CLIENTE: PREFEITURA DE AGUAÍ

ESCOPO: MEMÓRIA DE CÁLCULO PARA RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL DO VIADUTO RUA JOAQUIM JOSÉ

OBJETO: RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL Nº DOCUMENTO: MC-7061-IP-01

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |
| 00 | 27/03/2019 | EMISSÃO INICIAL |
| REVISÃO | EMISSÃO | JUSTIFICATIVA |
| ELABORAÇÃO: DANIELA DAVID | VERIFICAÇÃO: TIAGO JULIANI | APROVAÇÃO: MARCO JULIANI |
|  |  |  |

RELATÓRIO TÉCNICO

**SUMÁRIO**

1. [INFORMAÇÕES GERAIS 3](#_bookmark0)
	1. [Cliente 3](#_bookmark1)
	2. [Documentos de referência 3](#_bookmark2)
	3. [Revisões 3](#_bookmark3)
	4. [Declaração de limite 3](#_bookmark4)
2. [OBJETIVO 4](#_bookmark5)
3. [ESFORÇOS SOLICITANTES 5](#_bookmark7)
	1. [ESQUEMA ESTRUTURAL E DIMENSÕES 5](#_bookmark8)
	2. [CARREGAMENTOS 6](#_bookmark10)
	3. [MOMENTOS FLETORES E CORTANTES 7](#_bookmark12)
4. [ARMADURA NECESSÁRIA 8](#_bookmark13)
5. [RECUPERAÇÃO DA LONGARINA DANIFICADA 9](#_bookmark15)
6. [DIMENSIONAMENTO DOS APARELHOS DE APOIO 11](#_bookmark16)
7. [CONCLUSÕES 15](#_bookmark17)

# INFORMAÇÕES GERAIS

* 1. Cliente Prefeitura de Aguaí
	2. Documentos de referência
		+ ABNT NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento
		+ [ABNT NBR 7188:2013](https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=305509) - Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestre
		+ ABNT NBR 7188:1960 - Cargas móveis em pontes rodoviárias
	3. Revisões

Rev. 00 – Está é a versão inicial do relatório.

* 1. Declaração de limite

Os resultados das inspeções, bem como o restante deste relatório, se aplicam apenas e tão somente à OAE descrita no item 3.

# OBJETIVO

Este relatório tem por objetivo apresentar os critérios, especificações técnicas e dimensionamentos correspondentes ao projeto executivo de reforço e adequação estrutural do Viaduto Rua Joaquim José em Aguaí / SP, ilustrado na [**FIGURA 1**](#_bookmark6).

De acordo com o relatório RT-7061-IP-01, a face inferior de uma das vigas longarinas, localizada sobre a Avenida Presidente Castelo Branco, apresenta ruptura do concreto e de parte da armadura longitudinal e dos estribos devido aos impactos de veículos pesados com dimensões superiores ao gabarito inferior da ponte.

Atualmente o viaduto está escorado sobre a Avenida Presidente Castelo Branco e totalmente interditado.

**Figura 1 – Vista geral do viaduto**

# ESFORÇOS SOLICITANTES

* 1. ESQUEMA ESTRUTURAL E DIMENSÕES

O esquema estrutural utilizado para o cálculo dos esforços, assim como as dimensões dos vãos e da seção transversal, está ilustrado na [**FIGURA 2**](#_bookmark9).



1. Esquema estrutural do viaduto



1. Dimensões da seção transversal

**Figura 2 – Esquema estrutural e dimensões**

* 1. CARREGAMENTOS

A análise estática foi feita o trem-tipo classe 24, além do peso próprio, conforme apresentados na [**Tabela 1**](#_bookmark11) e demais figuras.

