

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

PROJETO DE ENGENHARIA PARA
DUPLICAÇÃO DA RODOVIA PR-323
km 299+624 ao km 304+113

LOCAL: **UMUARAMA/PR**
TRECHO: **km 299+624 AO km 304+113**
FASE: **PROJETO EXECUTIVO**
EXTENSÃO: **4,489 km**

VOLUME 3D
MEMÓRIA DE CÁLCULO DE ESTRUTURAS- TOMO I
DISPOSITIVO 30B



OUTUBRO / 2020

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

PROJETO DE ENGENHARIA PARA
DUPLICAÇÃO DA RODOVIA PR-323
km 299+624 ao km 304+113

LOCAL: UMUARAMA/PR
TRECHO: km 299+624 AO km 304+113
FASE: PROJETO EXECUTIVO
EXTENSÃO: 4,489 km

VOLUME 3D
MEMÓRIA DE CÁLCULO DE ESTRUTURAS- TOMO I
DISPOSITIVO 30B

Revisão	Data	Descrição
00	13/04/2016	Emissão inicial
01	16/05/2018	Atualização de projeto
02	02/09/2020	Atualização de edição
03	16/10/2020	Atendimento a comentários

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	2
2. MAPA DE SITUAÇÃO	3
3. DESCRIÇÃO DAS OBRAS.....	4
4. MEMÓRIA DE CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO.....	6
4.1 CARGAS ACIDENTAIS.....	6
4.2 MATERIAIS.....	6
4.3 PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO	7
4.3.1 Vigamento da Superestrutura	7
4.3.2 Cargas	7
4.3.3 Esforços.....	7
4.3.4 Dimensionamento	8
4.3.5 Lajes	9
4.3.6 Cálculo Da Superestrutura.....	9
4.3.7 Cálculo das Tensões Normais.....	14
4.4 RELAÇÕES DE PROGRAMAS COMPUTACIONAIS.....	17
4.4.1 Programa Linflu1.....	17
4.4.2 Programas Prop5a.....	17
4.4.3 Programa Prottot.....	18
4.4.4 Programa Fret.....	18
4.4.5 Programa FTOOL Desenvolvido Pela PUC-RIO	18
4.4.6 Programa Desenvolvido Pela Empresa de Softwares Nemetschek.....	19
5. DISPOSITIVO 30 B	20
5.1 MEMÓRIA DE CÁLCULO – SUPERESTRUTURA	20
5.1.1 Longarinas	20
5.1.2 Lajes do Balanço.....	34
5.1.3 Lajes do Vão.....	36
5.2 MEMÓRIA DE CÁLCULO – MESOERESTRUTURA E INFRAESTRUTURA	51
5.2.1 Muro de Estacas	51
5.2.2 Tirantes.....	52
6. BIBLIOGRAFIA.....	55
7. NORMAS TÉCNICAS	57
8. ESPECIFICAÇÕES DE SERVIÇOS	58
9. ESPECIFICAÇÕES DE MATERIAIS	59
10. TERMO DE ENCERRAMENTO	60

1. APRESENTAÇÃO

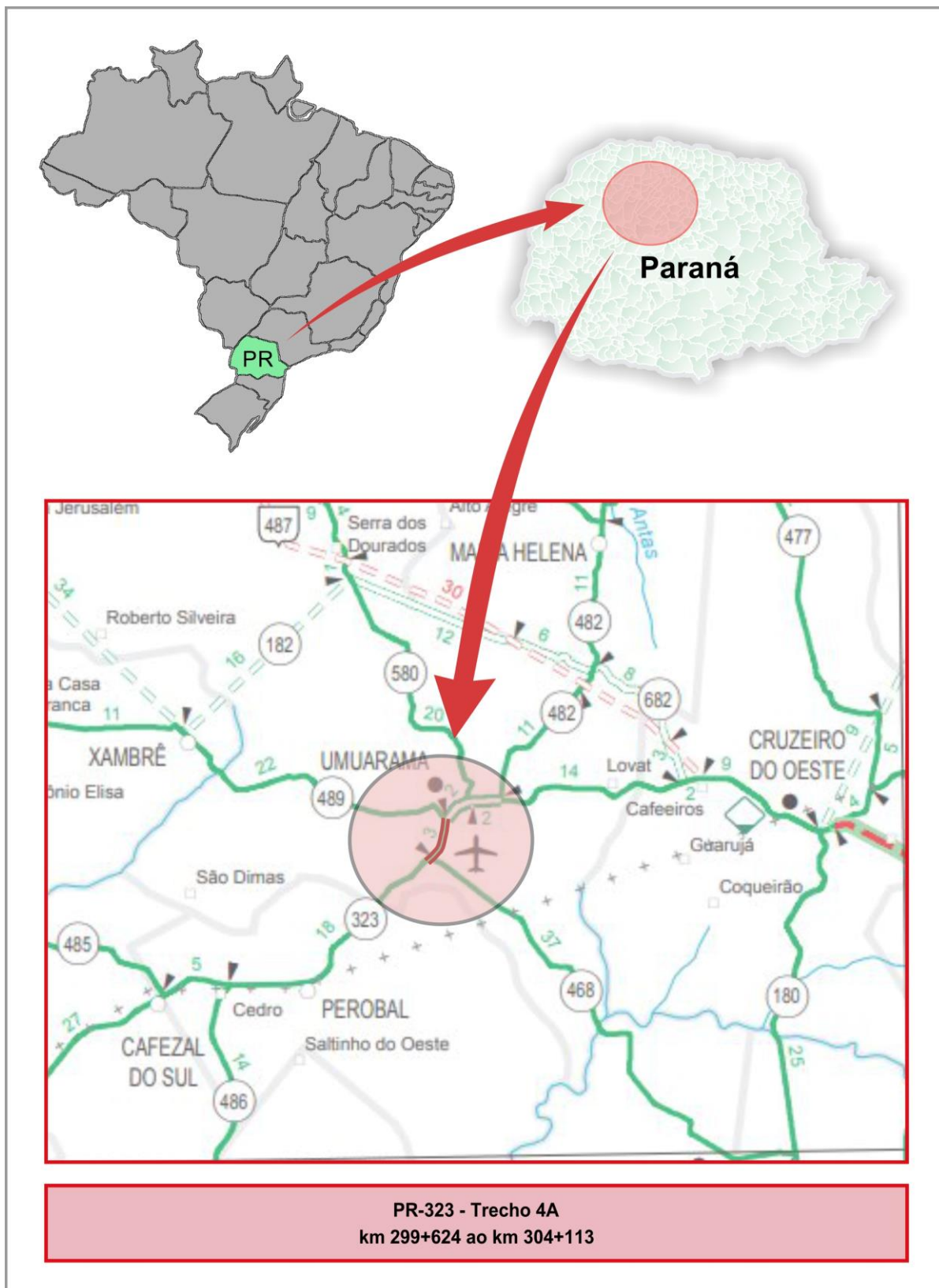
O presente volume tem por objetivo a apresentação do Projeto Executivo para duplicação da rodovia PR-323, através da duplicação da pista existente, implantação de interseção em desnível, implantação de vias marginais, acostamentos, passeios e demais intervenções necessárias no seguinte trecho:

- **Trecho 4 A: Perímetro Urbano de Umuarama, entre o km 299,624 e o km 304,113, (Trevo Gauchão ao Acesso à Mariluz), com extensão de 4,489 km (inclui a revisão da solução do dispositivo 31 e implantação de vias marginais).**

Neste volume, denominado “Volume 3D – Memória de Cálculo de Estruturas- TOMO I” é apresentado o resumo dos estudos e projetos realizados para o Dispositivo 30B.

Os estudos e projetos foram desenvolvidos seguindo o estabelecido nas normas e manuais de DER/PR e normas da ABNT, e quando não contemplados pelos anteriores, foram seguidos normas e manuais do DNIT.

2. MAPA DE SITUAÇÃO



3. DESCRIÇÃO DAS OBRAS

A seguir é apresentado relação dos projetos de Obra de Arte Especial presentes na rodovia PR-323 km. 300.

Dispositivo 30B – Viadutos curvos Início: EST. 15013 Final: EST. 15017

O dispositivo 30 B consiste em dois viadutos curvos de retorno sobre a duplicação da PR 323, apoiados em cortina de estacas atirantada com 97,58 m de comprimento, juntamente com as alas. Cada viaduto possui 27,50 metros de comprimento total, e é composto por um vão com comprimento de 26,00 metros entre eixos de aparelhos de apoio.

A largura total do tabuleiro é de 15,50 metros, e comporta faixas de tráfego totalizando 9,00 metros, faixa de segurança e acostamento variáveis devido à curvatura do viaduto e barreiras em ambas as extremidades com 0,40 metros de largura cada.

A seção transversal da superestrutura é formada por seis longarinas pré-moldadas em concreto protendido. A altura total da superestrutura é de 1,52 metros, que compreende as longarinas pré-moldadas de 1,30 metros de altura na primeira fase e a laje com 0,22 metros de espessura média.

As longarinas pré-moldadas possuem seção transversal em duplo T e são espaçadas entre si 2,58 metros nas pontas e 2,60 m nas vigas do meio, com mesa inferior medindo de 54 centímetros de largura, mesa superior medindo 104 centímetros de largura e alma com 24 centímetros de espessura. Optou-se pela utilização de vigas pré-moldadas pela agilidade na execução, uma vez que serão moldadas em fábrica instalada no trecho, além de garantir um elemento com controle de qualidade diferenciado.

As lajes serão formadas pelo conjunto de pré-lajes pré-moldadas de 8 centímetros de espessura e por uma camada superior de 14 centímetros concretada in loco. A espessura média do conjunto é de 22 centímetros. O conjunto de lajes e pré-lajes se apoia nas longarinas. A laje moldada in loco nos balanços da seção transversal tem comprimento variável 150 cm a zero.

Nas extremidades existem juntas entre a superestrutura e a cortina.

As longarinas são interligadas transversalmente por duas transversinas de concreto armado nas suas extremidades, próximo aos apoios, com dimensão de 0,30 x 1,20 metros.

Nas laterais da superestrutura são instaladas barreiras do tipo New Jersey.

A superestrutura se apoia nas vigas de coroamento da cortina de estacas, que possui seção transversal 1,15 x 1,00 metros, nos trechos dos viadutos a viga de coroamento se une à cortina da obra para formar os encontros de cabeceira.

A infraestrutura da obra consiste em cortinas de estacas nas duas extremidades, com 97,58 m. As estacas são tipo hélice contínua com 60 cm de diâmetro e comprimento variável. A viga de coroamento nos trechos laterais aos viadutos possuem 0,80 x 1,00 m com tirantes espaçados a cada 1,50 m, no trechos das alas os tirantes são espaçados a cada 2,00 metros e a viga de coroamento apresenta seção de 0,80 x 0,50 metros.

Para acabamento e vedação da cortina de estacas executa-se uma cortina inferior de concreto armado com 13 cm de espessura.

Os apoios das longarinas sobre as vigas trave são feitos através de aparelho de apoio de neoprene fretado.

Nas cabeceiras, juntamente com as vigas de coroamento, são instaladas cortinas, abas laterais com barreiras superiores e lajes de aproximação, com o intuito de minimizar os efeitos de recalques diferenciais entre o aterro de encontro e obra de arte.

4. MEMÓRIA DE CÁLCULO E DIMENSIONAMENTO

4.1 CARGAS ACIDENTAIS

CLASSE 45 DA NBR-7188:2013

4.2 MATERIAIS

- Concreto:

- Fck = 10 MPa: lastros e regularizações;
- Fck = 20 MPa: estacas hélice contínua;
- Fck = 25 MPa: meso e infraestrutura;
- Fck = 30 MPa: superestrutura.

- Aço Estrutural CA-50;

- Aço de Protensão CP-190/RB-12,70 mm;

- Bainhas:

- Bainhas semi-rígidas galvanizadas.

- Juntas elásticas;

- Drenos;

- Formas:

- Formas convencionais de madeira compensada e aplainada;

- Revestimento da pista:

- Concreto Betuminoso Usinado a Quente – CBUQ;

- Aparelhos de Apoio de neoprene fretado.

4.3 PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO

4.3.1 Vigamento da Superestrutura

As repartições de cargas para as longarinas e transversinas são feitas pelo método de Courbon e pelas tabelas de Homberg, surgindo então às linhas de influência das repartições transversais de carga (LIRTC).

4.3.2 Cargas

As cargas permanentes pela própria montagem são igualmente distribuídas para as longarinas.

As cargas acidentais, classe TB450 da NBR 7188:2013, são aplicadas de modo a resultar o maior carregamento de cada longarina.

Para a transversina de vão o procedimento é semelhante buscando as maiores solicitações ao longo do elemento.

4.3.3 Esforços

Uma vez obtido o carregamento de cada longarina são calculados os esforços em décimos de vão para momentos fletores e cortantes e as reações de apoio.

Para tal, é utilizado programa convencional de linha de influência para vigas, no caso, isostáticas, buscando é claro, as maiores e menores solicitações em cada seção.

Os dados de entrada para cada viga são:

- Vão e variação de inércia nas seções;
- Cargas permanentes:
 - g_1 =peso próprio da longarina pré-moldada;
 - g_2 =cargas de lajes e transversinas;
 - g_3 =revestimentos, passeios, guarda-corpos, barreiras;

- Cargas acidentais:
 - Q = carga acidental por eixo homogeneizado;
 - Q = carga distribuída por metro do elemento.

No programa de linhas de influência são obtidos os esforços característicos em cada seção, para cada carregamento em separado, as somas características, os esforços de cálculo e as combinações destinadas à verificação de fadiga.

Os esforços de cálculo são:

$$S_d = (1,35 \text{ ou } 1,00) \times S_g \pm 1,5 \times S_q$$

Para as combinações de fadiga para cargas rodoviárias:

$$S_k = 0,8 \times S_q$$

4.3.4 Dimensionamento

O dimensionamento das longarinas e transversinas é feito de forma convencional para o concreto armado e protendido.

Protensão: cada cabo, em função do seu levantamento e das tensões limites de protensão, terá suas forças avaliadas ao longo de seu comprimento para a fase de perdas imediatas como o atrito e avaliação das perdas lentas ao longo do tempo, atribuído valor estatístico no caso de projeto básico.

