry (+)	-8,75	3,96	107,94	-5,64	0,00
MÁX Rz (-)	-1,29	-0,59	69,00	1,36	0,00
MÁX Rz (+)	-8,12	2,13	165,26	-4,08	0,00
MÁX Mx (-)	-8,75	3,96	107,94	-5,64	0,00
MÁX Mx (+)	-0,78	-2,11	108,05	2,67	0,00
MÁX My (-)	5,14	1,73	97,61	-0,75	0,00
MÁX My (+)	5,14	1,73	97,61	-0,75	0,00

RESULTADOS DAS COMBINAÇÕES RARAS					
APOIO SN2					
	Rx (L) [tonf]	Ry (T) [tonf]	Rz (N) [tonf]	Mx (T) [tonfm]	My (L) [tonfm]
MÁX Rx (-)	-6,08	1,19	109,45	1,37	0,00
MÁX Rx (+)	3,83	-0,45	143,23	-1,90	0,00
MÁX Ry (-)	-1,65	-3,74	104,58	0,97	0,00
MÁX Ry (+)	-4,00	4,63	144,12	-1,61	0,00
MÁX Rz (-)	-5,33	0,82	101,64	1,70	0,00
MÁX Rz (+)	3,13	-0,21	157,68	-2,10	0,00
MÁX Mx (-)	3,05	0,08	147,09	-2,35	0,00
MÁX Mx (+)	-5,60	0,81	101,75	1,71	0,00
MÁX My (-)	3,83	-0,45	143,23	-1,90	0,00
MÁX My (+)	3,83	-0,45	143,23	-1,90	0,00

RESULTADOS DAS COMBINAÇÕES RARAS					
APOIO SN3					
	Rx (L) [tonf]	Ry (T) [tonf]	Rz (N) [tonf]	Mx (T) [tonfm]	My (L) [tonfm]
MÁX Rx (-)	-9,13	-0,59	124,79	1,11	0,00
MÁX Rx (+)	3,37	1,74	136,99	-1,49	0,00
MÁX Ry (-)	-1,68	-1,28	107,24	1,14	0,00
MÁX Ry (+)	-7,00	2,45	162,21	-1,58	0,00
MÁX Rz (-)	-1,69	-1,21	97,92	1,09	0,00
MÁX Rz (+)	3,08	1,71	164,01	-1,45	0,00
MÁX Mx (-)	3,08	1,87	162,25	-1,59	0,00
MÁX Mx (+)	-9,09	-0,66	101,39	1,17	0,00
MÁX My (-)	3,37	1,74	136,99	-1,49	0,00
MÁX My (+)	3,37	1,74	136,99	-1,49	0,00

Obra: OAE rio Apucarantina

Cargas: Simétrica

Altura Travessa: 1,5 m

Qtde Estacas: 6

Lx (m) 1,3

Hipótese	1	2	3	4	5	Máximo	Médio
V _{máx} (tf)	70,4	74,4	82,4	49,0	71,0	82,4	69,4
V _{min} (tf)	50,1	63,7	79,9	40,5	68,1	40,5	60,5
H (tf)	4,3	3,8	0,7	1,4	1,1	4,3	2,3

Hipótese: 1 - Máximo Horizontal Módulo Long

Apoio	SN1	SN2	SN3	Total
Rx (tf)	-10,88	-6,08	-9,13	-26
Ry (tf)	-0,06	1,19	-0,59	1
Rz (tf)	127,24	109,45	124,79	361
Mx (tf)	-2,09	1,37	1,11	0
My (tf)	0	0	0	0
Mx-Rx (tf.m)	16,32	9,12	13,70	39

Qtidade Estacas	6
Lx (m)	1,3
V1 (tf)	70,4
V2 (tf)	50,1
H (tf)	4,3

Hipótese: 2 - Máximo Horizontal Módulo Transv

Apoio	SN1	SN2	SN3	Total
Rx (tf)	-8,75	-4	-7	-20
Ry (tf)	3,96	4,63	2,45	11
Rz (tf)	107,94	144,12	162,21	414
Mx (tf)	-5,64	-1,61	-1,58	-9
My (tf)	0	0	0	0
Mx-Rx (tf.m)	13,13	6	10,50	30