**Tabela 1 − Cargas dos veículos relativas ao trem-tipo classe 45 e 24**

|  |  |
| --- | --- |
|  | Classe 24 |
| Carga uniformemente distribuída (p) | 4 kN/m² |
| Carga uniformemente distribuída (p’) | 3 kN/m² |
| Carga do veículo por roda | 40 kN/roda |



**Figura 3 – Trem-tipo classe 24**



**Figura 4 – Carregamento distribuído correspondente ao peso próprio**

A Equação1 foi utilizada para o cálculo dos esforços na viga

|  |  |
| --- | --- |
| 𝐹𝑑 = 1,4 ∗ (𝑃𝑃) + 𝜑 ∗ 1,4 ∗ (𝑇𝐵) | (1) |

Sendo:

PP: Valor característico das cargas permanentes (peso próprio e pavimentação); TB: Valor característico da carga do TB 24;

: Coeficiente dinâmico = 1,40 (CIV + CNF, obtidos de acordo com a NBR 6118:2013).

* 1. MOMENTOS FLETORES E CORTANTES



**Figura 5 – Envoltória de momento fletor (kN.m) e esforço cortante (kN) característico devido ao TB 24**



**Figura 6 – Momento fletor (kN.m) e esforço cortante (kN) característico devido ao peso próprio**

# ARMADURA NECESSÁRIA

Para o cálculo da armadura, a resistência do concreto foi tomada como 20 MPa, a tensão de escoamento do aço igual a 500 MPa, e os coeficientes do concreto e de aço, c=1,4 e s=1,15.

Na Tabela são apresentados os momentos fletores solicitantes e a armadura necessária.

**Tabela 2 – Armadura necessária para flexão**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Mk (Peso próprio) | MK(TB 24) | Mk Total | Md Total | Kc | ks | As |
| kN.m | kN.m | kN.m | kN.m | (kN,cm) | (kN,cm) | (cm2) |
| 196,5 | 576,1 | 772,6 | 1081,64 | 3,06 | 0,027 | 27,81 |
|  |
| Mk (Peso próprio) | - | Mk Total | Md Total | Kc | Ks | As |
| kN.m | - | kN.m | kN.m | (kN,cm) | (kN,cm) | (cm2) |
| 196,5 | - | 196,5 | 275,1 | 16,83 | 0,024 | 6,29 |
| 𝑏 ∗ 𝑑2𝑘𝑐 = 𝑀𝑑 |  |  | 𝑘 = 𝐴𝑠 ∗ 𝑑𝑠 𝑀𝑑 |  |
| b: largura da seção da viga (30 cm);d: altura da seção da viga até o centro da armadura inferior (105 cm); Md: momento fletor de cálculo em kN\*cm. |

De acordo com as observações em campo a armadura longitudinal é formada por 6 barras de 25 mm (29,45 cm2), concluindo que o viaduto foi calculado para o TB 24.



**Figura 7 – Armadura inferior da longarina danificada**

Na [Tabela 3](#_bookmark14) são apresentados os esforços cortantes e a armadura necessária.

**Tabela 3 – Armadura necessária esforço cortante**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Vk (Peso próprio) | Vk(TB 24) | Vk Total | Vsd Total | VRd2 | VC0 | VSW | ASW |
| kN | kN | kN | kN | KN | KN | KN | (cm2/m) |
| 211,7 | 228,1 | 439,8 | 615,72 | 1098,64 | 205,3 | 410,42 | 9,54 |
|  |
| Vk (Peso próprio) | - | Vk Total | Vsd Total | VRd2 | VC0 | VSW | ASW |
| kN | kN | kN | kN | KN | KN | KN | (cm2/m) |
| 211,7 |  | 211,7 | 296,38 | 1098,64 | 205,3 | 91,08 | 2,12 |
| Armadura de pele: As,pele: 3,30 cm2 por face Armadura mínima: 2,65 cm2/cm9,54 cm2/m = 8 a cada 10,0 cm2,65 cm2/m =  6,3 a cada 21 cm |

# RECUPERAÇÃO DA LONGARINA DANIFICADA

Sugere-se que a recuperação da longarina seja realizada com a substituição da armadura na região danificada, por 6 barras com 20 mm de diâmetro, ancoradas na armadura existente e não danificada, resultando em um área de 18,85 cm2 . Par alcançar o momento fletor resistente para o TB 24, sugere-se também a utilização de fibra carbono.

