CAPÍTULO 49 · Parte III · Infraestrutura e projetos complementares
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/z35pk835
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/7da7tv33

REFORÇO DOS PENDURAIS DA PONTE EURICO GASPAR DUTRA/RJ COM O USO DE BARRAS DE POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRAS

Luiz Antonio Vieira Carneiro[1]*, Mayra Soares Pereira Lima Perlingeiro[2];
Marco Aurélio Chaves Ferro[3]
*Autor de contato: luizcarneiro@id.uff.br

[1] Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói/RJ, Brasil
[2] Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói/RJ, Brasil
[3] Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal Fluminense, Niterói/RJ, Brasil

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo apresentar o dimensionamento do reforço dos pendurais da ponte Eurico Gaspar Dutra sobre o canal da praia da Marambaia, situada na cidade do Rio de Janeiro/RJ. Esta ponte em arco duplo de concreto armado foi construída a partir do ano de 1943. Após uma vistoria técnica, manifestações patológicas foram encontradas nos pendurais de dois vãos de 63 m e o reforço estrutural destes foi recomendado. Para se obter a armadura de reforço dos pendurais, sua armadura interna foi calculada por meio de normas técnicas vigentes à época da construção da ponte. Devido às severas condições de agressividade ambiental, foi indicada a utilização de barras de polímero reforçado com fibras como armadura de reforço dos pendurais, cujas características estão reunidas neste trabalho.
Palavras-chave: Reforço; ponte; concreto armado; pendurais; barras de polímero reforçado com fibras.

ABSTRACT

This work aims to present the ties strengthening design of Eurico Gaspar Dutra bridge over the Marambaia beach canal, located in Rio de Janeiro/RJ city. This double-arch reinforced concrete bridge was built starting in 1943. Following a technical inspection, pathological manifestations were found in the ties of two spans of 63 m, and their structural strengthening was recommended. To obtain the strengthening reinforcement for the ties, their internal reinforcement was calculated using technical standards in force at the time of the bridge's construction. Due to the harsh environmental conditions, the use of fiber-reinforced polymer bars as reinforcement for the ties was indicated, and their characteristics are presented in this work.
Keywords: Strengthening; bridge; reinforced concrete; ties; fiber-reinforced polymer bars.

1. INTRODUÇÃO

Pendurais em concreto armado de pontes em arco são elementos estruturais normalmente verticais que trabalham à tração, têm a função de apoiar o tabuleiro inferior e transferir o peso deste para os arcos superiores e possuem armadura transversal (estribos) para controlar fissuração do concreto.

Os pendurais tratados neste trabalho situam-se nos vãos de 63 m da ponte Eurico Gaspar Dutra, cuja seção transversal é constituída por lajes em concreto armado de 20 cm de espessura apoiadas sobre 2 longarinas, 14 transversinas de vão e 2 transversinas de apoio.

Armaduras expostas corroídas, sendo algumas de suas barras de aço rompidas, são as principais manifestações patológicas encontradas a partir de uma vistoria técnica realizada.

Alguns estudos abordam o uso de barras de FRP em deferentes elementos estruturais de concreto (BENMOKRANE *et al.*,1995, CHAALLAL e BENMOKRANE, 1996, EL-NEMR *et al.*,2013), tais como longarinas e lajes de pontes.

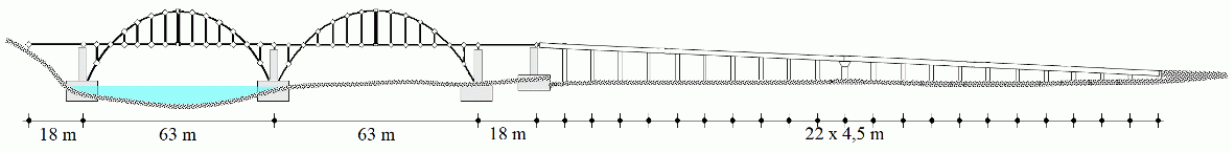
Neste trabalho é apresentado o dimensionamento do reforço dos pendurais da ponte Eurico Gaspar Dutra sobre o canal da praia da Marambaia, situada na cidade do Rio de Janeiro/RJ. A armadura de reforço indicada para estes pendurais foi composta por barras de polímero reforçado com fibras de vidro ou de basalto, cujo cálculo foi realizado após ter sido obtida sua armadura interna.

2. DESCRIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DA PONTE

A ponte Eurico Gaspar Dutra é constituída por elementos estruturais em concreto armado, cujo tabuleiro tem 7,25 m de largura. Possui 261 m de comprimento total, dividido em 2 vãos de 18 m (36 m de extensão) de ponte em vigas, 2 vãos de 63 m (126 m de extensão) de ponte em duplo arco tri-articulado e 22 vãos de 4,5 m (99 m de extensão) de ponte em lajes.

A Figura 1 mostra um esboço do perfil longitudinal da ponte, enquanto as Figuras 2 a 4 ilustram vistas parciais datadas dos diferentes vãos da ponte com posição da lente para ou contra a praia.