Qtidade Estacas	6
Lx (m)	1,3
V1 (tf)	74,4
V2 (tf)	63,7
H (tf)	3,8

Hipótese: 3 - Máximo Carga Vertical

Apoio	SN1	SN2	SN3	Total
Rx (tf)	-8,12	3,13	3,08	-2
Ry (tf)	2,13	-0,21	1,71	4
Rz (tf)	165,26	157,68	164,01	487
Mx (tf)	-4,08	-2,1	-1,45	-8
My (tf)	0	0	0	0
Mx-Rx (tf.m)	12,18	-4,695	-4,62	3

Qtidade Estacas	6
Lx (m)	1,3
V1 (tf)	79,9
V2 (tf)	82,4
H (tf)	0,7

Hipótese: 4 - Mínima Carga Vertical

Apoio	SN1	SN2	SN3	Total
Rx (tf)	-1,29	-5,33	-1,69	-8
Ry (tf)	-0,59	0,82	-1,21	-1
Rz (tf)	69	101,64	97,92	269
Mx (tf)	1,36	1,7	1,09	4
My (tf)	0	0	0	0
Mx-Rx (tf.m)	1,94	7,995	2,54	12

Qtidade Estacas	6
Lx (m)	1,3
V1 (tf)	49,0
V2 (tf)	40,5
H (tf)	1,4

Hipótese: 5 - Máximo Módulo

Apoio	SN1	SN2	SN3	Total
Rx (tf)	-8,75	3,05	3,08	-3
Ry (tf)	3,96	0,08	1,87	6
Rz (tf)	107,94	147,09	162,25	417
Mx (tf)	-5,64	-2,35	-1,59	-10
My (tf)	0	0	0	0
Mx-Rx (tf.m)	13,13	-4,575	-4,62	4

Qtidade Estacas	6
Lx (m)	1,3
V1 (tf)	68,1
V2 (tf)	71,0
H (tf)	1,1

3.1.1.19.6.2 Atrito Negativo

A camada de argila mole superficial está acima do lençol freático, dessa forma, a mesma foi considerada não saturada e os recalques ocorrerão concomitantes com o aterro.

Dessa forma, não foi considerado a ocorrência de atrito negativo nas estacas.

3.1.1.19.7 Projeto De Fundações

3.1.1.19.7.1 Pista Esquerda – Encontro 1

Obra: OAE rio Apucarantina
 Vmax: 82,4 tf
 Vmin: 40,5 tf
 Vmédio: 65,0 tf
 Hmax: 4,3 tf

Pista: Esquerda
 Encontro: 1
 Sondagem: SM-252
 Cota Sond.: 735,3 m obs.: cotas no centro da travessa
 C Travessa: 737,53 m
 Cota Arras.: 734,03 m

0,0 a 2,6:	argila mole
2,6 a 4,1:	argila média
4,1 a 14,6:	Rocha A4 / Argila
14,6 a :	Basalto A4

Vertical - Método Teixeira, 1996

Tipo: Raiz
 D: 0,3 m
 FS: 2

Lútil* (m)	N _{SPT}	Material	α (tf/m ²)	β (tf/m ²)	ql (tf/m ²)	qp (tf/m ²)	RI (tf)	Rp (tf)	RR (tf)	Radm (tf)
0	40	A4/CS	14	0,6						
1	40	A4/CS	14	0,6	24	560	22,6	39,6	62,2	31,1
2	40	A4/CS	14	0,6	24	560	45,2	39,6	84,8	42,4
3	40	A4/CS	14	0,6	24	560	67,9	39,6	107,4	53,7
4	40	A4/CS	14	0,6	24	560	90,5	39,6	130,1	65,0
5	40	A4/CS	14	0,6	24	560	113,1	39,6	152,7	76,3
6	40	A4/CS	14	0,6	24	560	135,7	39,6	175,3	87,7
7	40	A4/CS								

(*) Lútil: comprimento de embutimento em rocha extremamente alterada

Vertical - Brasfond, 1991

Tipo: Raiz
 D: 0,3 m
 FS: 2

Lútil* (m)	N _{SPT}	Material	α (tf/m ²)	β (tf/m ²)	ql (tf/m ²)	qp (tf/m ²)	RI (tf)	Rp (tf)	RR (tf)	Radm (tf)
0	40	A4/CS	12	0,5						
1	40	A4/CS	12	0,5	20,0	480	18,8	33,9	52,8	26,4
2	40	A4/CS	12	0,5	20,0	480	37,7	33,9	71,6	35,8
3	40	A4/CS	12	0,5	20,0	480	56,5	33,9	90,5	45,2
4	40	A4/CS	12	0,5	20,0	480	75,4	33,9	109,3	54,7
5	40	A4/CS	12	0,5	20,0	480	94,2	33,9	128,2	64,1
6	40	A4/CS	12	0,5	20,0	480	113,1	33,9	147,0	73,5
7	40	A4/CS	12	0,5	20,0	480	131,9	33,9	165,9	82,9
8	40	A4/CS								

