

MEMORIA DE CÁLCULO

**PROJETO ESTRUTURAL SUPERESTRUTURA
PONTE SOBRE O RIO APUAÊ MIRIM
MUNICIPIO DE VIADUTOS - RS**

MAIO/2018

VOLUME I

Sumário

1. APRESENTAÇÃO	3
1.1. DADOS DA OBRA.....	3
2. MEMORIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA.....	3
3. NORMAS UTILIZADAS	5
4. PROGRAMA DE CÁLCULO	6
5. MEMORIA DE CÁLCULO	7
5.1.1. CARREGAMENTOS.....	8
5.1.1.1. PESO PRÓPRIO	8
5.1.1.2. GUARDA CORPO:	9
5.1.1.3. CARGA MOVEL	9
5.1.2. GRUPOS DE CARGAS E COMBINAÇÕES	14
5.1.3. RESULTADOS E DIMENSIONAMENTOS	15
5.1.3.1. LONGARINAS METÁLICAS.....	15
5.1.3.2. LAJES	17

1. APRESENTAÇÃO

O presente trabalho corresponde à execução de Projeto estrutural da superestrutura para Ponte sobre o Rio Apuaê Mirim.

1.1. DADOS DA OBRA

Obra: Ponte sobre o Rio Apuaê Mirim
Tipo de obra: Ponte Rodoviaria em estrutura mista
Localização: Viadutos - RS
Situação geométrica: Obra em nível
Extensão: 45m
Largura: 6,00m
Trem tipo: 30tf

➤ **Agressividade Ambiental:** Classe de Agressividade Ambiental II

➤ **Materiais**

- **Aço ASTM A36 ou equivalente** fyk = 250 Mpa
- **Aço comum: CA – 50** fyk = 500 Mpa
- **Elementos em concreto armado:**
 - **Superestrutura: C30** fck = 30 Mpa

2. MEMORIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

A Ponte sobre o Rio Apuaê Mirim possui extensão de 45m, em 3 vãos: 20m, 17m e 8m de comprimento cada. Atualmente a superestrutura é mista sendo formada por 2 vigas metálicas em chapa soldada por vão e tabuleiro de madeira. O projeto apresentado irá manter os comprimentos e a estrutura metálica existente substituindo o tabuleiro existente por peças em concreto pré-moldado e adicionando duas novas vigas metálicas em chapa soldada por vão afim de atender ao trem tipo TB30. A ligação entre as lajes pré-moldadas e os perfis metálicos será feita através de conectores tipo parafuso soldado. As seções existentes são travadas por diafragmas em perfil soldado.

A ponte possui largura total de 6,40m, com apenas uma pista de rolamento, dois passeios laterais e guarda corpo removível de tubo galvanizado.

Não faz parte do escopo do projeto a inspeção, verificação estrutural, reforço, projeto de aparelhos de apoio ou avaliação das meso e infraestruturas existentes.

Por tratar-se de via rural não serão indicadas juntas de vedação.