Uma vez obtido o esforço de protensão são calculadas as tensões elásticas. As tensões elásticas para as fibras superiores e inferiores das seções para compatibilizar com a resistência do concreto empregado em tempo inicial e infinito e para cada hipótese de carga possível, inclusive etapas de protensão.

Verificação à ruptura: é verificação e dimensionamento convencional do concreto armado com a consideração do pré-alongamento da protensão, o diagrama tensão deformação e os diferentes domínios do estado limite último conforme NBR 6118:2014.

Ver formulário de cálculo das tensões normais.

4.3.5 Lajes

Esforços obtidos conforme tabelas de Rüsç e compensados na continuidade em vãos adjacentes conforme a teoria das estruturas e hipóteses possíveis de máximas e mínimas flexões em cada seção.

4.3.6 Cálculo Da Superestrutura

- Linhas de Influência

As páginas a seguir mostram o cálculo das linhas de influência para as onze seções usuais do vão, de um apoio ao outro.

Os parâmetros para o cálculo são os seguintes:

Ponte com um vão de x m;

Os carregamentos permanentes são calculados em três casos:

g_1 = peso próprio da longarina pré-moldada;

g_2 = cargas de lajes e transversinas;

g_3 = revestimentos, passeios, guarda-corpos, barreiras;

Existem cargas concentradas permanentes apenas para o segundo caso, as quais representam as transversinas;

O trem homogeneizado para cargas móveis tem 4 cargas concentradas de x tf, com distância entre elas variável. A carga distribuída móvel tem x tf/m.

Os resultados apresentados são os seguintes:

Momentos Fletores:

Quatro casos de cargas permanentes: M_{g1} , M_{g2} , M_{g3} e M_g , que é a soma dos anteriores;

Cargas móveis: M_{q1} e M_{q2} , que são calculados para máximos positivos e negativos respectivamente e levam em conta tanto o efeito do veículo quanto o da multidão;

Cargas ponderadas: $Mg + kMq1$; $Mg + kMq2$, com $k = 1$; $Md1$ e $Md2$ calculados conforme os coeficientes de ponderação das ações apresentados no item 8.3.2 da NBR7188:2013 e, por via de consequência, na seção 11 da NBR 6118:2014;

Fadiga: os resultados obtidos aqui não são mais utilizados nos cálculos de pontes. De todo modo, a fadiga é calculada pela fórmula:

$$\text{fadiga} = (50/36) \cdot [(M_{\text{maximo}} - M_{\text{minimo}}) / (M_{\text{maximo}})]$$

Quando os sinais são iguais e pela fórmula:

$$\text{fadiga} = (50/36) \cdot [(M_{\text{maximo}} - 0,5 \cdot M_{\text{minimo}}) / (M_{\text{maximo}})]$$

Quando os sinais são opostos.

Forças Cortantes:

Quatro casos de cargas permanentes: $Vg1$, $Vg2$, $Vg3$ e Vg , que é a soma dos anteriores;

Cargas móveis: $Vq1$ e $Vq2$, que são calculados para máximos positivos e negativos respectivamente e levam em conta tanto o efeito do veículo quanto o da multidão;

Cargas ponderadas: $Vg + kVq1$; $Vg + kVq2$, com $k = 1$; $Vd1$ e $Vd2$ calculados conforme os coeficientes de ponderação das ações apresentados no item 8.3.2 da NBR7188:2013 e, por via de consequência, na seção 11 da NBR 6118:2014;

Fadiga: os resultados obtidos aqui não são mais utilizados nos cálculos de pontes. De todo modo, no programa a fadiga é calculada pela fórmula:

$$\text{fadiga} = (50/28) \cdot [(V_{\text{maximo}} - V_{\text{minimo}}) / (V_{\text{maximo}})]$$

Quando os sinais são iguais e pela fórmula:

$$\text{fadiga} = (50/28) \cdot [(V_{\text{maximo}} - 0,5 \cdot V_{\text{minimo}}) / (V_{\text{maximo}})]$$

Quando os sinais são opostos. Sendo:

$(Vq1 - Vq2) / V_{\text{max}}$: relação entre cortantes acidentais.

Reações de Apoio:

Quatro casos de cargas permanentes: Rg1, Rg2, Rg3 e Rg, que é a soma dos anteriores;

Cargas móveis: Rq1 e Rq2, que são calculados para máximos positivos e negativos respectivamente e levam em conta tanto o efeito do veículo quanto o da multidão;

Cargas ponderadas: Rg + Rq1 ; Rg + Rq2, com k =1 ; Rd1 e Rd2 calculados conforme os coeficientes de ponderação das ações apresentados no item 8.3.2 da NBR7188:2013 e, por via de consequência, na seção 11 da NBR 6118:2014;

Fadiga: os resultados obtidos aqui não são mais utilizados nos cálculos de pontes. De todo modo, no programa a fadiga é calculada pela fórmula:

$$\text{fadiga} = (50/28) \cdot [(V_{\text{maximo}} - V_{\text{minimo}}) / (V_{\text{maximo}})]$$

Quando os sinais são iguais e pela fórmula:

$$\text{fadiga} = (50/28) \cdot [(V_{\text{maximo}} - 0,5 \cdot V_{\text{minimo}}) / (V_{\text{maximo}})]$$

Quando os sinais são opostos.

A linha de influência é calculada pelo programa Linflu1, cuja metodologia é apresentada com mais detalhes no item de programas computacionais utilizados.

Cálculo dos Esforços dos Cabos de Protensão:

Os esforços dos cabos nas onze seções usuais do vão, de um apoio ao outro, são calculados pelo programa Prottot, que necessita dos seguintes dados de entrada para cada cabo:

Ap : área da seção transversal em cm²;

Fa0: força inicial do macaco em toneladas;

Coefficiente de atrito para componentes verticais e horizontais conhecidos;

K: coeficiente de atrito para componentes verticais e horizontais presumíveis;

nsec: número de seções (usualmente 10 por vão);

faseprot: fase de protensão (primeira ou segunda);

Para cada seção j do desenvolvimento do cabo na viga, com $j=1, nsec$, são requeridos os seguintes dados de entrada:

$x_j(j)$: abcissa do cabo a partir do seu início;

$y_j(j)$: valores das distâncias da parte inferior da viga até a posição do cabo;

$y_g(j)$: valores das distâncias da parte inferior da viga até o seu centro de gravidade.

A partir destes valores, o programa Prottot calcula $x_k(k)$ e $y_k(k)$, que são respectivamente os valores intermediários de $x_j(j)$ e $y_j(j)$ entre as seções, para $k=1, \dots, nsec \times 41$). Estes valores intermediários são calculados por interpolação lagrangeana de terceiro grau. O conjunto dos valores $x_k(k)$ e $y_k(k)$ são as coordenadas cartesianas da trajetória do cabo.

A partir destas coordenadas cartesianas do cabo, pode-se calcular para cada seção:

SALFA(j): soma dos ângulos de desvio no cabo até a seção j , para $j=1, \dots, nsec$;

$x(j)$: comprimento do cabo até a seção j ;

ALFAo(j): ângulo que o cabo na seção j faz com a horizontal, para $j=1, \dots, nsec$;

excentric(j): excentricidade do cabo na seção j , dado por $y_j(j) - y_g(j)$.

E, para o cabo total:

xtot: comprimento total do cabo [= $x(nsec)$];

SALFATOT: soma total dos ângulos de desvio [= SALFA($nsec$)];

Para o cabo total o programa Prottot calcula:

Força FI (em tf) no ponto final do cabo:

$$FI = F_a \times e^{-(\mu \times SALFATOT + K \times xtot)}$$

Perda Δ_n de carga/m (em tf/m):

$$\Delta_n = (F_a - FI) / xtot$$

Distância w (em metros) de perda de carga:

$$w = \left[\frac{0,006 \times E_a \times A_p}{\Delta_n} \right]^{1/2}$$

Perda ΔF (em tf) de protensão:

$$\Delta F = 2 \times \Delta_n \times w$$

Alongamento λ (em cm) do cabo:

$$\lambda = [(F_{a0} + F_1) \times x_{tot}] / (39,6 \times A_p)$$

Para a seção inicial do cabo, $j=1$, o programa calcula o valor da força de protensão $F_0(1)$:

$$F_0(1) = F_{a0} - \Delta F$$

Para as seções seguintes, $j=2, \dots, n_{sec}$ o programa calcula:

Força de protensão (em tf) antes das perdas $F'(j)$ no ponto j :

$$F'(j) = F_{a0} \times e^{-[\mu \times SALFA(j) + K \times x(j)]}$$

Perda de carga $\Delta F'(j)$ (em tf) na barra entre as seções $j-1$ e j :

$$\Delta F'(j) = \Delta F \cdot [w - x(j)] / w \quad \text{quando } x(j) < w$$

$$\Delta F'(j) = 0 \quad \text{quando } x(j) \geq w$$

Força de protensão no ponto j :

$$F_0(j) = F'(j) - \Delta F'(j)$$

As forças normais, momentos de protensão e esforços cortantes para todas as seções do cabo ($j=1, \dots, n_{sec}$) são dados pelas expressões:

Força normal de protensão $NP_0(j)$ (em tf) na seção j :

$$NP_0(j) = F_0(j) \cdot \cos[ALFA_0(j)]$$

Momento de protensão $MP_0(j)$ (em tf.m) na seção j :

$$MP_0(j) = F_0(j) \cdot \cos[ALFA_0(j)] \cdot excentric(j)$$

Esforços cortantes de protensão $VP_0(j)$ (em tf) na seção j :

$$VP_0(j) = F_0(j) \cdot \sin[ALFA_0(j)]$$

O programa Prottot, depois de calcular as forças normais, momentos de protensão e esforços cortantes para todas as seções de cada cabo, soma estes valores àqueles dos demais cabos, resultando nos esforços totais de protensão para a viga nas onze seções usuais do vão, de um apoio ao outro. O programa possibilita ainda que cada cabo comece em qualquer seção que se queira, e que tenha o sentido da direita para esquerda ou vice-versa.

4.3.7 Cálculo das Tensões Normais

As tensões de protensão normais iniciais e finais, assim como o cálculo dos esforços dos cabos, são calculadas pelo programa Prottot.

Os dados de entrada para esta parte do programa são os seguintes:

Dados geométricos da seção transversal: S1 e S2 (áreas da fase inicial e final de protensão); WS1, WI1 (módulos de resistência superior e inferior da fase inicial de protensão); WS2, WI2 (módulos de resistência superior e inferior da fase final de protensão); WXY (módulo de resistência para seções compostas, até a linha inferior da laje);

Momentos solicitantes Mg1, Mg2, Mg3, Mq1 e Mq2, obtidos conforme o item anterior "Linhas de influência";

Forças de protensão Nt1 (para a primeira fase de protensão) e Nt2 (para a segunda fase de protensão), que são as somas das forças NP0 de cada cabo, conforme apresentado no item anterior "Cálculo dos esforços dos cabos de protensão";

Momentos de protensão Mt1 (para a primeira fase de protensão) e Mt2 (para a segunda fase de protensão), que são as somas dos momentos MP0 de cada cabo, conforme apresentado no item anterior "Cálculo dos esforços dos cabos de protensão".

As tensões são obtidas pela expressão básica da flexão composta:

$$\sigma = \frac{N}{S} \pm \frac{M}{W}$$

As equações a seguir especificam a equação acima para os diversos casos de carregamento. Nelas, as tensões sup são as da fibra superior da longarina para a primeira etapa de protensão e as da fibra superior da laje para a segunda etapa de protensão; as tensões inf são as da fibra inferior da longarina; as tensões int.sup são as tensões superiores da fibra inferior da laje, enquanto que as tensões int.inf são as tensões inferiores da fibra inferior da laje (estas duas só são calculadas para a segunda etapa de protensão).

Nas equações abaixo, o símbolo p sozinho significa:

$$p = p1 + p2$$

Ou seja, a soma dos efeitos da primeira e da segunda protensões. Já o símbolo g sozinho significa:

$$g = g_1 + g_2 + g_3$$

Ou seja, a soma dos efeitos dos três carregamentos permanentes.

Tensões devidas à protensão na primeira etapa - perfil simples:

$$\sigma(p1)_{sup} = \frac{Nt1}{S1} + \frac{Mt1}{Ws1}$$

$$\sigma(p1)_{inf} = \frac{Nt1}{S1} - \frac{Mt1}{Wi1}$$

Tensões devidas a $p1$ e ao peso próprio $g1$ do perfil simples:

$$\sigma(p1 + g1)_{sup} = \sigma(p1)_{sup} + \frac{Mg1}{Ws1}$$

$$\sigma(p1 + g1)_{inf} = \sigma(p1)_{inf} - \frac{Mg1}{Wi1}$$

Tensões devidas a $p1$, $g1$ e $g2$ (lajes e transversinas):

$$\sigma(p1 + g1 + g2)_{sup} = \sigma(p1 + g1)_{sup} + \frac{Mg2}{Ws1}$$

$$\sigma(p1 + g1 + g2)_{inf} = \sigma(p1 + g1)_{inf} - \frac{Mg2}{Wi1}$$

Tensões devidas à protensão $p2$ (segunda etapa) - perfil composto:

$$\sigma(p2)_{sup} = \frac{Nt2}{S2} + \frac{Mt2}{Ws2}$$

$$\sigma(p2)_{int.sup} = \sigma(p2)_{int.inf} = \frac{Nt2}{S2} + \frac{Mt2}{Wxy}$$

$$\sigma(p2)_{inf} = \frac{Nt2}{S2} - \frac{Mt2}{Wi2}$$

Tensões devidas a $p1$, $p2$, $g1$, $g2$:

$$\sigma(p + g1 + g2)_{\text{sup}} = \sigma(p2)_{\text{sup}}$$

$$\sigma(p + g1 + g2)_{\text{int. sup}} = \sigma(p2)_{\text{int. sup}}$$

$$\sigma(p + g1 + g2)_{\text{int. inf}} = \sigma(p1 + g1 + g2)_{\text{sup}} + \sigma(p2)_{\text{int. inf}}$$

$$\sigma(p + g1 + g2)_{\text{inf}} = \sigma(p1 + g1 + g2)_{\text{inf}} - \sigma(p2)_{\text{inf}}$$

Tensões devidas a p1, p2, g1, g2 e g3:

$$\sigma(p + g)_{\text{sup}} = \sigma(p + g1 + g2)_{\text{sup}} + \frac{Mg3}{Ws2}$$

$$\sigma(p + g)_{\text{int. sup}} = \sigma(p + g1 + g2)_{\text{int. sup}} + \frac{Mg3}{Wxy}$$

$$\sigma(p + g)_{\text{int. inf}} = \sigma(p + g1 + g2)_{\text{int. inf}} + \frac{Mg3}{Wxy}$$

$$\sigma(p + g)_{\text{inf}} = \sigma(p + g1 + g2)_{\text{inf}} - \frac{Mg3}{Wi2}$$

Tensões devidas a g, q1, p:

$$\sigma(p + g + q1)_{\text{sup}} = \sigma(p + g)_{\text{sup}} + \frac{Mq1}{Ws2}$$

$$\sigma(p + g + q1)_{\text{int. sup}} = \sigma(p + g)_{\text{int. sup}} + \frac{Mq1}{Wxy}$$

$$\sigma(p + g + q1)_{\text{int. inf}} = \sigma(p + g)_{\text{int. inf}} + \frac{Mq1}{Wxy}$$

$$\sigma(p + g + q1)_{\text{inf}} = \sigma(p + g + q1)_{\text{inf}} - \frac{Mq1}{Wi2}$$

Os valores das tensões calculadas para a obra em questão estão apresentados a seguir. Nas tabelas, o símbolo p seguido de i significa protensão inicial, e quando é seguido de f significa protensão final. Os esforços normais e os momentos finais de protensão são calculados pela multiplicação dos iniciais (apresentados anteriormente no item "Cálculo dos esforços dos cabos de protensão") por K=0,8.