(*) Lútil: comprimento de embutimento em rocha extremamente alterada

Por se tratar de estaca embutida em rocha extremamente alterada, os métodos são conservadores, dessa forma, adotou-se o comprimento obtido no método de Teixeira

para a carga máxima (82,4 tf) e foi confirmado o fator de segurança mínimo para este comprimento para a carga média (65 tf) com o método Brasfond.

Dessa forma, o comprimento embutido em saprolito/rocha extremamente alterada A4 deverá ser de 6 m. O fator de segurança obtido no método Brasfond é de 2,26.

Resumo:

- 12 Estacas Raiz para 85 tf
- Espaçamento Longitudinal: embaixo de cada apoio
- Espaçamento Transversal: 1,3 m entre eixo
- Diâmetro em Solo: 410 mm
- Comprimento Útil Estimado em Solo: 4,5 m
- Diâmetro em Rocha: 300 mm
- Comprimento Útil Estimado em Rocha: 6 m
- Comprimento Útil Total Estimado: 10,5 m

A estimativa de recalque para a carga de 85 tf é de:

$W_{s(P_i, j)}$	A
Pa	0,87
We	4,18
Recalque	
Total	5,04

Onde Pa é o recalque do solo (mm) e We o encurtamento elástico (mm). Dessa forma, o coeficiente de recalque vertical é de $1,68 \cdot 10^5$ kN/m

3.1.1.19.7.2 Pista Esquerda – Encontro 2

Obra: OAE rio Apucarantina
 Vmax: 82,4 tf
 Vmin: 40,5 tf
 Vmédio: 65,0 tf
 Hmax: 4,3 tf

Pista: Esquerda
 Encontro: 2
 Sondagem: SM-254
 Cota Sond.: 735,00 m obs.: cotas no centro da travessa
 C Travessa: 737,12 m
 Cota Arras.: 733,62 m

0,0 a 1,6:	argila média
1,6 a 4,6:	argila dura e matacão
4,6 a 6,3:	argila média a dura
6,3 a 12,6:	Basalto

Vertical - Método Cabral e Antunes, 2000

Tipo: Raiz
 D: 0,3 m
 fck: 20 MPa
 FS: 3

Lútil* (m)	Material	β_p	σ_c (MPa)	σ_p (MPa)	σ_l (MPa)	RI (tf)	Rp (tf)	RR (tf)	Radm (tf)
0	A3 Basalto	0,1	150	8					
1	A3 Basalto	0,1	150	8	0,525	49,5	56,5	106,0	35,3
2	A3 Basalto	0,1	150	8	0,525	99,0	56,5	155,5	51,8
3	A3 Basalto	0,1	150	8	0,525	148,4	56,5	205,0	68,3
4	A3 Basalto	0,1	150	8	0,525	197,9	56,5	254,5	84,8
5	A3 Basalto	0,1	150	8	0,525	247,4	56,5	303,9	101,3
6	A3 Basalto	0,1	150	8	0,525	296,9	56,5	353,4	117,8
7	A3 Basalto								

(*) Lútil: comprimento de embutimento em rocha

Resumo:

- 12 Estacas Raiz para 85 tf
- Espaçamento Longitudinal: embaixo de cada apoio
- Espaçamento Transversal: 1,3 m entre eixo
- Diâmetro em Solo: 410 mm
- Comprimento Útil Estimado em Solo: 6,5 m
- Diâmetro em Rocha: 300 mm
- Comprimento Útil Estimado em Rocha: 4 m
- Comprimento Útil Total Estimado: 10,5 m

O recalque estimado é de 2,5 mm, o que representa um coeficiente de recalque vertical de $3,3 \cdot 10^5$ kN/m

3.1.1.19.7.3 Pista Direita – Encontro 1

Obra: OAE rio Apucarantina
 Vmax: 82,4 tf
 Vmin: 40,5 tf
 Vmédio: 65,0 tf
 Hmax: 4,3 tf