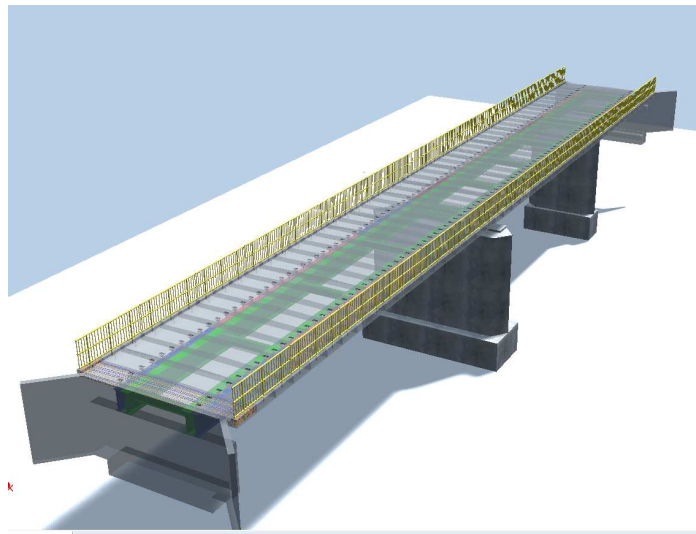
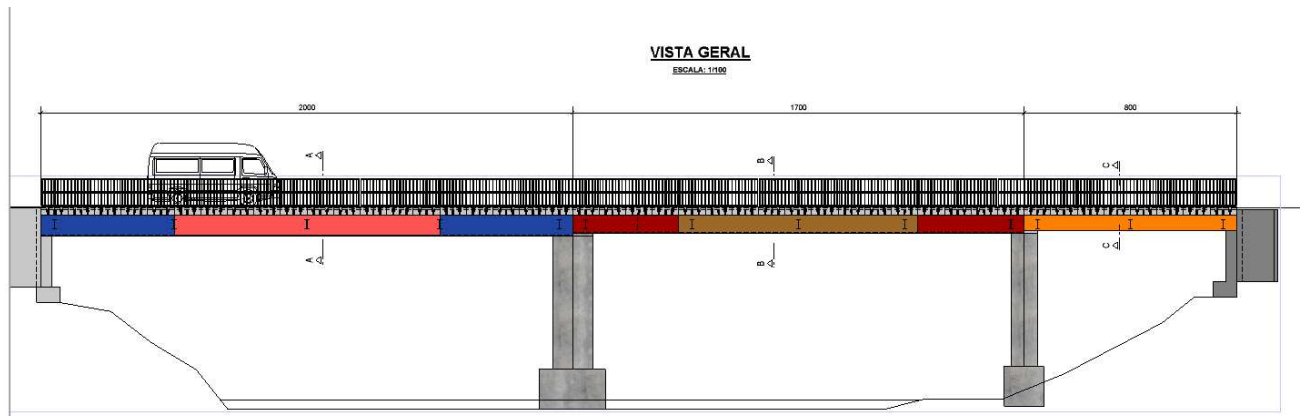
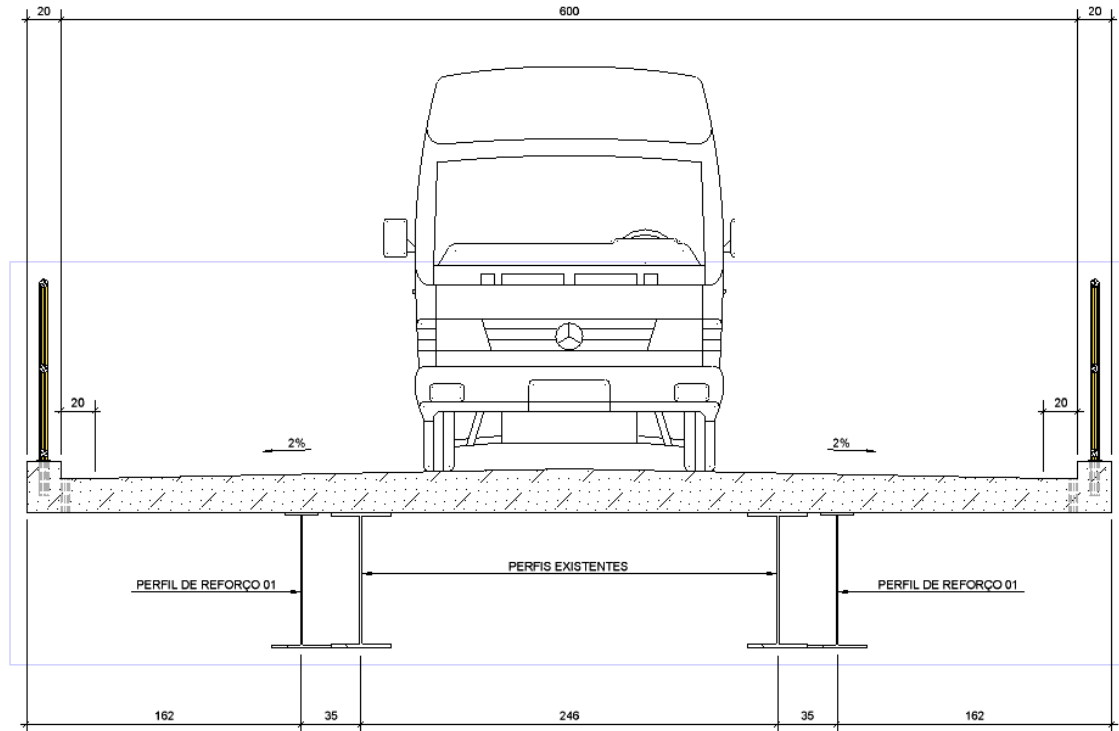


Figura 1: vista da ponte



CORTE AA

ESCALA: 1/25



3. NORMAS UTILIZADAS

Os estudos e projetos atendem o prescrito na IS-214, bem como o Manual de Inspeção de Pontes Rodoviárias - DNIT/2004, publicação IPR-709, a Norma de Inspeções de Pontes - DNIT-010/2004-PRO, o Manual de Projeto de Obras de Arte Especiais - DNER/1996 e demais Normas da ABNT, aplicáveis ao caso.

- NBR 7187/2003 – Projeto de pontes de concreto armado e protendido – Procedimento – ABNT;
- NBR 7188/2013 – Cargas móveis em pontes rodoviárias e passarela de pedestre – ABNT;
- NBR 6120/1980 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – ABNT;
- NBR 8681/2003 – Ações e Segurança nas estruturas – Procedimento – ABNT;
- NBR 6118/2014 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento – ABNT;
- NBR 6122/2010 – Projeto e execução de fundações – ABNT.

- NBR 8800/2008 – Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto – ABNT.
- NBR 9062/2006 – Projeto e execução de concreto pré-moldado - ABNT
- NBR 10839/1989 – Execução de obras especiais em concreto armado protendido – ABNT
- Normas, manuais e especificações aplicáveis ao caso.
- AASHTO – Standard specification for highway bridges /2002 – 17ª edition
- AASHTO LRFD – Bridge Design Specifications, 7th Edition, 2014.

4. PROGRAMA DE CÁLCULO

Para a determinação dos esforços solicitantes será utilizado o programa computacional STRAP (StructuralAnalysisProgram), versão PRO ADVANCED 2012,.