4.4 RELAÇÕES DE PROGRAMAS COMPUTACIONAIS

4.4.1 Programa Linflu1

O programa faz o cálculo de momentos fletores, forças cortantes e reações de apoio em vigas contínuas de pontes rodoviárias ou ferroviárias, provenientes de carregamento permanente (três casos) e móvel em linha de influência.

Os carregamentos rodoviários e ferroviários são calculados, respectivamente, conforme a NBR 7188:2013 e a NBR 7189:1985.

O efeito dinâmico das cargas móveis é calculado conforme o item 7.2.1.2 da NBR7188:2013.

Os coeficientes de ponderação das ações, suas combinações, assim como os seus respectivos fatores de redução, obedecem ao item 8.3.2 da NBR7187: 2003 e, por via de consequência, à seção 11 da NBR 6118:2014.

O programa foi desenvolvido em Quick Basic.

Os parâmetros de entrada são os seguintes:

NC = número de cargas concentradas;

P = valor da carga concentrada;

a = distância da carga concentrada ao apoio esquerdo;

q1, q2, q3 = cargas distribuídas permanentes (tf/m);

Q = carga tf/eixo sobre a viga;

q = carga distribuída tf/m sobre a viga.

4.4.2 Programas Prop5a

Calcula as características geométricas de uma seção transversal a partir de suas coordenadas x e y.

As características calculadas são: área, momento de inércia, módulos de resistência, coordenadas do centro de gravidade e do ponto médio.

O programa foi desenvolvido em Pascal.

4.4.3 Programa Prottot

A partir das características dos cabos de protensão e dos momentos fletores atuantes em uma viga, calcula:

As forças de protensão;

Os hiperestáticos de protensão quando as vigas têm dois ou três vãos;

As tensões de protensão em vigas de concreto.

O programa também tem a opção de calcular apenas as tensões resultantes na viga, se forem dados as forças de protensão e os momentos atuantes nela.

A base de cálculo das forças de protensão do Prottot obedece às recomendações do item 9.6 da NBR 6118:2014.

O programa foi desenvolvido em Fortran.

4.4.4 Programa Fret

Calcula, a partir das características geométricas da seção transversal, do posicionamento e esforços nos cabos de protensão e das placas de ancoragem, a armadura necessária de fretagem dos cabos de protensão.

As armaduras dimensionadas são: armadura de fretagem vertical, armadura de fretagem horizontal e armadura de fretagem para tensões nos bordos

O programa foi desenvolvido em Pascal.

4.4.5 Programa FTOOL Desenvolvido Pela PUC-RIO

Ferramenta de análise e determinação de esforços em pórticos bidimensionais. Detalhes sobre o programa podem ser obtidos no site: <http://tecgraf.puc-rio.br/ftool/>

4.4.6 Programa Desenvolvido Pela Empresa de Softwares

Nemetschek

Software openBIM para análise, dimensionamento e otimização de estruturas por meio de elementos finitos. Detalhes sobre o programa podem ser obtidos no site da Scia: <http://www.scia-online.com>

5. DISPOSITIVO 30 B

5.1 MEMÓRIA DE CÁLCULO – SUPERESTRUTURA

5.1.1 Longarinas

5.1.1.1 Características da Seção Transversal

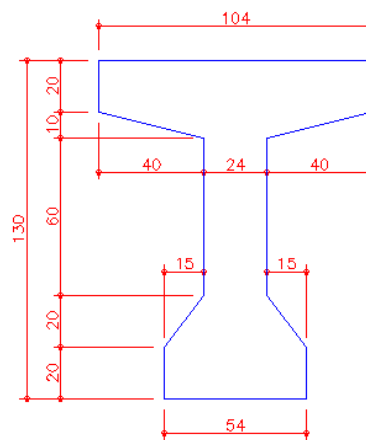
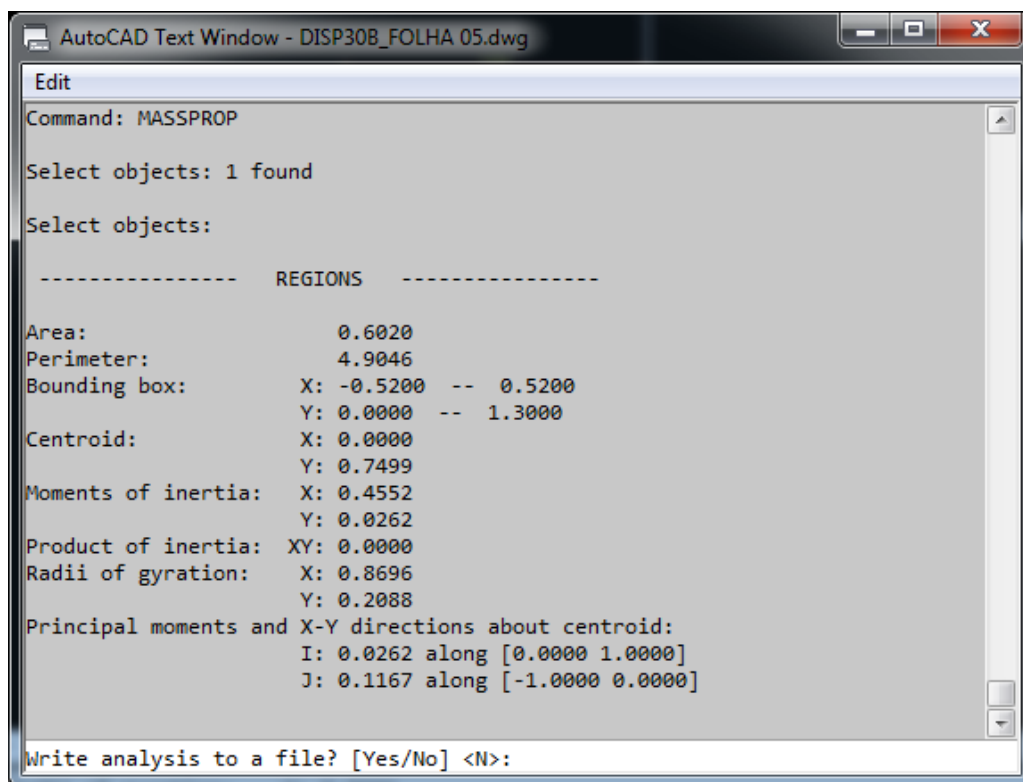


Figura 1 - Seção transversal da longarina

Perfil simples no vão



```
AutoCAD Text Window - DISP30B_FOLHA 05.dwg
Edit
Command: MASSPROP
Select objects: 1 found
Select objects:
----- REGIONS -----
Area:                0.6020
Perimeter:           4.9046
Bounding box:        X: -0.5200 -- 0.5200
                    Y: 0.0000 -- 1.3000
Centroid:            X: 0.0000
                    Y: 0.7499
Moments of inertia:  X: 0.4552
                    Y: 0.0262
Product of inertia:  XY: 0.0000
Radii of gyration:   X: 0.8696
                    Y: 0.2088
Principal moments and X-Y directions about centroid:
                    I: 0.0262 along [0.0000 1.0000]
                    J: 0.1167 along [-1.0000 0.0000]
Write analysis to a file? [Yes/No] <N>:
```

Figura 2 - Características geométricas da seção transversal no vão

5.1.1.2 Descrição dos Carregamentos Atuantes

O carregamento permanente g_1 é referente ao peso próprio da longarina pré-moldada, em seu estado inicial;

O carregamento permanente g_2 é referente ao peso próprio das lajes e transversinas, ocorrentes após o transporte e posicionamento das longarinas pré-moldadas;

O carregamento permanente g_3 é referente ao peso próprio do revestimento em concreto betuminoso, acrescido de uma sobrecarga de 200 kgf/m^2 . Nas longarinas extremas também há a consideração de defensas e barreiras;

O carregamento variável q é referente à consideração da NBR7188:2013, que descreve e caracteriza o trem tipo a ser utilizado no cálculo da superestrutura. Para fins de cálculo utilizaremos o trem-tipo homogeneizado, conforme demonstrado a seguir:

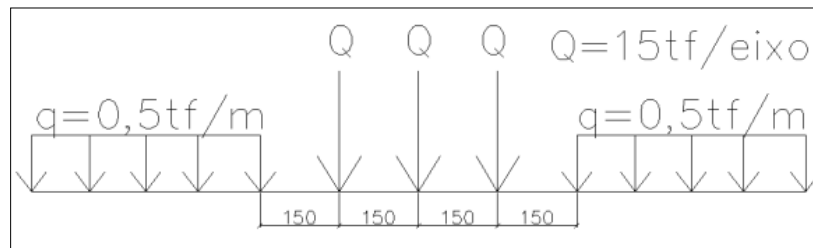


Figura 3 - Trem tipo de 45tf, conforme padrão da NBR7188:2013

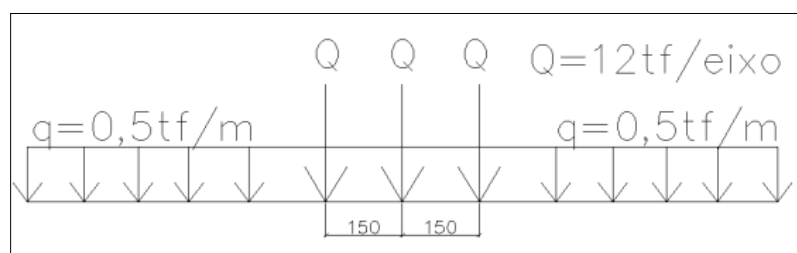


Figura 4 - Trem tipo homogeneizado

Homogeneização do trem tipo:

$$Q = \left(15 - \frac{6 \times 3 \times 0,5}{3} \right) \times \varphi = 12\varphi \text{ tf/eixo}$$