Figura 1 - Esboço do perfil longitudinal da ponte



Fonte: os autores.

Figura 2 - Vista dos vãos de 63 m – Data: 18/01/2023



(a) posição da lente para a praia



(b) posição da lente contra a praia

Fonte: os autores.

Figura 3 - Vista dos vãos de 18 m – Data: 18/01/2023



(a) vão mais próximo da entrada da ponte posição da lente contra a praia



(b) vão mais afastado da entrada da ponte posição da lente contra a praia

Fonte: os autores.

Figura 4 - Vista dos 22 vãos de 4,5 m (posição da lente contra a praia) – Data: 19/01/2023



Fonte: os autores.

3. ESTADO DOS TIRANTES DA PONTE

As principais causas do aparecimento das manifestações patológicas nos pendurais da ponte foram a falta de conservação, a espessura do cobrimento de concreto insuficiente e o ataque de sais cloreto no concreto da ponte.

Na época da construção dessa ponte, a norma vigente NB-2 (ABNT, 1940b) recomendava valores para cobrimento mínimo do concreto iguais a 15 mm, para lajes ao ar livre, e 20 mm, para vigas, pilares e arcos ao ar livre. Estes valores são pequenos para se garantir uma estrutura durável com vida útil elevada. Em contrapartida, a norma atual NBR 6118 (ABNT, 2023) prevê, considerando classe de agressividade ambiental III (agressividade forte), valores maiores para cobrimento mínimo do concreto (35 mm, para lajes, e 40 mm, para vigas e pilares).

Pode-se ver, nas Figuras 5(a) e 5(b), armaduras expostas corroídas na maioria dos pendurais do vão de 63 m mais afastado da entrada da ponte.

Figura 5 - Vista geral dos pendurais do vão de 63 m mais afastado da entrada da ponte - Data 19/01/2023



(a) pendurais voltados para a praia



(b) pendurais voltados contra a praia

Fonte: os autores.

Pode-se visualizar, na Figura 6, barras de aço que compõem a armadura longitudinal dos pendurais, no meio do vão de 63 m mais afastado da entrada da ponte, expostas e corroídas, além de uma destas barras rompida.

Figura 6 - Detalhe dos pendurais no meio do vão de 63 m mais afastado da entrada da ponte (posição da lente contra a praia) - Data 18/01/2023



Fonte: os autores.

4. CÁLCULO DA ARMADURA INTERNA DOS PENDURAIS

Em função da época de construção da ponte, no início dos anos de 1940, não foram encontrados dados sobre o projeto estrutural original da ponte. As normas em vigência no país eram a NB-1, sobre cálculo e execução de obras de concreto armado (ABNT, 1946a), a NB-2, sobre cálculo e execução de pontes de concreto armado (ABNT, 1946b), e a NB-6, sobre carga móvel em pontes rodoviárias (ABNT, 1946c). Portanto, estas foram adotadas no cálculo da armadura dos pendurais.

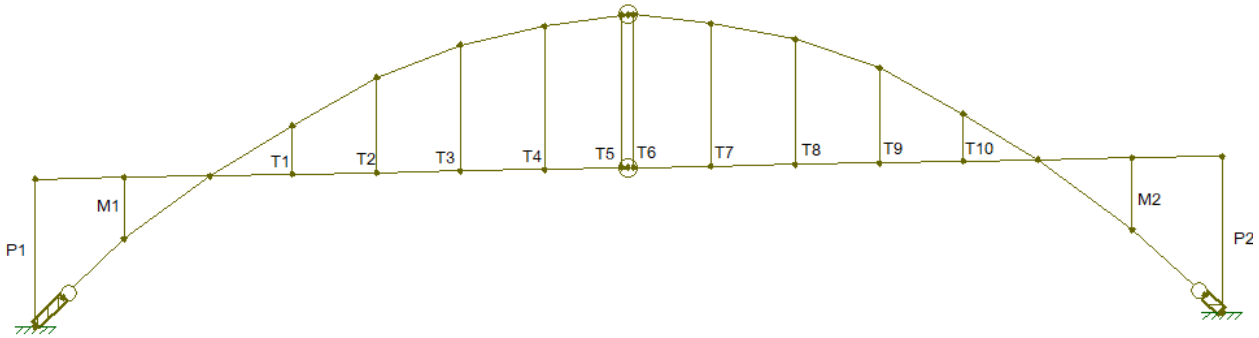
Como a ponte foi projetada anteriormente à norma EB-3, que tratava sobre condições de emprego das barras de aço destinadas à armadura de peças de concreto armado (ABNT, 1967), esta não foi utilizada na análise da ponte existente e o fenômeno da fadiga não foi estudado no projeto original.

Apesar dos ensaios não destrutivos referentes à determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica do concreto da ponte mostrarem que sua resistência característica à compressão foi igual a 18 MPa (CARNEIRO *et al*., 2025), por segurança, adotou-se nos cálculos, o valor igual a 15 MPa, valor este comumente adotado nos projetos de pontes daquela época.