Pista: Direita
 Encontro: 1
 Sondagem: SM-253
 Cota Sond.: 733,00 m obs.: cotas no centro da travessa
 C Travessa: 737,54 m
 Cota Arras.: 734,04 m

0,0 a 1,0	aterro
1,0 a 4,0	argila mole
4,0 a 6,0	Arenito - A4
6,0 a 10,2	Basalto - A3/A1

Vertical - Método Cabral e Antunes, 2000

Tipo: Raiz
 D: 0,3 m
 fck: 20 MPa
 FS: 3

Lútil* (m)	Material	βp	σ_c (MPa)	σ_p (MPa)	σ_f (MPa)	RI (tf)	Rp (tf)	RR (tf)	Radm (tf)
0	A4 Arenito	0,07	50	3,5					
1	A4 Arenito	0,07	50	3,5	0,1225	11,5	24,7	36,3	12,1
2	A3 Basalto	0,1	150	8	0,1225	23,1	56,5	79,6	26,5
3,2	A1 Basalto	0,54	150	8	0,525	82,5	56,5	139,0	46,3
4	A1 Basalto	0,54	150	8	1,33	182,7	56,5	239,3	79,8
4,5	A1 Basalto	0,54	150	8	1,33	245,4	56,5	302,0	100,7
6	A1 Basalto	0,54	150	8	1,33	433,4	56,5	490,0	163,3
7	A1 Basalto								

(*) Lútil: comprimento de embutimento em rocha

Resumo:

- 12 Estacas Raiz para 85 tf
- Espaçamento Longitudinal: embaixo de cada apoio
- Espaçamento Transversal: 1,3 m entre eixo
- Diâmetro em Solo: 410 mm
- Comprimento Útil Estimado em Solo: 4,0 m
- Diâmetro em Rocha: 300 mm

- Comprimento Útil Estimado em Rocha: 4,5 m
- Comprimento Útil Total Estimado: 10,5 m

O recalque estimado é de 1,8 mm, o que representa um coeficiente de recalque vertical de $4,6 \cdot 10^5$ kN/m

3.1.1.19.7.4 Pista Direita – Encontro 2

Obra: OAE rio Apucarantina
 Vmax: 82,4 tf
 Vmin: 40,5 tf
 Vmédio: 65,0 tf
 Hmax: 4,3 tf

Pista: Direita
 Encontro: 2
 Sondagem: SM-255
 Cota Sond.: 733,50 m obs.: cotas no centro da travessa
 C Travessa: 737,12 m
 Cota Arras.: 733,62 m

0,0 a 1,6:	argila mole
1,6 a 3,2:	areia fofa
3,2 a 4,9:	Basalto - A3
4,9 a 7,9:	Basalto - A3

Vertical - Método Cabral e Antunes, 2000

Tipo: Raiz
 D: 0,3 m
 fck: 20 MPa
 FS: 3

Lútil* (m)	Material	β_p	σ_c (MPa)	σ_p (MPa)	σ_f (MPa)	RI (tf)	Rp (tf)	RR (tf)	Radm (tf)
0	A3 Basalto	0,1	150	8					
1	A3 Basalto	0,1	150	8	0,525	49,5	56,5	106,0	35,3
1,7	A3 Basalto	0,1	150	8	0,525	84,1	56,5	140,7	46,9
3	A3 Basalto	0,1	150	8	0,525	148,4	56,5	205,0	68,3
4	A3 Basalto	0,1	150	8	0,525	197,9	56,5	254,5	84,8
5	A3 Basalto	0,1	150	8	0,525	247,4	56,5	303,9	101,3
6	A3 Basalto	0,1	150	8	0,525	296,9	56,5	353,4	117,8
7	A3 Basalto								

(*) Lútil: comprimento de embutimento em rocha

Resumo:

- 12 Estacas Raiz para 85 tf
- Espaçamento Longitudinal: embaixo de cada apoio

- Espaçamento Transversal: 1,3 m entre eixo
- Diâmetro em Solo: 410 mm
- Comprimento Útil Estimado em Solo: 3,5 m
- Diâmetro em Rocha: 300 mm
- Comprimento Útil Estimado em Rocha: 4,5 m
- Comprimento Útil Total Estimado: 7,5 m

O recalque estimado é de 1,7 mm, o que representa um coeficiente de recalque vertical de $4,9 \cdot 10^5$ kN/m

3.1.1.19.7.5 Esforço Horizontal

Para o dimensionamento do esforço horizontal foi adotado o pior cenário geotécnico, caracterizado pelo perfil da sondagem SM-252, ou seja, argila mole com $N_{spt} \sim 3$.