Esforços utilizados no cálculo:

Msd = 1081,64 kN.m (Momento fletor solicitante de cálculo);

Mrd = 751,97 kN.m (Momento fletor resistente de cálculo, considerando As= 18,85cm2);

0,85 ∗ 0,8 ∗ 30𝑥 ∗ ( 2 ) = 50

∗ 18,85

1,4 1,15

𝑥 = 28,12

𝑥2𝑙𝑖𝑚 = 0,26 ∗ 𝑑 = 0,26 ∗ 103 = 27,78 𝑐𝑚

𝑥3𝑙𝑖𝑚 = 0,63 ∗ 𝑑 = 0,63 ∗ 103 = 64,89 𝑐𝑚

28,12 cm (Domínio 3)

18,85 = 𝑀𝑟𝑑

( 50 ) ∗ (103 − 0,4 ∗ 28,12)

1,15

𝑀𝑟𝑑 = 751,97 𝑘𝑁. 𝑚

Msd > Mrd => portanto é necessário a execução de um reforço com fibra carbono.

* Cálculo da fibra de carbono necessária

Módulo de elasticidade da fibra = 22.700,00kN/cm2; Deformação de ruptura do reforço = fcu = 0,014; Espessura de uma lâmina de fibra = 0,165 mm Condições:

* Desconsideração da armadura superior;
* Supondo que ocorra simultaneamente o esmagamento do concreto e a deformação plástica do aço (seção normalmente armada);
* Desconsideração da deformação inicial da face inferior do concreto devido ao peso próprio (tabuleiro escorado)

Profundidade da Linha Neutra:

0,35+1/103,2 = 0,13081395

x = 0,35/0,13081395 = 26,75 cm

Força resistida pelo concreto:

Fc = 0,8\*26,75\*30\*(2/1,4)\*0,85 = 779,73 kN

Força resistida pelo aço:

Fs = (50/1,15)\*18,85 = 819,57 kN Fs’ = 0

Força resistida pela fibra carbono:

Ffc = 108.164,00-Fc\*(103,2-0,8x/2) / 6,8 = 5.300,06 kN (momento em relação à armadura tracionada)

Ffc = (108.164,00-Fs\*(103,2-0,8x/2)) / (110-(0,8\*x/2)= 325,85 kN (momento em relação à resultante de compressão do concreto)

ffc = (10,89/1000)\*22.700,00 = 247,19 kN.cm2 (tensão na fibra)

Afc = 5.300,06/247,19 = 16,93 cm2 (área de fibra) – Esse valor é muito alto e indica que há insuficiência de resistência a compressão, ou seja, a Linha Neutra deve ser mais profunda.

Considerando que a linha neutra esteja a 42 cm da fibra superior do concreto: Afc = 1,59 cm2 (área de fibra)

Largura da fibra e quantidade de camadas bfc=1,59\*100/1,65 = 96,3 cm => 4 camadas de 25 cm



**Figura 8 – Seção transversal final da viga recuperada**

# DIMENSIONAMENTO DOS APARELHOS DE APOIO

Os aparelhos de apoio de neoprene fretado são fabricados com borracha sintética (cloropreno) e entre as camadas de borracha se encontram intercaladas chapas de aço de grande resistência.

As diferentes camadas de neoprene unem-se entre si e com as chapas de aço mediante um processo todo especial de vulcanização, de modo que sob a ação das cargas, o conjunto se comporta como um monobloco.

Quanto ao seu funcionamento, permitem:

* Deslocamentos simultâneos em duas direções distintas.
* Rotações.
* Absorção de cargas verticais.
* Absorção de cargas horizontais de curta duração.