Este programas será utilizado para a geração da geometria dos modelos, composição de cargas, verificação de resultados e dimensionamento da estrutura metálica.

Para facilitar a construção de modelos estruturais, os programas estão divididos nas seguintes etapas:

- Geração da geometria: determinação das propriedades mecânicas das barras e dos elementos;
- Definição das condições de contorno (rotulas, apoios simples, engastes, molas,etc.);
- Definição dos carregamentos considerados (peso próprio, sobrecargas, cargas moveis, vento, etc.);
- Cálculo matricial do modelo;
- Verificação dos resultados.

Para o dimensionamento das peças em concreto foram utilizadas as planilhas de cálculo da própria projetista.

5. MEMORIA DE CÁLCULO

Para o cálculo da estrutura foram utilizados 3 modelos matemáticos:

- Modelo de cálculo 1: Modelo matemático da superestrutura do vão isostático de 20m.
- Modelo de cálculo 2: Modelo matemático da superestrutura do vão isostático de 17m.
- Modelo de cálculo 3: Modelo matemático da superestrutura do vão isostático de 8m.

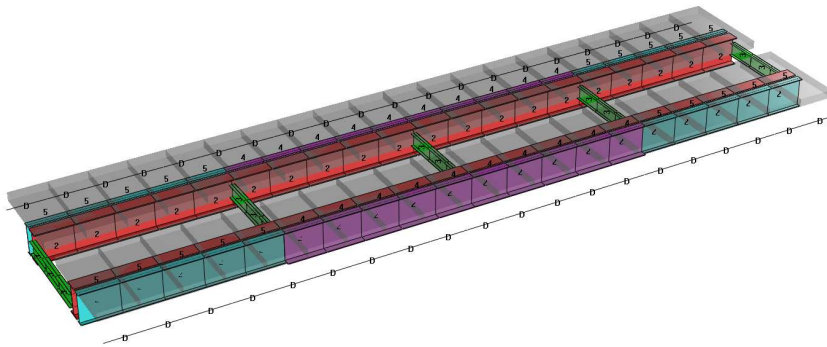


Figura 2: modelo de cálculo 01

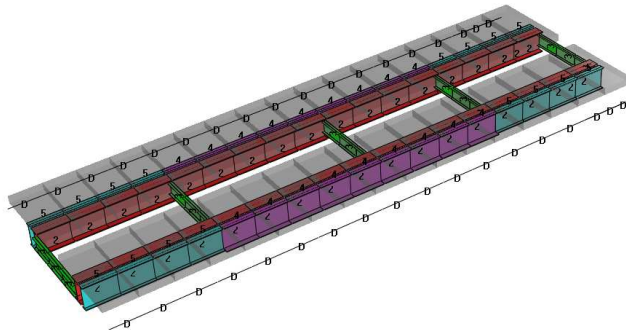


Figura 3: modelo de cálculo 02

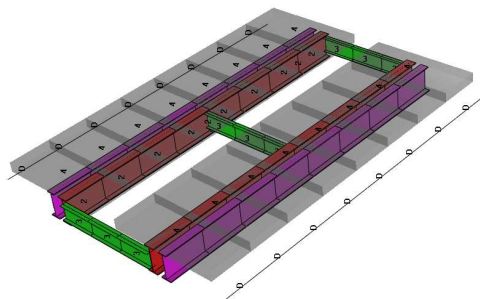


Figura 4: modelo de cálculo 03

5.1.1. CARREGAMENTOS

Nas imagens a seguir as cargas apresentadas estão em toneladas. Após a modelagem da estrutura, foram considerados os seguintes carregamentos.

5.1.1.1. PESO PRÓPRIO

O peso próprio, é função do peso específico dos materiais em questão, exibidos conforme a tabela a seguir.

Material	γ (tf/m ³)	γ (kN/m ³)
Concreto Armado	2,5	25
Concreto Protendido	2,5	25
Concreto Simples	2,2	22
Aço	7,85	78,5

Segue, abaixo, o modelo de cálculo com a representação dos carregamentos devidos ao peso próprio.

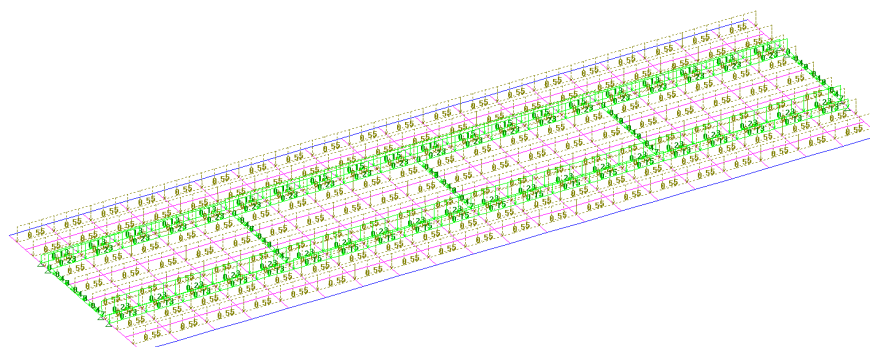


Figura 5: peso próprio

5.1.1.2. GUARDA CORPO:

Foi adotado um carregamento uniforme de 50 kg/m (0,05 ton./m), equivalente ao peso próprio do guarda-corpo projetado.