5.1.1.3 Repartição Transversal das Cargas Móveis

Trem-tipo posicionado em V1=V6

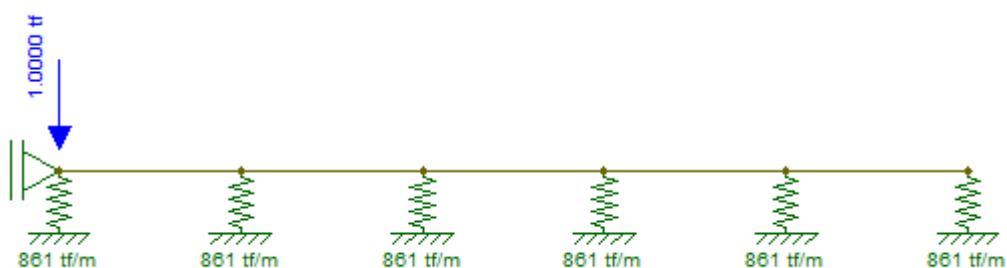


Figura 5 - Repartição transversal para V1=V6

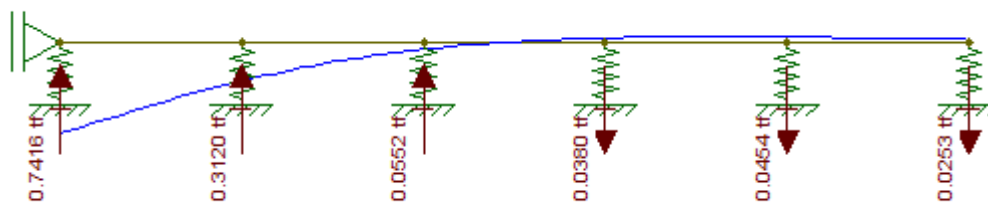


Figura 6 - Repartição transversal para V1=V6

Trem-tipo posicionado em V2=V5

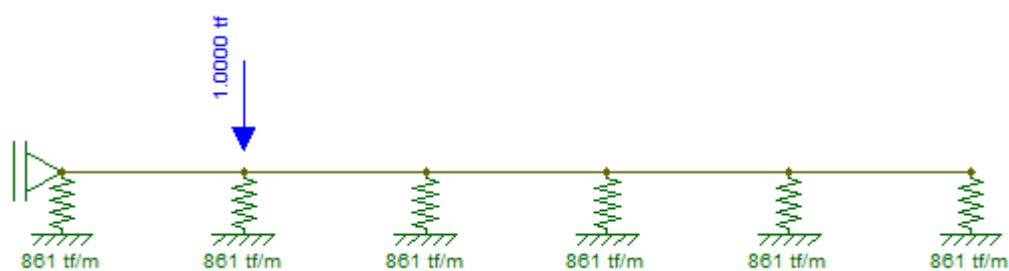


Figura 7 - Repartição transversal para V2=V5

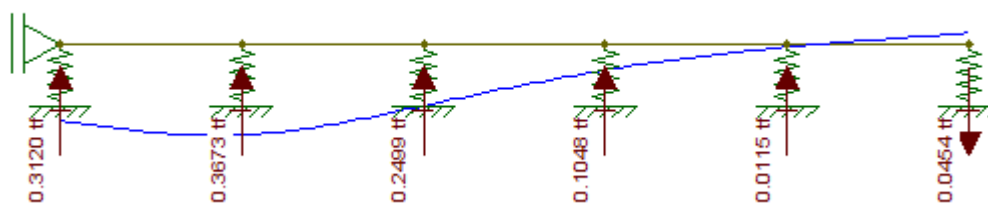


Figura 8 - Repartição transversal para V2=V5

Trem-tipo posicionado em V3=V4

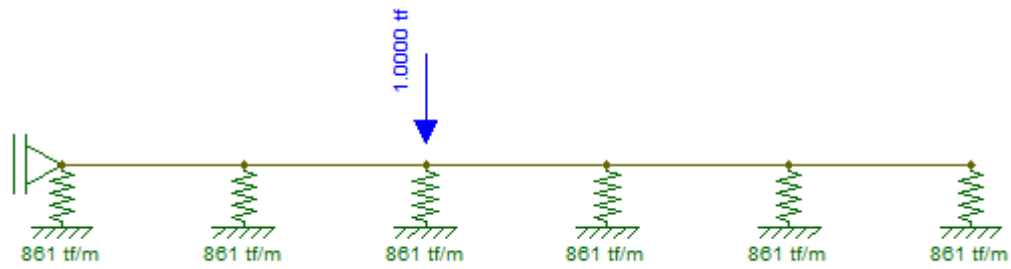


Figura 9 - Repartição transversal para V3=V4

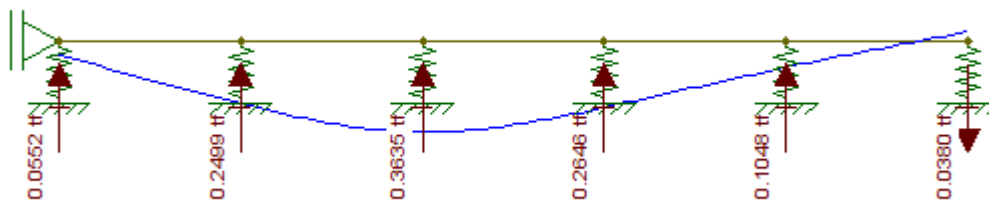


Figura 10 - Repartição transversal para V3=V4

5.1.1.4 Carregamentos Atuantes

Tabela 1 - Carregamentos atuantes

	Vão	Q. Long	lx	ly		g1	g2	g3	Q	q
Dispositivo 30b	26,00 m	6	2,60 m	var	V1	1,89 tf/m	1,43 tf/m	1,54 tf/m	8,90 φ	0,94 φ
					V2	1,89 tf/m	1,43 tf/m	0,96 tf/m	4,41 φ	1,15 φ
					V3	1,89 tf/m	1,43 tf/m	0,96 tf/m	4,36 φ	1,30 φ



5.1.1.5 Linhas de Influência

TRAMO SOCIEDADE CIVIL ESTRUTURAS LONGARINA: ESFORCOS CARGA PERMANENTE + MOVEL
 AV. CANDIDO DE ABREU, 427 CJ.401
 TEL: (41) 30213113 OBRA: 2016 DISPOSITIVO 30B
 CURITIBA - PARANA - 80530-903 OBRA:2016 V1=V6 DATA:

PONTE: RODOVIARIA

VAOS:1 BESQ: NAO BDIR: NAO (tf, m)

VAO: 1
 l= 26 J var=NAOq1= 1.89 NC1= 0
 q2= 1.43 NC2= 0
 q3= 1.54 NC3= 0

TREM HOMOGENEIZADO:
 NUM. CARGAS CONCENTRADAS:3
 DISTANCIA ENTRE CARGAS:1.5

Q= 8.9 q= .94

TRAMO SOCIEDADE CIVIL ESTRUTURAS LONGARINA: ESFORCOS CARGA PERMANENTE + MOVEL
 AV. CANDIDO DE ABREU, 427 CJ.401
 TEL: (41) 30213113 OBRA: 2016 DISPOSITIVO 30B
 CURITIBA - PARANA - 80530-903 OBRA:2016 V1=V6 DATA:

MOMENTOS	COEF. IMP. VERT.= 0.000/ 1.218/ 0.000								k= .8		
SECAO	Mg1	Mg2	Mg3	Mg	Mq1	Mq2	Mg+kMq1	Mg+kMq2	Md1	Md2	FAD.
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
1	57.49	43.50	46.85147.84	106.05	0.00	232.68	147.84	355.45	206.98	1.00	1.00
2	102.21	77.33	83.28262.83	187.45	0.00	412.79	262.83	630.39	367.96	1.00	1.00
3	134.15101.50	109.31	344.96	244.19	0.00	540.32	344.96	824.82	482.95	1.00	1.00
4	153.32116.00	124.92	394.24	279.54	0.00	617.88	394.24	943.30	551.94	1.00	1.00
5	159.71120.83	130.13	410.67	291.87	0.00	644.17	410.67	983.55	574.94	1.00	1.00
6	153.32116.00	124.92	394.24	279.54	0.00	617.88	394.24	943.30	551.94	1.00	1.00
7	134.15101.50	109.31	344.96	244.19	0.00	540.32	344.96	824.82	482.95	1.00	1.00
8	102.21	77.33	83.28262.83	187.45	0.00	412.79	262.83	630.39	367.96	1.00	1.00
9	57.49	43.50	46.85147.84	106.05	0.00	232.68	147.84	355.45	206.98	1.00	1.00
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00



TRAMO SOCIEDADE CIVIL ESTRUTURAS LONGARINA: ESFORCOS CARGA PERMANENTE + MOVEL
 AV. CANDIDO DE ABREU, 427 CJ.401
 TEL: (41) 30213113 OBRA: 2016 DISPOSITIVO 30B
 CURITIBA - PARANA - 80530-903 OBRA:2016 V1=V6 DATA:

CORTANTES COEF. IMP. VERT.= 0.000/ 1.218/ 0.000 k= .8

SECAO	Vg1	Vg2	Vg3	Vg	Vq1	Vq2Vg+kVq1	Vg+kVq2	Vd1	Vd2	FAD.	V max	
-Vq1-Vq2-												
0	-24.57	-18.59	-20.02	-63.18	0.00	-45.53	-63.18	-99.60	-88.45	-152.19	1.00	0.457
1	-19.66	-14.87	-16.02	-50.54	1.69	-39.45	-49.19	-82.10	-48.18	-125.99	1.00	0.501
2	-14.74	-11.15	-12.01	-37.91	5.22	-33.67	-33.73	-64.84	-30.60	-100.20	1.00	0.600
3	-9.83	-7.44	-8.01	-25.27	9.22	-28.18	-17.90	-47.82	-12.36	-74.83	1.12	0.782
4	-4.91	-3.72	-4.00	-12.64	13.51	-22.99	-1.83	-31.03	6.28	-49.88	1.68	1.176
5	0.00	0.00	0.00	0.00	18.11	-18.11	14.48	-14.48	25.35	-25.35	2.68	2.500
6	4.91	3.72	4.00	12.64	22.99	-13.51	31.03	1.83	49.88	-6.28	1.68	1.176
7	9.83	7.44	8.01	25.27	28.18	-9.22	47.82	17.90	74.83	12.36	1.12	0.782
8	14.74	11.15	12.01	37.91	33.67	-5.22	64.84	33.73	100.20	30.60	1.00	0.600
9	19.66	14.87	16.02	50.54	39.45	-1.69	82.10	49.19	125.99	48.18	1.00	0.501
10	24.57	18.59	20.02	63.18	45.53	0.00	99.60	63.18	152.19	88.45	1.00	0.457

TRAMO SOCIEDADE CIVIL ESTRUTURAS LONGARINA: ESFORCOS CARGA PERMANENTE + MOVEL
 AV. CANDIDO DE ABREU, 427 CJ.401
 TEL: (41) 30213113 OBRA: 2016 DISPOSITIVO 30B
 CURITIBA - PARANA - 80530-903 OBRA:2016 V1=V6 DATA:

REACOES APOIO

Rg1	Rg2	Rg3	Rg	Rq1	Rq2	Rg+Rq1	Rg+Rq2	Rd1	Rd2	FAD.
0	24.57	18.59	20.02	63.18	45.53	0.00108.71	63.18	152.19	88.45	1.00
10	24.57	18.59	20.02	63.18	45.53	0.00108.71	63.18	152.19	88.45	1.00

TRAMO SOCIEDADE CIVIL ESTRUTURAS LONGARINA: ESFORCOS CARGA PERMANENTE + MOVEL
 AV. CANDIDO DE ABREU, 427 CJ.401
 TEL: (41) 30213113 OBRA: 2016 DISPOSITIVO 30B
 CURITIBA - PARANA - 80530-903 OBRA:2016 V2=V5 DATA:

PONTE: RODOVIARIA

VAOS:1 BESQ: NAO BDIR: NAO (tf, m)

VAO: 1
 l= 26 J var=NAOq1= 1.89 NC1= 0
 q2= 1.43 NC2= 0
 q3= .96 NC3= 0

TREM HOMOGENEIZADO:
 NUM. CARGAS CONCENTRADAS:3
 DISTANCIA ENTRE CARGAS:1.5

Q= 4.41 q= 1.15



TRAMO SOCIEDADE CIVIL ESTRUTURAS LONGARINA: ESFORCOS CARGA PERMANENTE + MOVEL
AV. CANDIDO DE ABREU, 427 CJ.401
TEL: (41) 30213113 OBRA: 2016 DISPOSITIVO 30B
CURITIBA - PARANA - 80530-903 OBRA:2016 V2=V5 DATA:

MOMENTOS COEF. IMP. VERT.= 0.000/ 1.218/ 0.000 k= .8

SECAO	Mg1	Mg2	Mg3	Mg	Mq1	Mq2	Mg+kMq1	Mg+kMq2	Md1	Md2	FAD.
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
1	57.49	43.50	29.20130.20	77.90	0.00	192.52	130.20	291.34	182.28	1.00	
2	102.21	77.33	51.92231.46	137.95	0.00	341.82	231.46	517.18	324.05	1.00	
3	134.15101.50	68.14	303.79	180.15	0.00	447.92	303.79	677.53	425.31	1.00	
4	153.32116.00	77.88	347.19	206.12	0.00	512.09	347.19	774.64	486.07	1.00	
5	159.71120.83	81.12	361.66	215.04	0.00	533.70	361.66	807.39	506.32	1.00	
6	153.32116.00	77.88	347.19	206.12	0.00	512.09	347.19	774.64	486.07	1.00	
7	134.15101.50	68.14	303.79	180.15	0.00	447.92	303.79	677.53	425.31	1.00	
8	102.21	77.33	51.92231.46	137.95	0.00	341.82	231.46	517.18	324.05	1.00	
9	57.49	43.50	29.20130.20	77.90	0.00	192.52	130.20	291.34	182.28	1.00	
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

TRAMO SOCIEDADE CIVIL ESTRUTURAS LONGARINA: ESFORCOS CARGA PERMANENTE + MOVEL
AV. CANDIDO DE ABREU, 427 CJ.401
TEL: (41) 30213113 OBRA: 2016 DISPOSITIVO 30B
CURITIBA - PARANA - 80530-903 OBRA:2016 V2=V5 DATA:

CORTANTES COEF. IMP. VERT.= 0.000/ 1.218/ 0.000 k= .8

SECAO	Vg1	Vg2	Vg3	Vg	Vq1	Vq2Vg+kVq1	Vg+kVq2	Vd1	Vd2	FAD.	V max	
-Vq1-Vq2-												
0	-24.57	-18.59	-12.48	-55.64	0.00	-33.39	-55.64	-82.35	-77.90	-124.65	1.00	0.405
1	-19.66	-14.87	-9.98	-44.51	0.95	-28.32	-43.75	-67.17	-43.19	-101.97	1.00	0.436
2	-14.74	-11.15	-7.49	-33.38	3.02	-23.62	-30.97	-52.28	-29.15	-79.80	1.00	0.510
3	-9.83	-7.44	-4.99	-22.26	5.54	-19.27	-17.82	-37.67	-14.50	-58.14	1.00	0.659
4	-4.91	-3.72	-2.50	-11.13	8.43	-15.29	-4.38	-23.36	0.67	-36.99	1.45	1.015
5	0.00	0.00	0.00	0.00	11.68	-11.68	9.34	-9.34	16.35	-16.35	2.68	2.500
6	4.91	3.72	2.50	11.13	15.29	-8.43	23.36	4.38	36.99	-0.67	1.45	1.015
7	9.83	7.44	4.99	22.26	19.27	-5.54	37.67	17.82	58.14	14.50	1.00	0.659
8	14.74	11.15	7.49	33.38	23.62	-3.02	52.28	30.97	79.80	29.15	1.00	0.510
9	19.66	14.87	9.98	44.51	28.32	-0.95	67.17	43.75	101.97	43.19	1.00	0.436
10	24.57	18.59	12.48	55.64	33.39	0.00	82.35	55.64	124.65	77.90	1.00	0.405



TRAMO SOCIEDADE CIVIL ESTRUTURAS LONGARINA: ESFORCOS CARGA PERMANENTE + MOVEL
AV. CANDIDO DE ABREU, 427 CJ.401
TEL: (41) 30213113 OBRA: 2016 DISPOSITIVO 30B
CURITIBA - PARANA - 80530-903 OBRA:2016 V2=V5 DATA:

REACOES	APOIO	Rg1	Rg2	Rg3	Rg	Rq1	Rq2	Rg+Rq1	Rg+Rq2	Rd1	Rd2	FAD.
	0	24.57	18.59	12.48	55.64	33.39	0.00	89.03	55.64124.65	77.90	1.00	
	10	24.57	18.59	12.48	55.64	33.39	0.00	89.03	55.64124.65	77.90	1.00	