Foram obtidos os deslocamentos e momentos fletores para o maior esforço horizontal e para a carga horizontal que atuará com a maior carga vertical. Dessa forma:

Horizontal Deslocamento - Matlock e Reese

Ho 7,0 kN
Mo 0 kN.m
 n_h 0,8 MN/m³
d 0,41 m
I 0,001387 m⁴
E 21000 MPa
T 2,1 m
y: 1,9 mm kh: 3651 kN/m

Horizontal Momento Fletor - Duncan, Evans e Ooi

Su: 30 kPa
Hc: 2747 kN
H/Hc: 0,002548
Mc: 11440 kN.m
Mmax/Mc: 0,000616
Mmax: 7 kN.m
zmax: 2,9 m
M_{4,5}: 6 kN.m

Horizontal Ruptura - Hansen

c' 10 kPa
 ϕ 18 °
 γ_{sub} 4 kN/m³
kp: 1,9
h: 4,5 m
FS: 3
Ep: 69 kN ok

Horizontal Deslocamento - Matlock e Reese

Ho 43,5 kN
Mo 0 kN.m
 n_h 0,8 MN/m³
d 0,41 m
I 0,001387 m⁴
E 21000 MPa
T 2,1 m
y: 11,9 mm kh: 3651 kN/m

Horizontal Momento Fletor - Duncan, Evans e Ooi

Su: 30 kPa
Hc: 2747 kN
H/Hc: 0,015834
Mc: 11440 kN.m
Mmax/Mc: 0,0045
Mmax: 51 kN.m
zmax: 2,9 m
M_{4,5}: 42 kN.m

Horizontal Ruptura - Hansen

c' 10 kPa
 ϕ 18 °
 γ_{sub} 4 kN/m³
kp: 1,9
h: 4,5 m
FS: 2
Ep: 83 kN ok

3.1.1.19.8 Dimensionamento Estrutural

O dimensionamento foi realizado para três carregamentos:

- Hipótese 1: Máximo Horizontal com Carga Vertical Máxima correspondente;
- Hipótese 2: Máximo Horizontal com Carga Vertical Mínima correspondente;
- Hipótese 3: Máxima Vertical com Horizontal correspondente.

➤ Seção 41 cm – 6 barras de 25 mm:

Coefficiente de ponderação:
 $\gamma_f = 1.4$

Unidades: [kN, kN.m]

Combinação	Nsk	Msk,x	Msk,y
1	-704	51	0
2	-501	51	0
3	-824	7	0

(N < 0 para compressão)

Seção Transversal Calcular!

Resultados
 Combinação: Comb 1
 Taxa de armadura = 2.98 %
 Concreto: $f_{ck} = 20 \text{ MPa}$

Diagrama de Interação N, Mx, My (FCO)

Esforços

Comb.	Nsd	Msd,x	Msd,y	F.S.
1	-985.6	71.4	0	1.42
2	-701.4	71.4	0	1.62
3	-1153.6	9.8	0	9.47

➤ Seção 30 cm – 6 barras de 25 mm

Coefficiente de ponderação:
 $\gamma_f = 1.4$

Unidades: [kN, kN.m]

Combinação	Nsk	Msk,x	Msk,y
1	-704	42	0
2	-501	42	0
3	-824	6	0

(N < 0 para compressão)

Seção Transversal

Resultados

Combinação: Comb 1

Taxa de armadura = 4.17 %

Concreto: fck = 20 MPa

Diagrama de Interação N, Mx, My (FCO)

Esforços

Comb.	Nsd	Msd,x	Msd,y	F.S.
1	-985.6	58.8	0	1.10
2	-701.4	58.8	0	1.31
3	-1153.6	8.4	0	6.77

Transversal – Seção 41 cm

Q:	43 kN
γ_f :	1,4
Qd:	60,2 kN
d:	35,5 cm
a:	25,1 cm
fck:	20 MPa
γ_c :	1,6
τ_{wd} :	0,10 kN/cm ²
ρ :	0,00%
Ψ_1 :	0,070
τ_c :	0,031 kN/cm ²
τ_d :	0,079 kN/cm ²
Asw:	4,53 cm ² /m
rsw:	0,46%
rsw,min:	0,09%
Asw:	4,53 cm ² /m
ϕ :	6,3 mm
@:	10 cm
Asw:	6,23 cm ² /m

Resumo: 6 barras de 25 mm CA50 e estribo 6,3 mm a cada 10 cm – recobrimento de 5 cm.