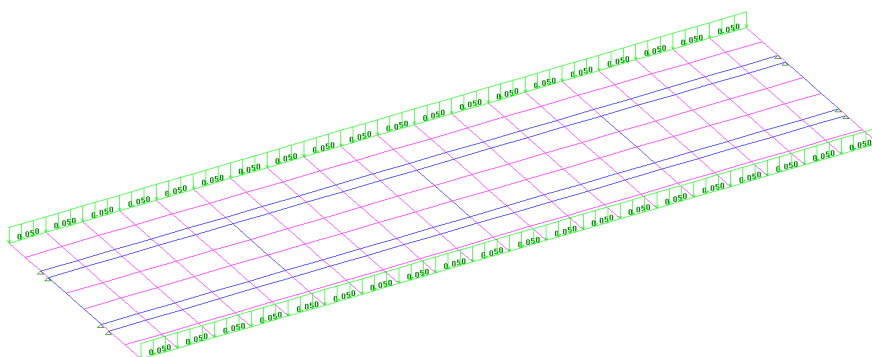


Figura 6: guarda-corpo

5.1.1.3. CARGA MOVEL

Segundo a NBR 7188/2013 a carga móvel rodoviária é composta de um veículo tipo e de cargas uniformemente distribuídas, de acordo com a tabela:

Cargas dos Veículos								
Classe da Ponte	Veículo			Cargas Uniformemente Distribuídas				Disposição da carga
	Tipo	Peso Total		p		p'		
		kN	tf	kN/m ²	kgf/m ²	kN/m ²	kgf/m ²	
45	45	450	45	5	500	3	300	Carga p em toda a pista Carga p' nos passeios
30	30	300	30	5	500	3	300	
12	12	120	12	4	400	3	300	

Segundo a norma foi adotada, para fins de cálculo, a carga móvel rodoviária padrão TB-30, na qual a base do sistema é um veículo-tipo de 300 kN de peso total circundado por uma carga uniformemente distribuída constante de 5kN/m² (carga de multidão).

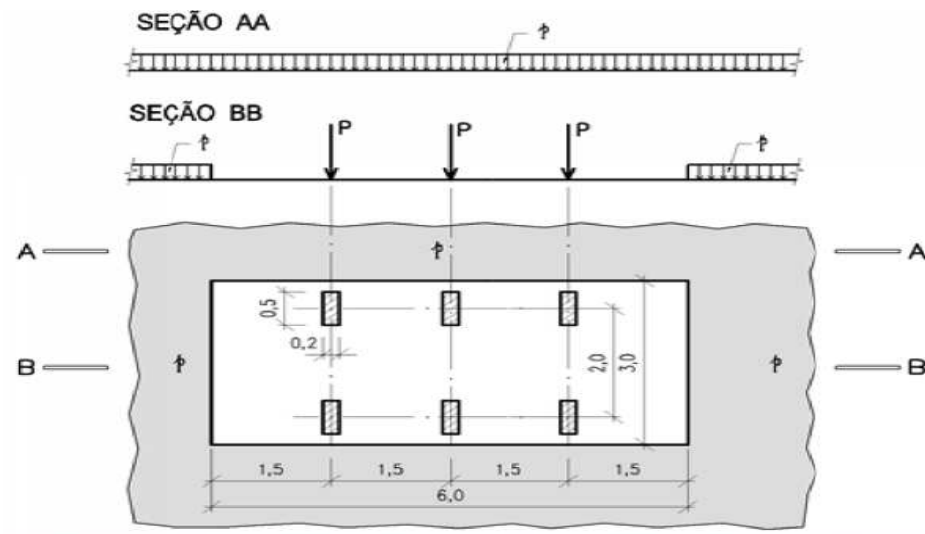


Figura 7: carga móvel

Veículo tipo

O veículo tipo possui 6 rodas com cargas verticais estáticas $P = 50\text{kN}$ cada. Possui 3 eixos de carga afastados entre si 1,5m e de largura 2m. As cargas que constituem o trem-tipo, mantém entre si distâncias constantes, mas a sua posição

com a linha de influência é variável e deve ser tal, que produza na seção considerada do elemento em estudo um máximo ou mínimo da solicitação. Diz ainda a NBR 7188/2013 que para obter efeitos mais desfavoráveis deve haver uma distância de 25 cm entre a roda do veículo e o guarda-rodas. Além das cargas estáticas o veículo tipo será inserido no modelo já amplificado por coeficientes de majoração conforme visto adiante.

Carga distribuída

A carga distribuída “p” é aplicada sob todo o tabuleiro da estrutura. É uma carga fictícia, e procura levar em consideração a ocupação dos demais veículos na estrutura. Segundo a NBR 7188/2013 deve-se considerar 500 kg/m² (0,5 ton./m²) para a carga nas faixas de rodagem. Além desse valor estático a carga distribuída será inserida no modelo já amplificada por coeficientes de majoração conforme visto adiante.

Coeficientes de majoração das cargas móveis:

Conforme a norma NBR 7188/2013, além do efeito estático das cargas móveis, são aplicados coeficientes de impacto sob os valores de carregamento gerado tanto pelo veículo tipo como pela carga de multidão.