TRAMO SOCIEDADE CIVIL ESTRUTURAS LONGARINA: ESFORCOS CARGA PERMANENTE + MOVEL
AV. CANDIDO DE ABREU, 427 CJ.401
TEL: (41) 30213113 OBRA: 2016 DISPOSITIVO 30B
CURITIBA - PARANA - 80530-903 OBRA:2016 V3=V5 DATA:

PONTE: RODOVIARIA

VAOS:1 BESQ: NAO BDIR: NAO (tf, m)

VAO: 1
l= 26 J var=NAOq1= 1.89 NC1= 0
q2= 1.43 NC2= 0
q3= .96 NC3= 0

TREM HOMOGENEIZADO:
NUM. CARGAS CONCENTRADAS:3
DISTANCIA ENTRE CARGAS:1.5

Q= 4.36 q= 1.3

TRAMO SOCIEDADE CIVIL ESTRUTURAS LONGARINA: ESFORCOS CARGA PERMANENTE + MOVEL
AV. CANDIDO DE ABREU, 427 CJ.401
TEL: (41) 30213113 OBRA: 2016 DISPOSITIVO 30B
CURITIBA - PARANA - 80530-903 OBRA:2016 V3=V5 DATA:

MOMENTOS	SECAO	Mg1	Mg2	Mg3	Mg	Mq1	Mq2	Mg+kMq1	Mg+kMq2	Md1	Md2	FAD.
	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
	1	57.49	43.50	29.20130.20	83.06	0.00	196.64	130.20	298.56	182.28	1.00	
	2	102.21	77.33	51.92231.46	147.13	0.00	349.16	231.46	530.02	324.05	1.00	
	3	134.15101.50	68.14	303.79	192.21	0.00	457.56	303.79	694.40	425.31	1.00	
	4	153.32116.00	77.88	347.19	219.89	0.00	523.11	347.19	793.92	486.07	1.00	
	5	159.71120.83	81.12	361.66	229.39	0.00	545.17	361.66	827.46	506.32	1.00	
	6	153.32116.00	77.88	347.19	219.89	0.00	523.11	347.19	793.92	486.07	1.00	
	7	134.15101.50	68.14	303.79	192.21	0.00	457.56	303.79	694.40	425.31	1.00	
	8	102.21	77.33	51.92231.46	147.13	0.00	349.16	231.46	530.02	324.05	1.00	
	9	57.49	43.50	29.20130.20	83.06	0.00	196.64	130.20	298.56	182.28	1.00	
	10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00



TRAMO SOCIEDADE CIVIL ESTRUTURAS LONGARINA: ESFORCOS CARGA PERMANENTE + MOVEL
AV. CANDIDO DE ABREU, 427 CJ.401
TEL: (41) 30213113 OBRA: 2016 DISPOSITIVO 30B
CURITIBA - PARANA - 80530-903 OBRA:2016 V3=V5 DATA:

CORTANTES COEF. IMP. VERT.= 0.000/ 1.218/ 0.000 k= .8

SECAO	Vg1	Vg2	Vg3	Vg	Vq1	Vq2Vg+kVq1	Vg+kVq2	Vd1	Vd2	FAD.	V max	
-Vq1-Vq2-												
0	-24.57	-18.59	-12.48	-55.64	0.00	-35.60	-55.64	-84.12	-77.90	-127.73	1.00	0.423
1	-19.66	-14.87	-9.98	-44.51	0.96	-30.09	-43.74	-68.59	-43.17	-104.45	1.00	0.453
2	-14.74	-11.15	-7.49	-33.38	3.09	-25.00	-30.91	-53.38	-29.06	-81.74	1.00	0.526
3	-9.83	-7.44	-4.99	-22.26	5.71	-20.32	-17.69	-38.51	-14.26	-59.61	1.00	0.676
4	-4.91	-3.72	-2.50	-11.13	8.75	-16.05	-4.13	-23.97	1.12	-38.05	1.48	1.035
5	0.00	0.00	0.00	0.00	12.19	-12.19	9.75	-9.75	17.07	-17.07	2.68	2.500
6	4.91	3.72	2.50	11.13	16.05	-8.75	23.97	4.13	38.05	-1.12	1.48	1.035
7	9.83	7.44	4.99	22.26	20.32	-5.71	38.51	17.69	59.61	14.26	1.00	0.676
8	14.74	11.15	7.49	33.38	25.00	-3.09	53.38	30.91	81.74	29.06	1.00	0.526
9	19.66	14.87	9.98	44.51	30.09	-0.96	68.59	43.74	104.45	43.17	1.00	0.453
10	24.57	18.59	12.48	55.64	35.60	0.00	84.12	55.64	127.73	77.90	1.00	0.423

TRAMO SOCIEDADE CIVIL ESTRUTURAS LONGARINA: ESFORCOS CARGA PERMANENTE + MOVEL
AV. CANDIDO DE ABREU, 427 CJ.401
TEL: (41) 30213113 OBRA: 2016 DISPOSITIVO 30B
CURITIBA - PARANA - 80530-903 OBRA:2016 V3=V5 DATA:

REACOES APOIO

APOIO	Rg1	Rg2	Rg3	Rg	Rq1	Rq2	Rg+Rq1	Rg+Rq2	Rd1	Rd2	FAD.
0	24.57	18.59	12.48	55.64	35.60	0.00	91.24	55.64127.73	77.90	1.00	
10	24.57	18.59	12.48	55.64	35.60	0.00	91.24	55.64127.73	77.90	1.00	

5.1.1.6 Esforços de Protensão

Obs.: os esforços de protensão serão calculados a partir da longarina com carregamento mais desfavorável, ou seja, as longarinas V1 e V6.

Tabela 2 - Esforços solicitantes e combinações de cálculo

Esforços atuantes						
Seção	S0	S1	S2	S3	S4	S5
Mg1	0,00	57,49	102,21	134,15	153,32	159,71
Mg2	0,00	43,50	77,33	101,50	116,00	120,83
Mg3	0,00	46,85	83,28	109,31	124,92	130,13
Mg	0,00	147,84	262,82	344,96	394,24	410,67
Mq1	0,00	106,05	187,45	244,19	279,54	291,87
Combinações de cálculo						
Seção	S0	S1	S2	S3	S4	S5
Md1	0,00	358,66	635,98	831,98	951,53	992,21

Tabela 3 - Esforços de protensão

Características da seção transversal na primeira etapa							
Seção	S0	S1	S2	S3	S4	S5	
S (m ²)	0,602	0,602	0,602	0,602	0,602	0,602	
J (m ⁴)	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117	0,117	
ys (m)	0,550	0,550	0,550	0,550	0,550	0,550	
yi (m)	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	
Ws (m ³)	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	
Wi (m ³)	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	
Esforços de protensão - Cabo 1							
μ	0,2	k	0,0015	l (m)	26	Fmac (tf)	270
Seção	S0	S1	S2	S3	S4	S5	
x (m)	0,00	2,60	5,20	7,80	10,40	13,00	
yc (m)	0,25	0,21	0,17	0,15	0,14	0,13	
α (graus)	0,00	0,11	0,22	0,22	0,20	0,20	
α (rad)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
$\Sigma\alpha$ (rad)	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	
N (tf)	270,00	268,85	267,59	266,35	265,13	263,91	
Esforços de protensão - Cabo 2							
μ	0,2	k	0,0015	l (m)	26	Fmac (tf)	270
Seção	S0	S1	S2	S3	S4	S5	
x (m)	0,00	2,60	5,20	7,80	10,40	13,00	
yc (m)	0,64	0,51	0,40	0,32	0,28	0,26	
α (graus)	0,00	0,42	0,68	0,68	0,79	0,79	
α (rad)	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
$\Sigma\alpha$ (rad)	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	
N (tf)	270,00	268,56	266,88	265,20	263,44	261,69	
Esforços de protensão - Cabo 3							
μ	0,2	k	0,0015	l (m)	26	Fmac (tf)	270
Seção	S0	S1	S2	S3	S4	S5	
x (m)	0,00	2,60	5,20	7,80	10,40	13,00	
yc (m)	1,03	0,81	0,63	0,50	0,42	0,39	
α (graus)	0,00	0,64	1,16	1,14	1,21	1,21	
α (rad)	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	
$\Sigma\alpha$ (rad)	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,09	
N (tf)	270,00	268,35	266,23	264,13	261,99	259,87	

Tabela 4 - Esforços totais de protensão

Esforços totais de protensão						
Seção	S0	S1	S2	S3	S4	S5
No (tf)	810,00	805,76	800,69	795,68	790,56	785,47
Mo (tfm)	-91,99	-193,84	-280,16	-340,47	-375,44	-383,76
Ninf (tf)	688,50	684,89	680,59	676,33	671,98	667,65
Mo (tfm)	-78,19	-164,76	-238,14	-289,40	-319,12	-326,19

5.1.1.7 Tensões Normais

Tabela 5 - Tensões normais no tempo inicial e no tempo final

Tensões normais no tempo inicial (tf/m ²)						
Seção	S0	S1	S2	S3	S4	S5
σp	911,90	424,75	9,43	-283,19	-456,51	-504,18
	1.936,63	2.584,04	3.130,35	3.509,57	3.725,74	3.770,75
σpg1	911,90	695,75	491,22	349,17	266,21	248,66
	1.936,63	2.214,62	2.473,56	2.647,54	2.740,52	2.744,47
σpg	911,90	1.121,64	1.248,31	1.342,88	1.401,86	1.431,64
	1.936,63	1.634,04	1.441,50	1.292,90	1.192,40	1.131,83
σpgq	911,90	1.621,54	2.131,91	2.493,95	2.719,55	2.807,45
	1.936,63	952,58	236,97	-276,24	-603,89	-743,69
Tensões normais no tempo infinito (tf/m ²)						
Seção	S0	S1	S2	S3	S4	S5
σp	775,11	361,04	8,01	-240,71	-388,03	-428,55
	1646,13	2196,44	2660,80	2983,13	3166,88	3205,14
σpg1	775,11	632,04	489,81	391,65	334,68	324,29
	1646,13	1827,01	2004,01	2121,10	2181,66	2178,86
σpg	775,11	1057,93	1246,89	1385,36	1470,33	1507,27
	1646,13	1246,44	971,95	766,46	633,54	566,22
σpgq	775,11	1557,83	2130,49	2536,42	2788,03	2883,08
	1646,13	564,97	-232,58	-802,67	-1162,75	-1309,30

5.1.1.8 Dimensionamento ao ELS

Tabela 6 - Dimensionamento ao ELS

Tempo Infinito			Ações: $M_g + M_{P(t=\infty)} + \psi_1 \cdot \phi \cdot M_q^{\max}$				Verificação	ELS-F Combinação Frequente
Limite de Tração - $\sigma_t = f_{ct,m}$ (MPa)	-3,51	Limite de Compressão - $\sigma_c = 0,7 \cdot f_{ck}$ (MPa)			28,0			
$N_{p,t=ss}/A$ (MPa)	$M_{p,t=ss}/W$ (MPa)	M_g/W (MPa)	$\psi_1 \cdot \phi \cdot M_q^{\max}/W$ (MPa)	$\sigma_{atuante}$ (MPa)				
Bordo Superior	11,16	-15,51	19,36	6,88	21,88	ok!		
Bordo Inferior	11,16	21,14	-26,39	-9,38	-3,47	ok!		
Tempo Infinito			Ações: $M_g + M_{P(t=\infty)} + \psi_1 \cdot \phi \cdot M_q^{\min}$				Verificação	ELS-F Combinação Frequente
Limite de Tração - $\sigma_t = f_{ct,m}$ (MPa)	-3,51	Limite de Compressão - $\sigma_c = 0,7 \cdot f_{ck}$ (MPa)			28,0			
$N_{p,t=ss}/A$ (MPa)	$M_{p,t=ss}/W$ (MPa)	M_g/W (MPa)	$\psi_1 \cdot \phi \cdot M_q^{\min}/W$ (MPa)	$\sigma_{atuante}$ (MPa)				
Bordo Superior	11,16	-15,51	19,36	0,00	15,01	ok!		
Bordo Inferior	11,16	21,14	-26,39	0,00	5,91	ok!		
Tempo Infinito			Ações: $M_g + M_{P(t=\infty)} + \psi_2 \cdot \phi \cdot M_q^{\max}$				Verificação	ELS-D Combinação Quase Permanente
Limite de Tração - $\sigma_t = 0$ (MPa)	0,00	Limite de Compressão - $\sigma_c = 0,7 \cdot f_{ck}$ (MPa)			28,0			
$N_{p,t=ss}/A$ (MPa)	$M_{p,t=ss}/W$ (MPa)	M_g/W (MPa)	$\psi_2 \cdot \phi \cdot M_q^{\max}/W$ (MPa)	$\sigma_{atuante}$ (MPa)				
Bordo Superior	11,16	-15,51	19,36	4,13	19,13	ok!		
Bordo Inferior	11,16	21,14	-26,39	-5,63	0,28	ok!		
Tempo Infinito			Ações: $M_g + M_{P(t=\infty)} + \psi_2 \cdot \phi \cdot M_q^{\min}$				Verificação	ELS-D Combinação Quase Permanente
Limite de Tração - $\sigma_t = 0$ (MPa)	0,00	Limite de Compressão - $\sigma_c = 0,7 \cdot f_{ck}$ (MPa)			28,0			
$N_{p,t=ss}/A$ (MPa)	$M_{p,t=ss}/W$ (MPa)	M_g/W (MPa)	$\psi_2 \cdot \phi \cdot M_q^{\min}/W$ (MPa)	$\sigma_{atuante}$ (MPa)				
Bordo Superior	11,16	-15,51	19,36	0,00	15,01	ok!		
Bordo Inferior	11,16	21,14	-26,39	0,00	5,91	ok!		

5.1.1.9 Dimensionamento à Tração Máxima no Bordo Superior

Obs.: Não foi identificada tensões de tração no bordo superior.