3.1.1.19.9 Resumo Do Projeto

3.1.1.19.9.1 Geometria

Pista Esquerda – Encontro 1

- 12 Estacas Raiz para 85 tf
- Espaçamento Longitudinal: embaixo de cada apoio
- Espaçamento Transversal: 1,3 m entre eixo
- Diâmetro em Solo: 410 mm
- Comprimento Útil Estimado em Solo: 4,5 m
- Diâmetro em Rocha: 300 mm
- Comprimento Útil Estimado em Rocha: 6 m
- Comprimento Útil Total Estimado: 10,5 m

Pista Esquerda – Encontro 2:

- 12 Estacas Raiz para 85 tf
- Espaçamento Longitudinal: embaixo de cada apoio
- Espaçamento Transversal: 1,3 m entre eixo
- Diâmetro em Solo: 410 mm
- Comprimento Útil Estimado em Solo: 6,5 m
- Diâmetro em Rocha: 300 mm
- Comprimento Útil Estimado em Rocha: 4 m
- Comprimento Útil Total Estimado: 10,5 m

Pista Direita – Encontro 1:

- 12 Estacas Raiz para 85 tf
- Espaçamento Longitudinal: embaixo de cada apoio
- Espaçamento Transversal: 1,3 m entre eixo
- Diâmetro em Solo: 410 mm
- Comprimento Útil Estimado em Solo: 4,0 m
- Diâmetro em Rocha: 300 mm
- Comprimento Útil Estimado em Rocha: 4,5 m
- Comprimento Útil Total Estimado: 10,5 m

Pista Direita – Encontro 2:

- 12 Estacas Raiz para 85 tf
- Espaçamento Longitudinal: embaixo de cada apoio
- Espaçamento Transversal: 1,3 m entre eixo
- Diâmetro em Solo: 410 mm
- Comprimento Útil Estimado em Solo: 3,5 m
- Diâmetro em Rocha: 300 mm
- Comprimento Útil Estimado em Rocha: 4,0 m
- Comprimento Útil Total Estimado: 7,5 m

3.1.1.19.9.2 Armadura

Armadura: 6 barras de 25 mm CA50 e estribo 6,3 mm a cada 10 cm – recobrimento de 5 cm.

3.1.1.19.9.3 Especificações Técnicas

Para a correta execução das estacas, devem ser seguidas as seguintes especificações técnicas, além da norma NBR6122/19:

- 1) O estaqueamento deverá ser acompanhado por engenheiro consultor especialista a fim de confirmar comprimentos e garantir a qualidade das fundações.
- 2) No final do estaqueamento, deverão ser verificadas as posições reais das estacas, em seus respectivos níveis de arrasamento, para avaliações das excentricidades e introdução de eventuais reforços. Sem verificação, será tolerado um desvio de até 10% do diâmetro da estaca em relação à sua posição de projeto.
- 3) Deverá ser utilizada argamassa com fck mínimo de 20 MPa, consumo mínimo de cimento de 600 kg/m³; relação A/C de 0,5 a 0,6 e agregado areia.
- 4) A perfuração deverá ser realizada por meio da rotação de revestimento com o emprego de perfuratriz rotativa ou rotopercussiva com o uso de circulação direta de água injetada com pressão. Ao se encontrar o topo rochoso, deverá ser empregado martelo de fundo.
- 5) O furo deverá ser limpo com a utilização da composição de lavagem, com a posterior descida da armadura que deverá ser apoiada no fundo.
- 6) O furo deverá ser preenchido com a argamassa através de tubo posicionado na ponta da estaca (injeção de baixo para cima até a expulsão de toda a água de circulação).
- 7) Após o preenchimento do furo o revestimento deverá ser extraído, devendo, a cada 1,5 m de revestimento retirado, colocar cabeça de injeção e aplicar pressão de 2 kgf/cm² (ar comprimido ou bomba de injeção de argamassa) e completar o nível de argamassa.
- 8) Não se poderá executar estacas com espaçamento inferior a 1,5 m em intervalo de 12 horas.