Conforme a norma a definição dos coeficientes de majoração das cargas móveis é apresentada da seguinte forma:

Veículo tipo: $Q = P \times CIV \times CNF \times CIA$, sendo:

Q = carga concentrada majorada

P = carga vertical estática = 50KN

Carga de multidão: $q = p \times CIV \times CNF \times CIA$, sendo:

q = carga de multidão majorada

p = carga de multidão estática = 5KN/m²

A seguir são definidos os coeficientes de majoração:

CIV – Coeficiente de Impacto Vertical: amplifica a ação da carga estática simulando o efeito dinâmico da carga em movimento e a suspensão dos veículos automotores.

$$CIV = 1 + 1,06 \times (20 / L + 50)$$

Sendo L o vão de 20m, temos:

$$CIV = 1,302$$

CNF: Coeficiente do Numero de Faixas: corrige distorções estatísticas

$$CNF = 1 - 0,05 \cdot (n - 2) > 0,9$$

n: número (inteiro) de faixas de tráfego rodoviário a serem carregadas sobre um tabuleiro transversalmente contínuo. Acostamentos e faixas de segurança não são faixas de tráfego da rodovia.

$$CNF = 1 - 0,05 \cdot (2 - 2) = 1,05$$

CIA: Coeficiente de Impacto Adicional: consiste em coeficiente destinado à majoração da carga móvel característica devido à imperfeição e/ou descontinuidade da pista de rolamento, no caso juntas de dilatação e nas extremidades das obras, estruturas de transição e acessos. Os esforços das cargas móveis verticais devem ser majorados na região das juntas estruturais e extremidades da obra. Todas as seções dos elementos estruturais a uma distância horizontal, normal à junta, inferior a 5,0m para cada lado da junta ou descontinuidade estrutural, devem ser dimensionadas com os esforços das cargas móveis majorados pelo Coeficiente de Impacto Adicional, abaixo definido.

CIA = 1,25 para obras em concreto ou mistas

CIA = 1,15 para obras em aço

Na obra por tratar-se de obra mista usaremos o coeficiente CIA = 1,25.

De tal forma a carga móvel é majorada e inserida no modelo de cálculo como segue:

Carga distribuída:

Para o trecho próximo as juntas

$$q = p \times CIV \times CNF \times CIA = 5\text{KN/m}^2 \times 1,302 \times 1,05 \times 1,25 = 8,55\text{KN/m}^2$$

Para o trecho corrente

$$q = p \times CIV \times CNF \times CIA = 5\text{KN/m}^2 \times 1,302 \times 1,05 = 6,84\text{KN/m}^2$$

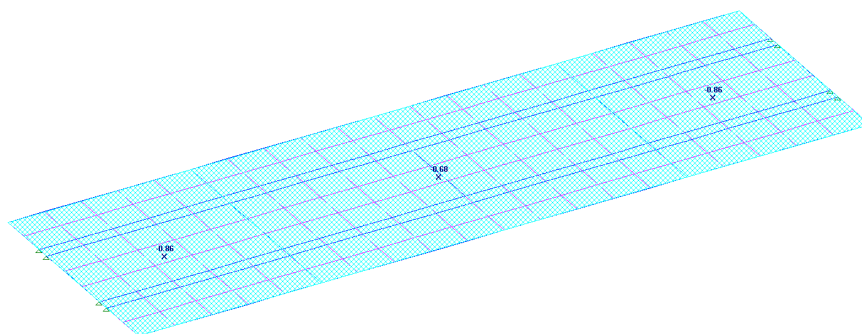


Figura 8: carga móvel distribuída

Veículo tipo:

Para o trecho próximo as juntas

$$Q = P \times CIV \times CNF \times CIA = 50\text{KN} \times 1,302 \times 1,05 = 68,4\text{KN}$$

Para o trecho corrente

$$Q = P \times CIV \times CNF \times CIA = 50\text{KN} \times 1,302 \times 1,05 \times 1,25 = 85,5\text{KN}$$

Dado que a carga de multidão majorada foi aplicada no modelo computacional em toda a área do tabuleiro podemos reduzir o valor dos veículos tipo na área do trem-tipo (18m²).

Para o trecho próximo as juntas

$$Q = 68,4 - (8,55 \times 18/6) = 59,85\text{KN}$$

Equivale a um coeficiente de impacto = 1,2

Para o trecho corrente

$$Q = 85,5 - (6,84 \times 18/6) = 47,88\text{KN}$$

Equivale a um coeficiente de impacto = 0,96

As posições do veículo tipo são variáveis ao longo da linha de influência, exercendo, ao todo, 10 posições distintas com espaçamento entre veículos tipo constante. Segue, abaixo, o modelo de cálculo com a representação do veículo tipo inicial.