A verificação do neoprene foi realizada de acordo com o itens abaixo:

1. Tensões normais

ΣC,MÁX

= NMÁX < 1,5 kN/cm2

A´. B´

ΣC,MÍN

= NMÍN > 0,3 kN/cm2

A´. B´

1. Tensão de cisalhamento da força normal

Fator de forma:

ff = a´. b´

2. t. (a´ + b´)

Tn = 1,5. σmáx < 0,3 kN/cm2

ff

1. Recalque

Dh = σmáx.(n. t + 2. c) < 0,25. h

4. G. ff 2. 3. σc,máx

1. Tensão de cisalhamento das forças horizontais

Tll= Hll

a´.b´

<0,5G

Tlc= Hlc

2.a´.b´

<0,5G

Ttl= Htl <0,5G a´.b´

Ttc= Htc

2.a´.b´

<0,5G

Tl=Tll+Tlc<0,7G Tt=Ttl+Ttc<0,7G

1. Distorção

Hr=√(Hll+0,5.Hlc)2(Htl+0,5.Htc)2

Dab= n.t.Hr

a´.b´.G

𝑡𝑔𝐴 = 𝐷𝑎𝑏 < 0,5 ℎ

1. Tensão de Cisalhamento na rotação

G.a´2.(A0+At)

Ta= 2.t.h <1,5.G

1. Tensão de Cisalhamento total

T=Tn+Tl+Tt+Ta<0,5.G

1. Esbeltez e espessura mínima

Esbeltez: h < a´

5

Espessura mínima: h > a´

10

1. Levantamento das bordas do aparelho

At <

3. (σ

c,max

+ σc,mín

t 2

)0,5. (a´)

n G. ff

1. Escorregamento

Hr Nmín

< 0,10 + 0,06

σc,mín

1. Espessura das chapas considerando aço 1020 com e=16kN/cm2

e > a´ . σc,máx

ff σe

Os dados utilizados para as verificações foram:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Dados** | **Pilares de extremidade** | **Pilares centrais** | **Dentes gerber** |
| Força Vertical permanente (F Mín.) | Nmín.(kN) | 262,20 | 424,40 | 110,20 |
| Força Vertical TB | N TB24 (kN) | 194,00 | 214,50 | 205,80 |
| Força Vertical Nmín + N24 (F Máx.) | Nmáx (kN) | 456,20 | 638,90 | 316,00 |
| Rotação devido a carga permanente | θ rad | 0,0006671 | 0,0006742 | 0,0022340 |
| Rotação devido ao Tb24 | θ rad | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |
| Força long. de longa duração | Hll (kN) | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Força long. de curta duração | Hlc (kN) | 36,00 | 36,00 | 24,00 |
| Força trans. de longa duração | Htl (kN) | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Força trans. de curta duração | Htc (kN) | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mód.de Elast. transversal | G (kN/cm²) | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Dureza Shore | A | 60 | 60 | 60 |
| Largura | a (cm) | 20 | 20 | 15 |
| Comprimento | b (cm) | 40 | 40 | 25 |
| Área | A (cm²) | 800 | 800 | 375 |
| Espesssura total | h (cm) | 3,000 | 3,000 | 3,200 |
| Cobrimento horizontal | cob. hor. (cm) | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Cobrimento vertical | cob. vert. (cm) | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| Largura - Cobrimento | a' (cm) | 19,2 | 19,2 | 14,2 |
| Comprimento - Cobrimento | b' (cm) | 39,2 | 39,2 | 24,2 |
| Área: a' \* b' | A' (cm²) | 752,64 | 752,64 | 343,64 |
| Número de camadas do elastômero | n | 2 | 2 | 3 |
| Espessura de cada camada | t (cm) | 0,8 | 0,8 | 0,5 |
| Espessura de cada chapa | l (cm) | 0,3 | 0,3 | 0,3 |



**Figura 9 – Dimensões dos aparelhos de apoio**

# CONCLUSÕES

Os reparos no viaduto deverão sem executados de acordo com os desenhos de projeto e as metodologias de reparo.