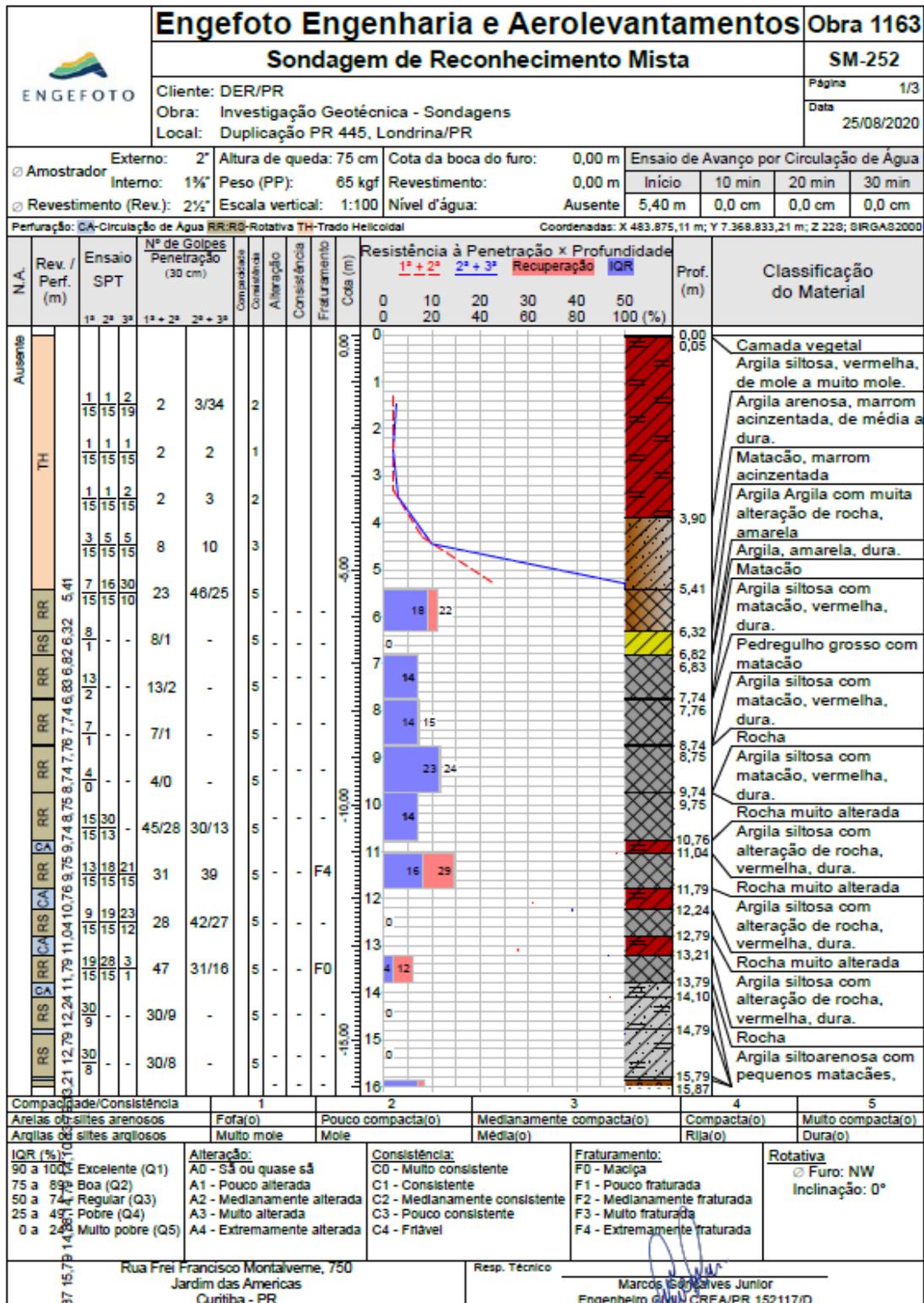
- 9) As estacas deverão ser executadas com um excesso de concreto de pelo menos 50 cm em relação a cota de arrasamento, entretanto, é indispensável que o desbastamento do excesso de concreto seja levado até se atingir concreto de boa qualidade, ainda que isto venha a ocorrer abaixo da cota de arrasamento.
- 10) O arrasamento das estacas deverá ser feito com ponteiro ou martelete leve (potência < 1000 W) em posição horizontal ou inclinado de baixo para cima. Em hipótese alguma o arrasamento poderá ser com rompedor hidráulico, ponteiro ou martelete na posição vertical. Caso a armadura das estacas seja danificada durante este processo, a projetista deverá ser comunicada.
- 11) Recomenda-se que sejam executados ensaios de integridade (PIT) em todas as estacas da obra.
- 12) Deverá ser realizada prova de carga estática até 170 tf em uma das estacas da obra para atendimento do item 9.2.2.1 da NBR6122/19. A prova de carga estática poderá ser substituída por cinco ensaios de carregamento dinâmico.