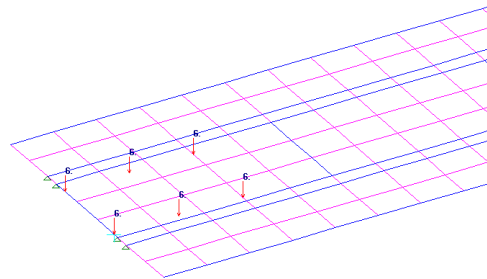


Figura 9: posição do trem-tipo inicial próximo as juntas

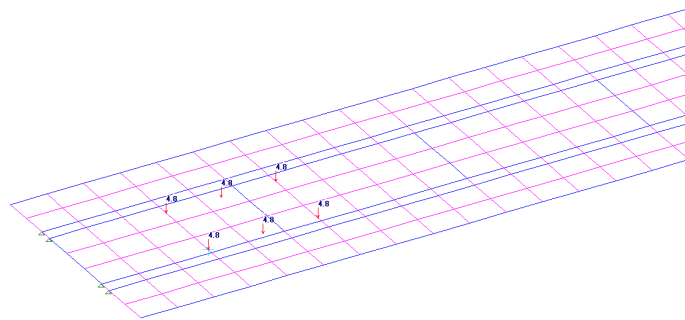


Figura 10: posição do trem-tipo inicial trecho corrente

5.1.2. GRUPOS DE CARGAS E COMBINAÇÕES

Para o dimensionamento da estrutura metálica e lajes foram utilizados os grupos de carregamentos e combinações apresentados abaixo:

Cargas permanentes (CP):

Ações cujas intensidades podem ser consideradas como constantes ao longo da vida útil da construção. Compreendem:

- Carga proveniente do peso próprio da estrutura;
- Carga proveniente do peso de guarda corpo;

Cargas móveis (CM):

São aquelas de caráter transitório, compreendem:

- Carga móvel distribuída;
- Carga móvel – veículo tipo.

Para o Estado Limite Ultimo (ELU) foram utilizadas as seguintes combinações de esforços:

	CP	CM
ÚLTIMA NORMAL	1.25	1.5

Após o processamento da estrutura foram obtidos os esforços para a condição mais desfavorável de solicitações para o dimensionamento das peças metálicas e lajes.

5.1.3. RESULTADOS E DIMENSIONAMENTOS

5.1.3.1. LONGARINAS METÁLICAS

Verificação estrutural segundo a AASHTO LRFD – Bridge Design Specifications, 7th Edition, 2014.

Análise da solicitação /capacidade de cada perfil da longarina do modelo 01:

Perfil dos apoios: 94%

Perfil do vão: 102% (aceito até 105%)

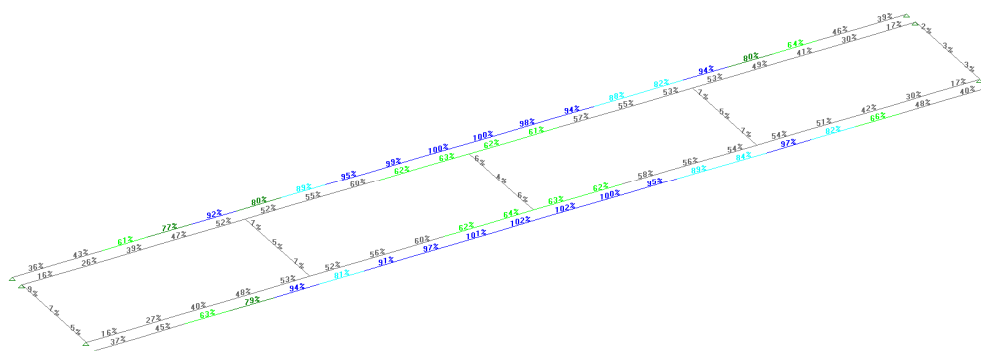


Figura 11: solicitação/capacidade das longarinas do vão 01

Análise da solicitação /capacidade de cada perfil da longarina do modelo 02:

Perfil dos apoios: 93%

Perfil do vão: 96%

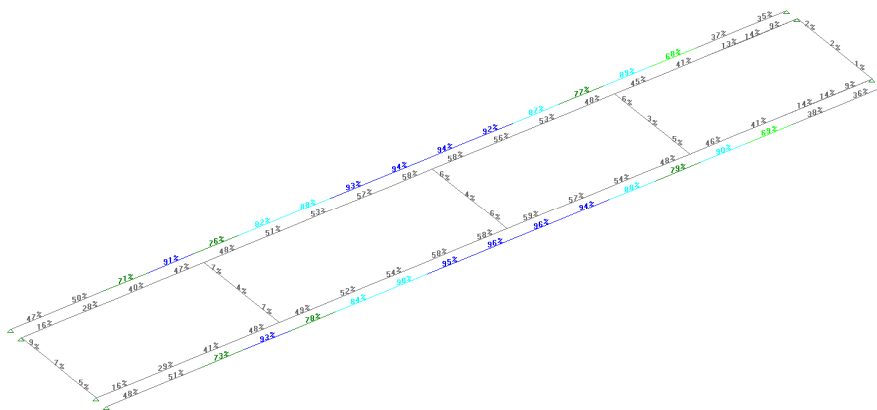


Figura 12: solicitação/capacidade das longarinas do vão 02

Análise da solicitação /capacidade de cada perfil da longarina do modelo 03:

Perfil da longarina: 45%

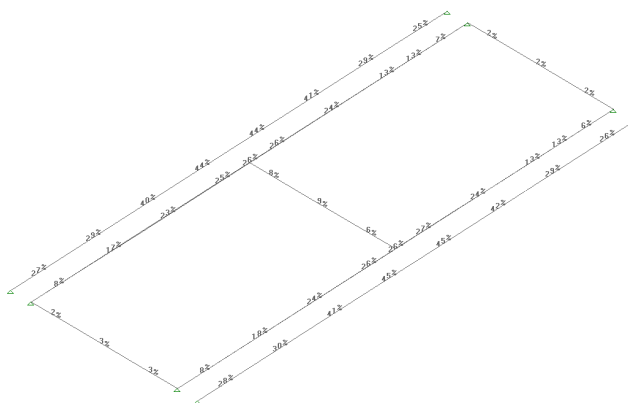


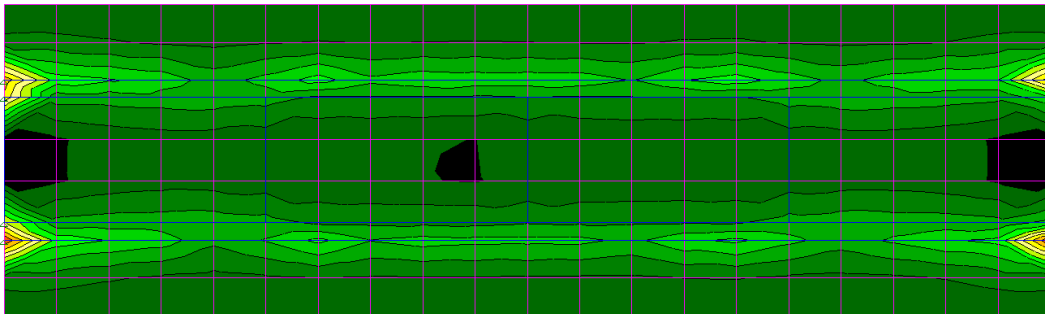
Figura 13: solicitação/capacidade das longarinas do vão 03

5.1.3.2. LAJES

- Comprimento da laje: 6,4m
- Largura da laje: 1,0m
- Espessura da laje: de 0,20m a 0,25m (Espessura média 0,22m)

Por se tratar de laje armada em apenas uma direção os dimensionamentos apresentados serão apenas para a armadura longitudinal. Para as armaduras longitudinais serão adotados os valores mínimos de norma.

Armadura Longitudinal Superior
















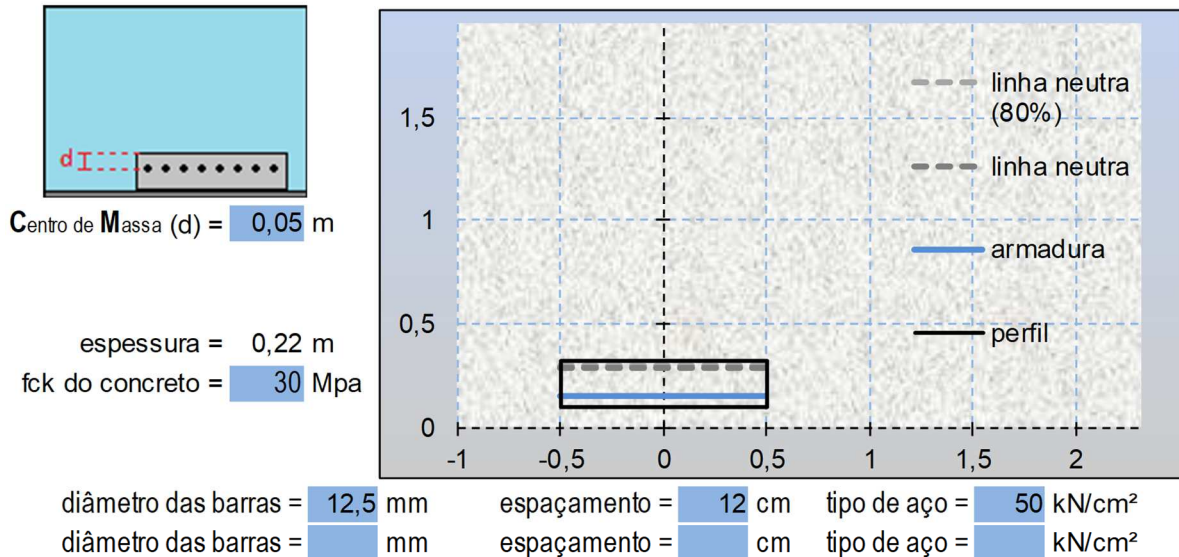
Linha	Valor
	-28.3
	-19.5
	-10.7
	6.9
	15.7
	24.5
	33.3
	42.1
	50.9
	59.7
	68.5
	77.3
	86.1

Figura 14—Tensão máxima y+z

Armadura LONGITUDINAL da face SUPERIOR - tensão sobre a face tracionada = **86,1** kgf/cm²