5.1.1.10 Dimensionamento à Tração Máxima no Bordo Inferior

$$\sigma: \begin{cases} \sigma_{sup} = 2883,08 \text{ tf/m}^2 \\ \sigma_{inf} = -1309,30 \text{ tf/m}^2 \end{cases}$$

$$z = h \times \sigma_{inf} / (\sigma_{sup} + \sigma_{inf}) = 0,4747 \text{ m} = 47,47 \text{ cm}$$

Altura z é relativa a uma área de:

$$A = 0,54 \times 0,20 + \frac{(0,60 + 0,24) \times 0,20}{2} + 0,0747 \times 0,24 = 0,2099 \text{ m}^2$$

$$T = \sigma_{sup} \times A = 274,86 \text{ tf}$$

$$A_s = \frac{144,11}{4,35} = 63,19 \text{ cm}^2$$

5.1.1.11 Armadura Vertical

Tabela 7 - Dimensionamento da armadura transversal

SEÇÃO	Vg1	Vg2	Vg3	Vg	Vq	Vd	τ_{wd}	2,5trd	As
S0	24,57	18,59	20,02	63,18	45,53	153,59	37,64	9,50	17,32
S1	19,66	14,87	16,02	50,55	39,45	127,42	31,23	9,50	13,37
S2	14,74	11,15	12,01	37,90	33,67	101,67	24,92	9,50	9,49
S3	9,83	7,44	8,01	25,28	28,18	76,40	18,73	9,50	5,68
S4	4,91	3,72	4,00	12,63	22,99	51,54	12,63	9,50	1,93
S5	0,00	0,00	0,00	0,00	18,11	27,17	6,66	9,50	-1,75

5.1.2 Lajes do Balanço

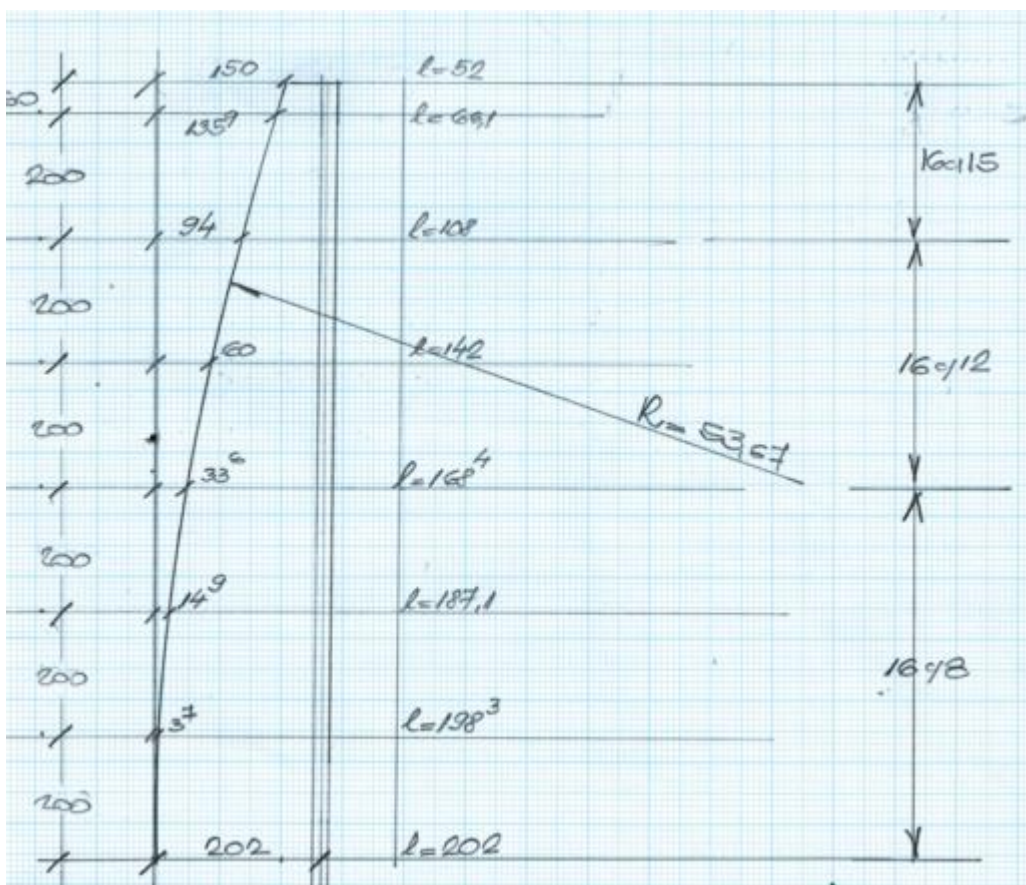


Figura 11 - Esquema da laje em balanço

Tabela 8 - Dimensionamento da laje do balanço

Trecho de laje em balanço					
Esforços devido a g					
$g = 0,22 \times 2,50 + 0,07 \times 2,40 = 0,72 \text{ tf/m}^2$ $G_{defensa} = 1,87 \text{ tf a } 15\text{cm da borda externa}$ $Mg = \frac{g \times l^2}{2} ; Mg_{def} = G_{def} \times (l - 0,15)$					
L	Mg	Mg _{def}	Mg		
2,02 m	1,47 tfm	3,50 tfm	4,97 tfm		
1,50 m	0,81 tfm	2,52 tfm	3,33 tfm		
1,00 m	0,36 tfm	1,59 tfm	1,95 tfm		
0,50 m	0,09 tfm	0,65 tfm	0,74 tfm		
Esforços devido a q e a g+q					
$P = 6 \times 1,40 = 8,40 \text{ tf a } 0,90\text{cm do bordo externo}$ $Mp^* = \frac{((l - 0,4)^2 \times 1,40 \times 0,50)}{2}$ $Mp^{**} = \frac{8,40 \times (l - 0,90)}{2 \times (l - 0,90)}$					
L	Mp*	Mp**	Mp	Mg	Mg+p
2,02 m	0,92 tfm	5,38 tfm	6,30 tfm	4,97 tfm	11,26 tfm
1,50 m	0,42 tfm	4,20 tfm	4,62 tfm	3,33 tfm	7,96 tfm
1,00 m	0,13 tfm	4,20 tfm	4,33 tfm	1,95 tfm	6,28 tfm
0,50 m	0,00 tfm	0,00 tfm	0,00 tfm	0,74 tfm	0,75 tfm
Dimensionamento					
Mg+p	d	β _c	β _z	As	
11,26 tfm	0,18 m	0,267	0,804	25,05 cm ² /m	Ø16c/8
7,96 tfm	0,18 m	0,189	0,872	16,32 cm ² /m	Ø16c/12
6,28 tfm	0,18 m	0,149	0,903	12,43 cm ² /m	Ø16c/16
0,75 tfm	0,18 m	0,018	0,980	1,36 cm ² /m	Ø16c/16

5.1.3 Lajes do Vão

5.1.3.1 Carregamentos Devido ao Trem Tipo (Tabelas de Rusch) – Laje Biapoiada

Tabela 9 - Valores de M_{xm} para laje biapoiada

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0		
	L	L	L	L	p	p'
0,50	0,2	0,17	0,112	0,065	0,0	0,0
1,0	0,351	0,3	0,237	0,176	0,0	0,15
1,5	0,431	0,4	0,351	0,305	0,1	0,23
2,0	0,52	0,491	0,461	0,421	0,25	0,4
2,5	0,62	0,59	0,56	0,53	0,58	0,96
3,0	0,72	0,69	0,67	0,63	1,0	1,35
4,0	0,87	0,85	0,82	0,8	2,2	2,85
5,0	0,99	0,98	0,95	0,93	3,46	5,65
6,0	1,08	1,07	1,04	1,02	4,7	8,0
7,0	1,15	1,14	1,11	1,1	5,75	11,8
8,0	1,2	1,19	1,17	1,15	6,9	16,4
9,0	1,24	1,23	1,21	1,2	8,0	22,1
10,0	1,27	1,26	1,24	1,23	9,12	28,7

$$M_L = 0,380$$

$$M_p = 0,050$$

$$M_{p'} = 0,190$$

$$M_{xm} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$$

$$M_{xm} = 1,35 \times (7,5 \times 0,380 + 0,5 \times 0,050 + 0,5 \times 0,190)$$

$$M_{xm} = 4,005 \text{ tf.m/m}$$

Tabela 10 - Valores de M_{ym} para laje biapoiada

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'
	L	L	L	L		
0,50	0,155	0,095	0,069	0,028	0,0	0,0
1,0	0,223	0,158	0,11	0,063	0,0	0,03
1,5	0,267	0,22	0,16	0,118	0,02	0,07
2,0	0,322	0,263	0,228	0,179	0,04	0,12
2,5	0,382	0,338	0,29	0,253	0,1	0,24
3,0	0,457	0,408	0,361	0,323	0,17	0,4
4,0	0,58	0,53	0,472	0,433	0,37	1,03
5,0	0,69	0,64	0,58	0,53	0,58	2,03
6,0	0,77	0,73	0,66	0,62	0,78	3,06
7,0	0,84	0,8	0,73	0,7	0,92	4,54
8,0	0,9	0,86	0,8	0,76	1,29	6,28
9,0	0,96	0,91	0,85	0,82	1,3	8,25
10,0	1,02	0,95	0,9	0,87	1,46	10,67

$$M_L=0,229$$

$$M_p=0,010$$

$$M_{p'}=0,050$$

$$M_{ym} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$$

$$M_{ym} = 1,35 \times (7,5 \times 0,229 + 0,5 \times 0,010 + 0,5 \times 0,050)$$

$$M_{ym} = 2,362 \text{ tf.m/m}$$

5.1.3.2 Carregamentos Devido ao Trem Tipo (Tabelas de Rusch) – Laje Biapoiada

Tabela 11 - Valores de M_{xm} para laje apoiada e engastada

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125 L	0,250 L	0,5 L	1,0 L	p	p'
0,50	0,155	0,116	0,066	0,05	0,0	0,0
1,0	0,24	0,19	0,148	0,096	0,01	0,0
1,5	0,362	0,313	0,254	0,189	0,09	0,0
2,0	0,475	0,428	0,36	0,295	0,18	0,1
2,5	0,58	0,52	0,451	0,385	0,33	0,2
3,0	0,63	0,6	0,53	0,466	0,4	0,45
4,0	0,75	0,72	0,66	0,59	0,6	1,55
5,0	0,84	0,82	0,76	0,69	0,93	3,06
6,0	0,91	0,89	0,83	0,77	1,4	5,3
7,0	0,97	0,96	0,89	0,83	2,2	5,4
8,0	1,02	1,01	0,97	0,88	3,3	12,1
9,0	1,06	1,05	0,98	0,92	4,6	15,8
10,0	1,09	1,08	1,01	0,95	6,0	19,5

$$M_L=0,287$$

$$M_p=0,050$$

$$M_{p'}=0,0$$

$$M_{xm} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$$

$$M_{xm} = 1,35 \times (7,5 \times 0,287 + 0,5 \times 0,050 + 0,5 \times 0,0)$$

$$M_{xm} = 2,941 \text{ tf.m/m}$$

M_{ym} (Tabela 12)

Tabela 12 - Valores de Mym para laje apoiada e engastada

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0		
	L	L	L	L	p	p'
0,50	0,116	0,061	0,024	0,013	0,0	0,0
1,0	0,165	0,104	0,069	0,038	0,0	0,01
1,5	0,219	0,166	0,109	0,068	0,02	0,01
2,0	0,271	0,213	0,148	0,1	0,03	0,03
2,5	0,317	0,262	0,194	0,142	0,06	0,11
3,0	0,37	0,321	0,253	0,202	0,07	0,23
4,0	0,467	0,421	0,353	0,304	0,1	0,64
5,0	0,55	0,51	0,452	0,395	0,16	1,2
6,0	0,63	0,59	0,53	0,477	0,24	1,98
7,0	0,7	0,66	0,61	0,55	0,38	3,15
8,0	0,75	0,71	0,67	0,61	0,58	4,17
9,0	0,79	0,76	0,71	0,65	0,82	5,48
10,0	0,82	0,79	0,74	0,69	1,07	7,13

$$ML=0,176$$

$$Mp=0,010$$

$$Mp'=0,010$$

$$Mym = \varphi \times (P \times ML + p \times Mp + p' \times Mp')$$

$$Mym = 1,35 \times (7,5 \times 0,176 + 0,5 \times 0,010 + 0,5 \times 0,010)$$

$$Mym = 1,796 \text{ tf.m/m}$$

Tabela 13 - Valores de Mxe para laje apoiada e engastada

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'
	L	L	L	L		
0,50	0,25	0,2	0,13	0,079	0,0	0,1
1,0	0,382	0,34	0,255	0,19	0,0	0,2
1,5	0,48	0,45	0,39	0,34	0,05	0,4
2,0	0,72	0,7	0,66	0,55	0,1	0,55
2,5	0,88	0,86	0,84	0,73	0,25	0,64
3,0	1,0	0,98	0,96	0,9	0,5	1,4
4,0	1,2	1,18	1,16	1,12	1,1	3,9
5,0	1,34	1,33	1,31	1,28	1,75	7,03
6,0	1,45	1,44	1,42	1,38	2,1	11,45
7,0	1,53	1,52	1,51	1,46	2,6	17,4
8,0	1,58	1,57	1,56	1,51	3,0	24,1
9,0	1,6	1,6	1,6	1,54	3,45	32,1
10,0	1,61	1,61	1,61	1,55	3,91	39,8

$$M_L=0,421$$

$$M_p=0,025$$

$$M_{p'}=0,300$$

$$M_{xe} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$$

$$M_{xe} = 1,35 \times (7,5 \times 0,421 + 0,5 \times 0,025 + 0,5 \times 0,300)$$

$$M_{xe} = -4,481 \text{ tf.m/m}$$

5.1.3.3 Carregamentos Devido ao Trem Tipo (Tabelas de Rusch) – Laje Biengastada

Tabela 14 - Valores de Mxm para laje biengastada

	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'
	L	L	L	L		
0,50	0,118	0,083	0,041	0,02	0,0	0,0
1,0	0,171	0,129	0,078	0,061	0,0	0,0
1,5	0,266	0,216	0,175	0,12	0,0	0,05
2,0	0,332	0,29	0,25	0,195	0,0	0,1
2,5	0,399	0,357	0,318	0,264	0,0	0,27
3,0	0,452	0,415	0,37	0,33	0,3	0,53
4,0	0,56	0,52	0,485	0,44	0,8	1,11
5,0	0,65	0,62	0,58	0,53	1,25	1,79
6,0	0,74	0,71	0,67	0,63	1,65	2,9
7,0	0,82	0,79	0,75	0,7	2,0	4,5
8,0	0,87	0,85	0,81	0,76	2,4	6,3
9,0	0,91	0,89	0,85	0,8	2,75	8,4
10,0	0,94	0,91	0,87	0,82	3,12	10,55