3.1.1.19.10 Considerações Finais

As estimativas de capacidade de carga das estacas foram através de métodos semi-empíricos baseados no SPT ou nas descrições da rocha e consagrados no meio técnico. O fator de segurança mínimo observado foi de 2 em concordância com a NBR6122/19 ou o sugerido pelo autor do método.

3.1.1.19.11 Anexo 01

✓ SM-252



CONFORME NBR 6484:2001/NER 6502:1995; NBR 6502:1995; NBR 13441:1995

✓ SM-255

ENGEFOTO		Engefoto Engenharia e Aerolevantamentos										Obra 1163								
ENGEFOTO		Sondagem de Reconhecimento Mista										SM-255								
Cliente: ENGEFOTO		Página 1/3										Data 09/10/2020								
Obra: Investigação Geotécnica - Sondagens		Data 10/10/2020																		
Local: Duplicação PR 445 - Obra 1163, Londrina/PR																				
Perfuração: CA-Circulação de Água RR-Rotativa TH-Trado Helicoideal		Coordenadas: X 483.921,29 m; Y 7.368.866,00 m; Z 225; SIRGAS2000																		
N.A.	Rev. / Perf. (m)	Ensaio SPT			Nº de Golpes Penetração (30 cm)		Compacidade	Alteração	Consistência	Fraturamento	Resistência à Penetração × Profundidade					Prof. (m)	Classificação do Material			
		1ª	2ª	3ª	1ª + 2ª	2ª + 3ª					Recuperação	IQR	0	10	20			30	40	50
					1ª + 2ª	2ª + 3ª	Rec. %	IQR												
Ausente	TH	2/15	3/15	2/15	5	5			2										0,00	Camada vegetal
																			0,05	Argila siltosa com pedregulho
																			0,90	Argila siltosa, marrom amarelada, mole.
																			1,75	Areia argilosa, cinza, de fofa a muito compacta.
	RR	1/15	1/15	30/5	2	31/20	5												3,35	Basalto
		4,01	4,00	3,35															4,00	Pedregulho
																			4,01	Basalto
	RR																		5,01	Basalto
																			6,54	Basalto
																			8,04	LIMITE DE SONDAAGEM: 8,04 m
		Compacidade/Consistência			1		2		3		4		5							
		Areias ou siltes arenosos			Fofa(o)		Pouco compacta(o)		Medianamente compacta(o)		Compacta(o)		Muito compacta(o)							
		Argilas ou siltes argilosos			Muito mole		Mole		Média(o)		Rija(o)		Dura(o)							
		IQR (%):			Alteração:		Consistência:		Fraturamento:		Rotativa									
		90 a 100 - Excelente (Q1)			A0 - Sã ou quase sã		C0 - Muito consistente		F0 - Maciça		⊗ Furo: NW									
		75 a 89 - Boa (Q2)			A1 - Pouco alterada		C1 - Consistente		F1 - Pouco fraturada		Inclinação: 0°									
		50 a 74 - Regular (Q3)			A2 - Medianamente alterada		C2 - Medianamente consistente		F2 - Medianamente fraturada											
		25 a 49 - Pobre (Q4)			A3 - Muito alterada		C3 - Pouco consistente		F3 - Muito fraturada											
		0 a 24 - Muito pobre (Q5)			A4 - Extremamente alterada		C4 - Friável		F4 - Extremamente fraturada											
Rua Frei Francisco Montalveme, 750 Jardim das Americas Curitiba - PR										Resp. Técnico Marcos Gonçalves Junior Engenheiro Civil - CREA/PR 152117/D										

CONFORME NBR 1454-2001/NBR 6502:1995; NBR 6502:1995; NBR 13441:1995