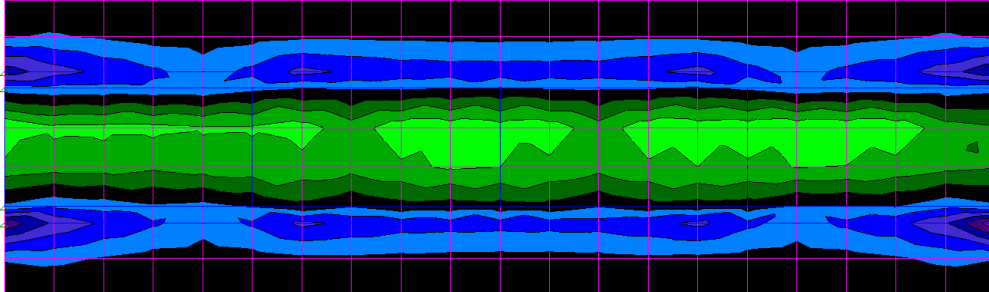
CÁLCULO DA ARMADURA

momento de inércia da seção = $88733,33333 \text{ cm}^4$
 distância do CG até a face comprimida = **11** cm
 momento solicitante = $6813,4374 \text{ kN.cm} = 6,95 \text{ t.m} = \underline{68,134374 \text{ kN.m}}$

$10,23 \text{ cm}^2$ de aço nas barras = $444,6 \text{ kN}$ de resistência (Rsd)
 distância entre a linha neutra e a face comprimida (x) = **3,05** cm
 resistência da área de concreto comprimida (Rcwd) = $444,6 \text{ kN}$
 momento resistente da área de concreto (Mcwd) = $70,16 \text{ kN.m}$
 momento último resistente $M(u) = Mcwd = \underline{70,160463 \text{ kN.m}}$ ($50,114616 \text{ kN.m}$ se dividido por 1,4)

x23 = 4,4 cm / x34 = 10,7 cm x = 3,05 cm Domínio 2 ==> seção SUBarmada

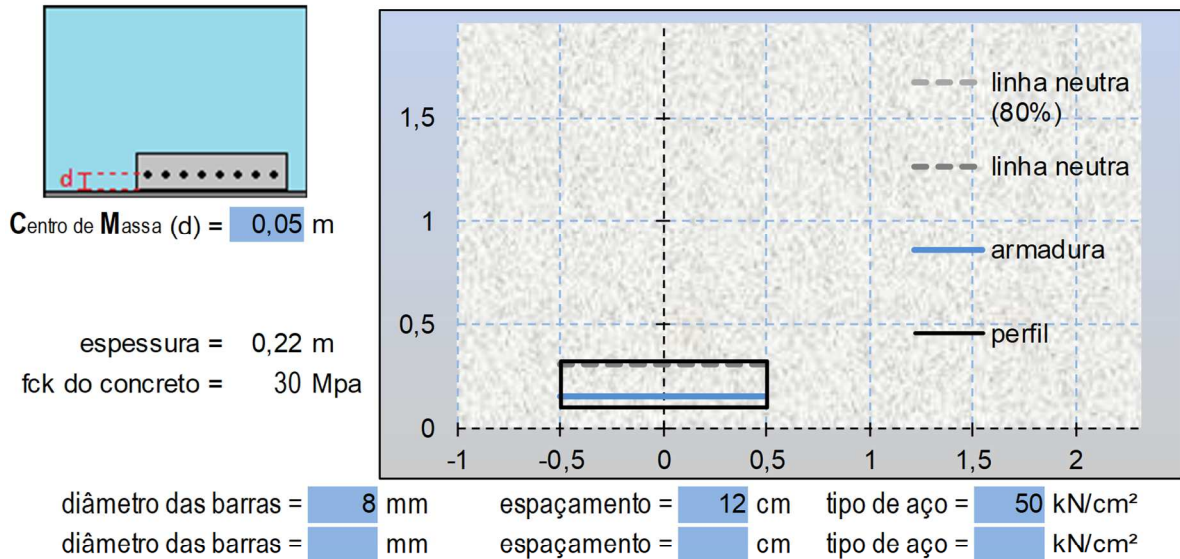
Armadura Longitudinal Inferior



Linha	Valor
■	-86.1
■	-77.3
■	-68.5
■	-59.7
■	-50.9
■	-42.1
■	-33.3
■	-24.5
■	-15.7
■	-6.9
■	10.7
■	19.5
■	28.3

Figura 15—Tensão máxima y-z

Armadura LONGITUDINAL da face INFERIOR - tensão sobre a face tracionada = **28,3** kgf/cm²



CÁLCULO DA ARMADURA

momento de inércia da seção = 88733,33333 cm⁴
distância do CG até a face comprimida = 11 cm
momento solicitante = 2239,4922 kN.cm = 2,28 t.m = 22,394922 kN.m

4,189 cm² de aço nas barras = 182,1 kN de resistência (Rsd)
distância entre a linha neutra e a face comprimida (x) = 1,25 cm
resistência da área de concreto comprimida (Rcwd) = 182,1 kN
momento resistente da área de concreto (Mcwd) = 30,05 kN.m
momento último resistente M(u) = Mcwd = 30,050124 kN.m (21,464375 kN.m se dividido por 1,4)

x₂₃ = 4,4 cm / x₃₄ = 10,7 cm x = 1,25 cm Domínio 2 ==> seção SUBarmada