$$ML=0,206$$

$$Mp=0,0$$

$$Mp'=0,025$$

$$Mxm = \varphi \times (P \times ML + p \times Mp + p' \times Mp')$$

$$Mxm = 1,35 \times (7,5 \times 0,206 + 0,5 \times 0,0 + 0,5 \times 0,025)$$

$$Mxm = 2,099 \text{ tf.m/m}$$

Tabela 15 - Valores de Mym para laje apoiada e engastada

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'
	L	L	L	L		
0,50	0,097	0,051	0,031	0,008	0,0	0,01
1,0	0,149	0,091	0,051	0,023	0,0	0,01
1,5	0,187	0,134	0,08	0,038	0,0	0,03
2,0	0,215	0,168	0,096	0,064	0,0	0,05
2,5	0,248	0,198	0,137	0,096	0,0	0,13
3,0	0,287	0,239	0,179	0,141	0,05	0,24
4,0	0,361	0,315	0,262	0,222	0,13	0,57
5,0	0,43	0,389	0,338	0,295	0,21	0,83
6,0	0,498	0,457	0,412	0,37	0,28	1,33
7,0	0,56	0,52	0,479	0,433	0,33	2,03
8,0	0,61	0,58	0,54	0,49	0,42	2,89
9,0	0,66	0,63	0,59	0,54	0,48	3,82
10,0	0,71	0,67	0,63	0,58	0,56	4,85

$$ML=0,152$$

$$Mp=0,0$$

$$Mp'=0,020$$

$$Mym= \varphi \times (P \times ML + p \times Mp + p' \times Mp')$$

$$Mym=1,35 \times (7,5 \times 0,152 + 0,5 \times 0,0 + 0,5 \times 0,020)$$

$$Mym=1,557 \text{ tf.m/m}$$

Tabela 16 - Valores de Mxe para laje apoiada e engastada

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'
	L	L	L	L		
0,50	0,25	0,19	0,12	0,05	0,0	0,1
1,0	0,32	0,26	0,18	0,09	0,0	0,28
1,5	0,42	0,4	0,34	0,25	0,0	0,35
2,0	0,58	0,56	0,51	0,4	0,03	0,35
2,5	0,72	0,7	0,66	0,55	0,08	0,37
3,0	0,85	0,84	0,8	0,78	0,2	0,8
4,0	1,06	1,06	1,01	0,98	0,55	2,2
5,0	1,21	1,21	1,18	1,14	1,0	4,25
6,0	1,32	1,32	1,3	1,26	1,4	7,6
7,0	1,41	1,41	1,4	1,36	2,0	11,8
8,0	1,47	1,47	1,47	1,44	2,4	16,2
9,0	1,52	1,52	1,52	1,5	3,0	21,6
10,0	1,54	1,54	1,54	1,53	3,5	26,3

$$M_L=0,359$$

$$M_p=0,0$$

$$M_{p'}=0,315$$

$$M_{xe} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$$

$$M_{xe}=1,35 \times (7,5 \times 0,359 + 0,5 \times 0,0 + 0,5 \times 0,315)$$

$$M_{xe}=-3,845 \text{ tf.m/m}$$

5.1.3.4 Carregamento Devido ao Peso Próprio da Laje

$$g = 0,22 \times 2,50 + 0,07 \times 2,40 + 0,20 = 0,918 \text{ tf/m}^2$$

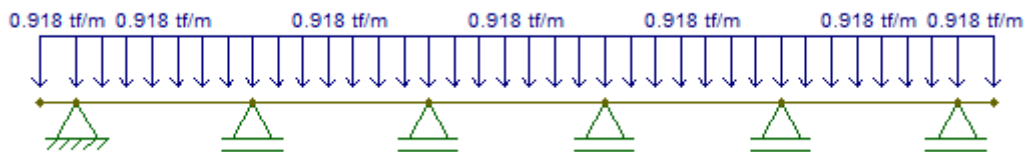


Figura 12 - Carregamento devido ao peso próprio

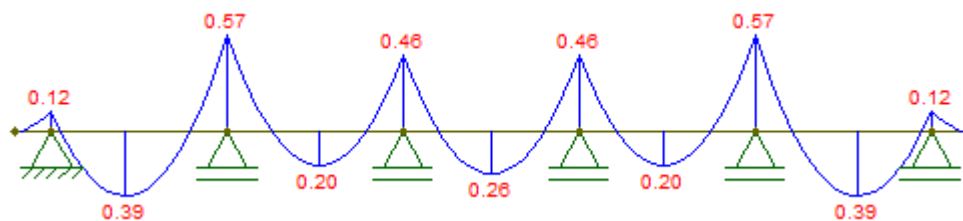


Figura 13 - Diagrama de momento fletor devido ao peso próprio

5.1.3.5 Distribuição dos Esforços Por Método de Cross

Tabela 17 - Distribuição dos esforços por Cross


											
0,00		4,48		0,00		0,00		0,00		0,00	
1,00	0,43	0,57	0,50	0,50	0,50	0,50	0,57	0,43	1,00		
0,00 →	0,00								0,00 ←	0,00	
	4,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	-1,92	-2,56 →	-1,28								
		0,32 ←	0,64	0,64 →	0,32						
				-0,08 ←	-0,16	-0,16 →	-0,08				
						0,02 ←	0,05	0,03			
				-0,01 ←	-0,01	-0,01 →	-0,01				
		0,02 ←	0,04	0,04 →	0,02						
	-0,15	-0,20 →	-0,10								
		0,02 ←	0,05	0,05 →	0,02						
				-0,01 ←	-0,02	-0,02 →	-0,01				
						0,00 ←	0,01	0,01			
				0,00 ←	0,01	0,01 →	0,00				
	-0,01	-0,02 →	-0,01								
		0,00 ←	0,00	0,00 →	0,00						
				0,00 ←	0,00	0,00 →	0,00				
						0,00 ←	0,00	0,00			
				0,00 ←	0,00	0,00 →	0,00	0,00			
	0,00	2,40	-2,40	-0,64	0,64	0,17	-0,17	-0,04	0,04	0,00	

Tabela 18 - Distribuição dos esforços por Cross


											
0,00		0,00		-3,85		3,85		0,00		0,00	
	1,00	0,43	0,57	0,50	0,50	0,50	0,50	0,57	0,43	1,00	
	0,00 →	0,00								0,00 ←	0,00
		0,00	-3,85	3,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		1,65	2,20 →	1,10							
			-1,24 ←	-2,48	-2,48 →	-1,24					
					0,31 ←	0,62	0,62 →	0,31			
							-0,09 ←	-0,18	-0,13		
					0,02 ←	0,04	0,04 →	0,02			
			-0,08 ←	-0,17	-0,17 →	-0,08					
	0,57	0,75 →	0,38								
		-0,09 ←	-0,19	-0,19 →	-0,09						
					0,04 ←	0,09	0,09 →	0,04			
							-0,02 ←	-0,04	-0,03		
					0,00 ←	0,01	0,01 →	0,00			
			-0,01 ←	-0,02	-0,02 →	-0,01					
	0,05	0,06 →	0,03								
		-0,01 ←	-0,02	-0,02 →	-0,01						
					0,00 ←	0,01	0,01 →	0,00			
							0,00 ←	-0,01	0,00		
					0,00 ←	0,00	0,00 →	0,00			
	0,00	2,26	-2,27	2,49	-2,48	-0,66	0,66	0,17	-0,17	0,00	

Tabela 19 - Distribuição dos esforços por Cross


																	
0,00		0,00		0,00		0,00		-3,85		3,85		0,00		0,00		0,00	
	1,00	0,43	0,57	0,50	0,50	0,50	0,50	0,57	0,43	1,00							
	0,00 →	0,00												0,00 ←	0,00		
		0,00	0,00	0,00	-3,85	3,85	0,00	0,00	0,00								
		0,00	0,00 →	0,00													
			0,96 ←	1,93	1,93 →	0,96											
					-1,20 ←	-2,41	-2,41 →	-1,20									
							0,34 ←	0,69	0,52								
					-0,09 ←	-0,17	-0,17 →	-0,09									
			0,32 ←	0,64	0,64 →	0,32											
		-0,55	-0,73 →	-0,37													
			0,09 ←	0,18	0,18 →	0,09											
					-0,10 ←	-0,21	-0,21 →	-0,10									
							0,05 ←	0,11	0,08								
					-0,01 ←	-0,03	-0,03 →	-0,01									
			0,03 ←	0,06	0,06 →	0,03											
		-0,05	-0,07 →	-0,03													
			0,01 ←	0,02	0,02 →	0,01											
					-0,01 ←	-0,02	-0,02 →	-0,01									
							0,01 ←	0,01	0,01								
					0,00 ←	0,00	0,00 →	0,00									
	0,00	-0,60	0,61	2,43	-2,44	2,43	-2,43	-0,61	0,61	0,00							

Tabela 20 - Distribuição dos esforços por Cross



																	
0,00		4,48		0,00		0,00		-3,85		3,85		0,00		0,00		0,00	
	1,00	0,43	0,57	0,50	0,50	0,50	0,50	0,57	0,43	1,00							
	0,00 →	0,00												0,00 ←	0,00		
		4,48	0,00	0,00	-3,85	3,85	0,00	0,00	0,00	0,00							
		-1,92	-2,56 →	-1,28													
			1,28 ←	2,57	2,57 →	1,28											
					-1,28 ←	-2,57	-2,57 →	-1,28									
							0,37 ←	0,73	0,55								
					-0,09 ←	-0,18	-0,18 →	-0,09									
			0,34 ←	0,69	0,69 →	0,34											
		-0,70	-0,93 →	-0,46													
			0,12 ←	0,23	0,23 →	0,12											
					-0,11 ←	-0,23	-0,23 →	-0,11									
							0,06 ←	0,12	0,09								
					-0,01 ←	-0,03	-0,03 →	-0,01									
			0,03 ←	0,06	0,06 →	0,03											
		-0,06	-0,08 →	-0,04													
			0,01 ←	0,02	0,02 →	0,01											
					-0,01 ←	-0,02	-0,02 →	-0,01									
							0,01 ←	0,01	0,01								
					0,00 ←	0,00	0,00 →	0,00									
	0,00	1,80	-1,79	1,78	-1,80	2,60	-2,60	-0,65	0,65	0,00							

Tabela 21 - Distribuição dos esforços por Cross

											
0,00		0,00		-3,85		3,85		0,00		0,00	
	1,00	0,43	0,57	0,50	0,50	0,50	0,50	0,57	0,43	1,00	
	0,00 →	0,00								0,00 ←	0,00
		0,00	-3,85	3,85	0,00	0,00	-3,85	3,85	0,00		
		1,65	2,20 →	1,10							
			-1,24 ←	-2,48	-2,48 →	-1,24					
					1,27 ←	2,54	2,54 →	1,27			
							-1,46 ←	-2,93	-2,20		
					0,37 ←	0,73	0,73 →	0,37			
			-0,41 ←	-0,82	-0,82 →	-0,41					
		0,71	0,94 →	0,47							
			-0,12 ←	-0,24	-0,24 →	-0,12					
					0,13 ←	0,26	0,26 →	0,13			
							-0,14 ←	-0,28	-0,21		
					0,04 ←	0,07	0,07 →	0,04			
			-0,04 ←	-0,08	-0,08 →	-0,04					
		0,07	0,09 →	0,05							
			-0,01 ←	-0,02	-0,02 →	-0,01					
					0,01 ←	0,03	0,03 →	0,01			
							-0,01 ←	-0,03	-0,02		
					0,00 ←	0,01	0,01 →	0,00			
	0,00	2,42	-2,44	1,83	-1,81	1,83	-1,83	2,43	-2,43	0,00	

5.1.3.6 Dimensionamento

Tabela 22 - Dimensionamento da laje

Esforços solicitantes						
	V1	vão	V2	vão	V3	vão
Mg	0,00	0,39	-0,57	0,20	-0,46	0,26
Carga variável	Caso 1	0,00	-2,40		0,64	
	Caso 2	0,00	-2,26		-2,49	
	Caso 3	0,00	0,60		-2,44	
	Caso 4	0,00	-1,80		-1,78	
	Caso 5	0,00	-2,42		-1,83	
	Mx,max		4,01		4,01	
Mq1	0,00	4,01	0,60	4,01	0,64	4,01
Mq2	0,00	0,00	-2,42	0,00	-2,49	0,00
Md1	0,00	6,54	0,33	6,29	0,50	6,37
Md2	0,00	0,39	-4,40	0,20	-4,36	0,26
Dimensionamento da armadura inferior						
d	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185
fcd	1428	1428	1428	1428	1428	1428
Md1	0,00	6,54	0,33	6,29	0,50	6,37
0,80*Mq1	0,00	3,21	0,48	3,21	0,51	3,21
β_c	0,000	0,134	0,007	0,129	0,010	0,130
β_z	0,95	0,91	0,95	0,91	0,95	0,90
As	0,00 cm ²	8,93 cm ²	0,43 cm ²	8,58 cm ²	0,65 cm ²	8,79 cm ²
As,f	0,00 cm ²	10,59 cm ²	1,52 cm ²	10,59 cm ²	1,62 cm ²	10,70 cm ²
Dimensionamento da armadura superior						
d	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185	0,185
fcd	1428	1428	1428	1428	1428	1428
Md2	0,00	0,39	4,40	0,20	4,36	0,26
0,80*Mq2	0,00	0,00	1,94	0,00	1,99	0,00
β_c	0,000	0,008	0,090	0,004	0,089	0,005
β_z	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,90
As	0,00 cm ²	0,51 cm ²	5,75 cm ²	0,26 cm ²	5,70 cm ²	0,36 cm ²
As,f	0,00 cm ²	0,00 cm ²	6,12 cm ²	0,00 cm ²	6,30 cm ²	0,00 cm ²

5.2 MEMÓRIA DE CÁLCULO – MESOERESTRUTURA E INFRAESTRUTURA

5.2.1 Muro de Estacas

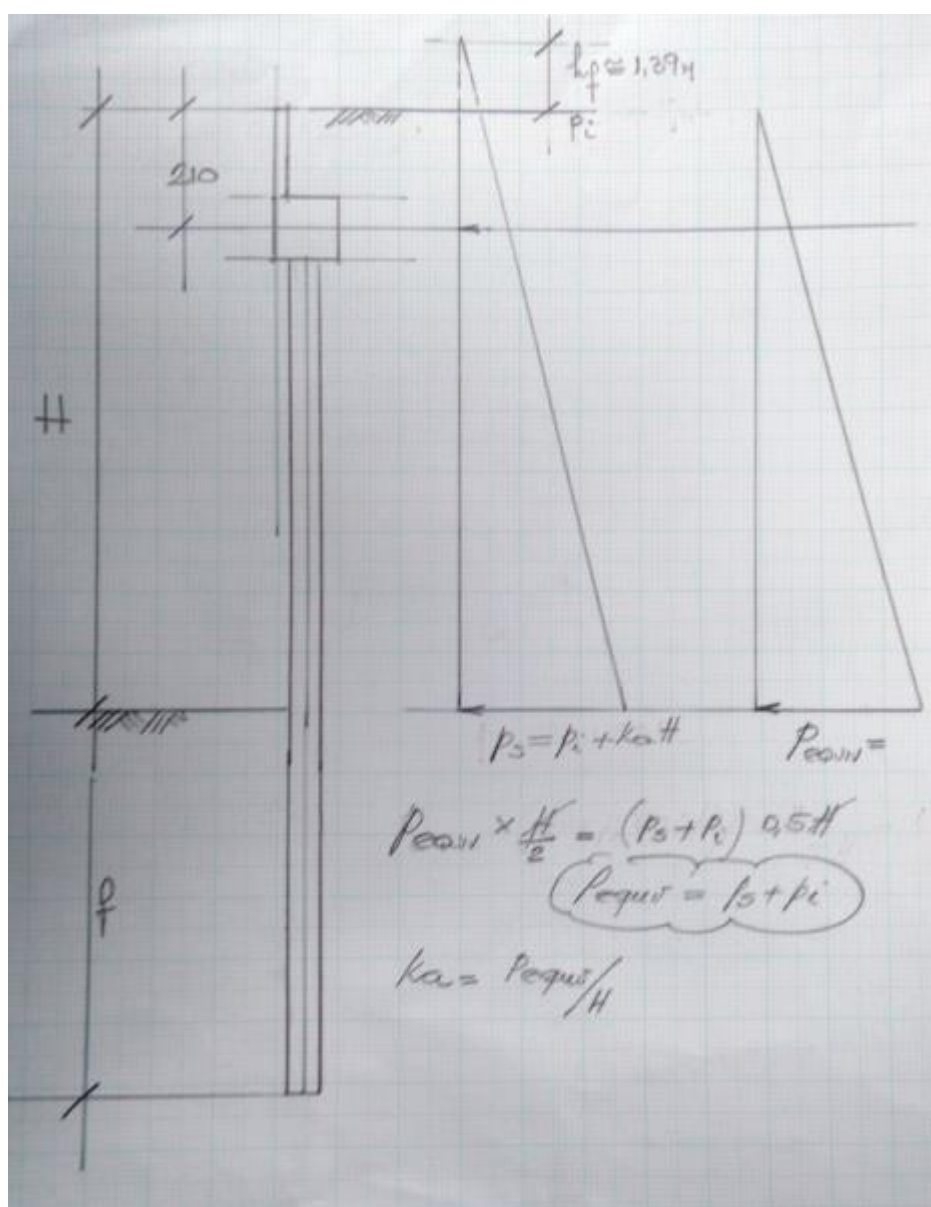


Figura 14 - Exemplificação de cálculo das paredes de contenção

Tabela 23 - Dimensionamento à estabilidade do muro

H	pi	ps	pequiv	ka	kp/ka	ha/h	a	f	m	t	A	M	As
7,00	5,03	0,83	5,86	0,837	7,17	0,29	32,00	0,75	75,00	5,25	13,12	21,53	12Ø20
7,50	5,33	0,83	6,16	0,822	7,30	0,29	30,00	0,75	73,30	5,62	13,85	25,39	16Ø20
8,00	5,63	0,83	6,46	0,808	7,43	0,28	29,60	0,75	71,70	6,00	15,61	29,66	18Ø20
8,50	5,93	0,83	6,76	0,795	7,54	0,28	29,20	0,75	70,00	6,38	16,77	34,18	14Ø25
9,00	6,23	0,83	7,06	0,785	7,65	0,27	28,80	0,75	68,30	6,75	18,29	39,04	16Ø25
9,50	6,53	0,83	7,36	0,775	7,74	0,27	28,40	0,75	66,70	7,12	19,86	44,31	18Ø25
10,00	6,83	0,83	7,66	0,766	7,83	0,27	28,00	0,75	65,00	7,50	21,45	49,79	18Ø25

Tabela 24 - Dimensionamento a flexo-compressão do muro

H	μ	ω	ρ (%)	As	
7,00	0,094	0,350	1,210	34,212	12Ø20
7,50	0,112	0,450	1,560	44,108	16Ø20
8,00	0,129	0,520	1,810	51,177	18Ø20
8,50	0,150	0,620	2,150	60,790	14Ø25
9,00	0,167	0,720	2,500	70,686	16Ø25
9,50	0,193	0,850	2,950	83,409	18Ø25
10,00	0,215	0,950	3,300	93,305	18Ø25

5.2.2 Tirantes

- Tirantes para 15tf cada:

F permanente = 15tf

F ruptura = 2,5 x 15 = 37,5tf

F teste = 15/0,7 = 21,43tf

F ruptura = 9,2 x Nspt x F x L x k

sendo,

F = 10cm = 0,1m

k = 1,0

Nspt = 5

$$37,5 = 9,2 \times 5 \times 0,1 \times L \times 1,0$$

$$L = 37,5/4,60 = 8,15\text{m}$$

$$L \text{ ancorado} = 9,00\text{m}$$

- Tirantes para 28tf cada:

$$F \text{ permanente} = 28\text{tf}$$

$$F \text{ ruptura} = 2,5 \times 28 = 70,0\text{tf}$$

$$F \text{ teste} = 28/0,7 = 40,0\text{tf}$$

$$F \text{ ruptura} = 9,2 \times N_{\text{spt}} \times F \times L \times k$$

sendo,

$$F = 10\text{cm} = 0,1\text{m}$$

$$k = 1,0$$

$$N_{\text{spt}} = 4$$

$$70,0 = 9,2 \times 4 \times 0,1 \times L \times 1,0$$

$$L = 70,0/3,68 = 19,02\text{m}$$

$$L \text{ ancorado} = 19,50\text{m}$$

- Tirantes para 30tf cada:

$$F \text{ permanente} = 30\text{tf}$$

$$F \text{ ruptura} = 2,5 \times 30 = 75,0\text{tf}$$

$$F \text{ teste} = 30/0,7 = 42,85\text{tf}$$

$$F_{\text{rutura}} = 9,2 \times N_{\text{spt}} \times F \times L \times k$$

sendo,

$$F = 10\text{cm} = 0,1\text{m}$$

$$k = 1,0$$

$$N_{\text{spt}} = 4$$

$$75,0 = 9,2 \times 4 \times 0,1 \times L \times 1,0$$

$$L = 75,0/3,68 = 20,38\text{m}$$

$$L_{\text{ancorado}} = 21,00\text{m}$$

6. BIBLIOGRAFIA

A bibliografia básica utilizada foi:

PFEIL, Walter. Cimbramentos. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora.

BELUZZI, O. Ciência de la construccion. Aguilar, vol. 2.

RUSCH, Herbert. "Concreto armado e protendido - propriedades dos materiais e dimensionamento". Rio de Janeiro, Editora Campus Ltda", 1981.

BARES, Richard. "Tablas para el cálculo de placas y vigas pared". Barcelona, G.G. Editorial Gustavo Gili, 1970.

PFEIL, Walter. "Dimensionamento do concreto armado à flexão composta". Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1976.

LEONHARDT, F. & MÖNNING, E. "Construções de Concreto - Princípios Básicos do Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado". Rio de Janeiro, Editora Interciência. Vol. 1, 1982.

ZELLERER, Ernst. "Durchlaufträger - Einflußlinien und Momentenlinien". Berlin - München, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, 1967.

JIMÉMEZ MONTOYA, P. "Hormigón armado". Barcelona, G.G. Editorial Gustavo Gili, vol.1, 1971.

GOTTHARD, F. "Beton-Kalender 1980, Tomo 2". Berlin, Verlag Von Wilhelm Ernest & Sohn, 1980.

GRATTLSAT,G. "Conception des ponts". Paris, Collection Cours de l'E.N.P.C., Ed. Eyrolles,1978.

PFEIL, W. "Pontes em Concreto Armado", vol1 e 2. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1983.

GUERRIN, A. "Traité de béton armé", tome 11. Paris, Dunod, 1969.

TERZAGHI, Karl; PECK, Ralph. "Mecânica dos Solos na prática de engenharia". Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico S.A., 1962.

RÜSCH, H. "BerechnungsfelnfürrechtwinkligeFahrbahnplattenvonStrabenrückten". Berlin - München, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, 1965.

GUYON, Y. "Constructions en béton précontraint: Classes - Etats limites - Tome 1", Paris, Editions Eyrolles, 1966.

TIMOSCHENKO, S. "Resistência dos materiais. Vol. II". Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico S.A., 1966.

MOREIRA DA ROCHA, A.. "Novo curso prático de concreto armado e protendido". Rio de Janeiro, Editora Científica, 1972.

MODESTO DOS SANTOS, L.. "Cálculo de concreto armado segundo a NB-1/78 e o CEB". São Paulo, LMS Ltda, 1981.

VASCONCELOS, A.C., "Manual prático para a correta utilização dos aços no concreto protendido em obediência às normas atualizadas". Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, e Belo Horizonte, Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira, 1980.

LEONHARTDT, F. "Hormigón pretensado". Madrid, Instituto Eduardo Torroja da la Construcción y del Cemento, 1967.

FUNDESP. "Fundações especiais". São Paulo, Fundações Especiais Ltda. 5a edição, junho/2001

Publicações da VSL e da Protende sobre protensão e fretagem.

7. NORMAS TÉCNICAS

Foram obedecidas as normas técnicas da ABNT em vigor:

- NBR 6118/2014 – Projeto e execução de obras de concreto - Procedimento;
- NBR 6122/2010 – Projeto e execução de Fundações.
- NBR 7187/2004 – Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido;
- NBR 7188/2013 – Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre;
- NBR 9062/2006 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado;
- Norma ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento
- Norma ABNT NBR 6122:1996 - Projeto e execução de fundações – Procedimento
- Norma ABNT NBR 7187:2013 - Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento
- Norma ABNT NBR 7188:2013 - Carga móvel em pontes rodoviárias
- Norma ABNT NBR 7480:1996 - Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado – Especificação.
- Norma ABNT NBR 7480:2007 - Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado - Especificação
- Norma ABNT NBR 7482:2008 - Fios de aço para concreto protendido - Especificação
- Norma ABNT NBR 7483:2008 Cordoalhas de aço para concreto protendido - Especificação
- Norma ABNT NBR 8953:1992 - Concreto para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência – Classificação
- Norma ABNT NBR 8953:2015 - Concreto para fins estruturais - Classificação por grupos de resistência – Classificação

8. ESPECIFICAÇÕES DE SERVIÇOS

- DER/PR ES-OA 01/05 – Serviços Preliminares
- DER/PR ES-OA 02/05 – Concreto e Argamassas
- DER/PR ES-OA 03/05 – Armaduras para concreto armado
- DER/PR ES-OA 04/05 – Armaduras para concreto protendido
- DER/PR ES-OA 05/05 – Fôrmas
- DER/PR ES-OA 06/05 – Escoramentos
- DER/PR ES-OA 07/05 – Fundações
- DER/PR ES-OA 08/05 – Estruturas de concreto armado
- DER/PR ES-OA 09/05 – Estruturas de concreto protendido
- DER/SP ET-DE-C00/005 – Juntas de dilatação para obras de arte especiais

9. ESPECIFICAÇÕES DE MATERIAIS

- NBR 7480/96 (EB 3) – Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado;
- NBR 7481/90 (EB 565) – Tela de aço soldada - Armadura para concreto;
- NBR 7482/91 (EB 780) – Fios de aço para concreto protendido;
- NBR 7483/04 (EB 781) – Cordoalhas de aço para concreto protendido - Requisitos;
- DNER-EM 374/97 - Fios e barras de aço para concreto armado;
- DNER-EM 375/97 - Fios de aço para concreto protendido;
- DNER-EM 376/97 - Cordoalhas de aço para concreto protendido.
- NBR 5732/91 – EB1 – Cimento Portland comum;
- NBR 5733/91 – EB2 – Cimento Portland de alta resistência inicial;
- NBR 5735/91 – EB208 – Cimento Portland de alto-forno;
- NBR 5736/91 – EB758 – Cimento Portland pozolânico;
- NBR 7175/03 – EB153 – Cal hidratada para argamassas – requisitos;
- DER/PR EM-R 01/05 4/6
- DNER-EM 036/95 – Cimento Portland - Recebimento e Aceitação.
- NBR 7211/05 (EB 4) Agregado para concreto - Especificação;
- DNER-EM 037/97 – Agregado graúdo para concreto de cimento;
- DNER-EM 038/97 – Agregado miúdo para concreto de cimento.
- DNER-EM 034/97 – Água para argamassa e concreto de cimento Portland.
- NBR 7212/84 (EB 136) – Execução de concreto dosado em central;
- NBR 12655/96 – Preparo, controle e recebimento do concreto;
- NBR 14885/04 – Segurança de tráfego: barreiras de concreto;

10. TERMO DE ENCERRAMENTO

O Volume 3D – Memória de Cálculo de Estruturas- TOMO I, parte integrante do PROJETO DE ENGENHARIA PARA DUPLICAÇÃO DA RODOVIA PR-323 - km 299+624 AO km 304+113, é composto por 60 páginas, numeradas sequencialmente a partir do sumário, sendo esta a última página do relatório.

Curitiba, 16 de Outubro de 2020.

Djalma R. A. Martins Pereira – CREA PR-6259/D