O aço usado na ponte foi o do tipo CA-37, na forma de barras lisas, cuja resistência ao escoamento admitida foi 250 MPa. Este tipo de aço era frequentemente utilizado na construção de pontes.

Os dez pendurais de um dos dois arcos que sustentam o tabuleiro de um dos dois vãos de 63 m de comprimento da ponte estão numerados de T1 a T10, conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7 – Numeração dos pendurais



Fonte: os autores.

Os dados da altura e do peso próprio de cada um dos pendurais de 40 cm x 70 cm de seção transversal estão reunidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados dos pendurais

Pendural	h (m)	P (kN)
T1	1,41	9,84
T2	3,97	27,79
T3	5,65	39,55
T4	6,72	47,04
T5	7,50	52,50
T6	7,50	52,50
T7	6,74	47,18
T8	5,70	39,90
T9	3,95	27,65
T10	1,42	9,94

Fonte: os autores.

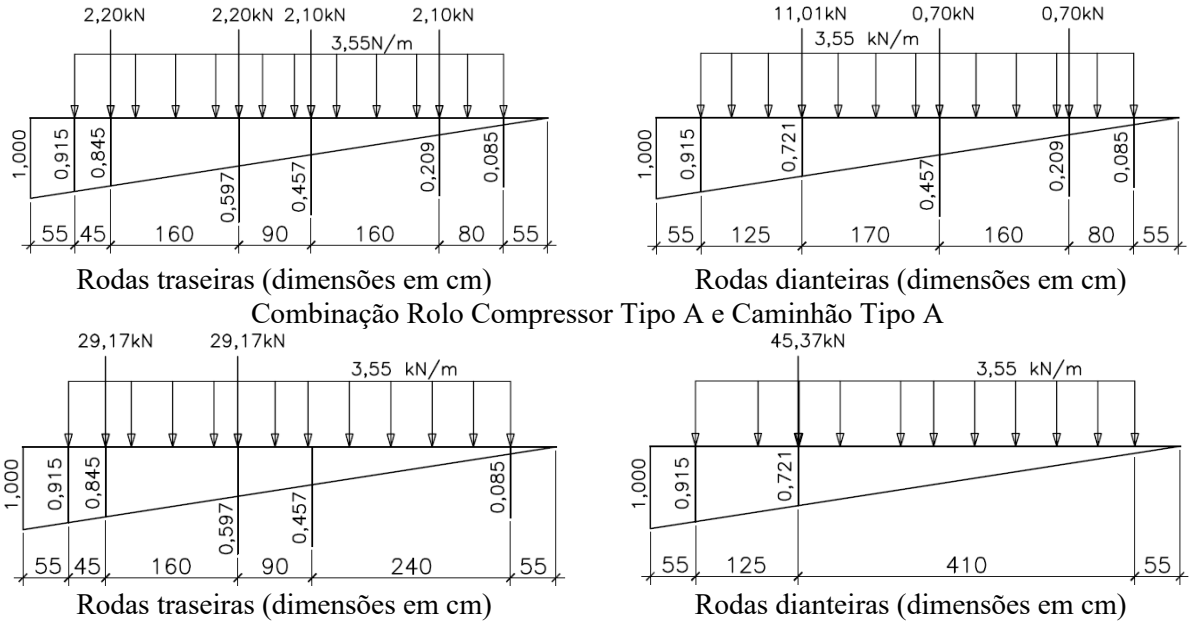
A sobrecarga permanente refere-se à pavimentação e ao guarda-corpo. Considerou-se uma espessura de 15 cm de pavimentação e faixa de rolamento de 5,35 m de comprimento, enquanto a carga provocada pelo guarda-corpo é 8,0 kN/m (incluindo seu peso próprio). Por conta disso, o carregamento de sobrecarga permanente para uma longarina do vão de 63 m é 17,63 kN/m.

Em relação à carga móvel, o coeficiente de impacto ϕ de 1,30 foi utilizado conforme a norma NB-2 (ABNT, 1946b). O trem-tipo de projeto adotado foi a combinação entre o caminhão tipo A e o rolo compressor tipo A, além do rolo compressor tipo B isolado, cuja disposição é vista na Figura 8.

Em relação aos carregamentos g_1 (peso próprio estrutural) e g_2 (peso dos guardas rodas, guarda-corpos e pavimentação), as Figuras 9 a 12 ilustram as solicitações seccionais (força normal e momento fletor), enquanto as Tabelas 2 e 3 resumem as solicitações (força normal e momento fletor) de dimensionamento nos pendurais mais solicitados.

Para a determinação dessas solicitações, utilizou-se um programa computacional para a análise estrutural de pórticos planos, que analisa um modelo estrutural fornecendo diagramas de esforços internos, deformadas, linhas de influência em qualquer ponto da estrutura e envoltórias de esforços para trens-tipo.

Figura 8 – Trem-tipo de projeto



Rodas traseiras (dimensões em cm) Rodas dianteiras (dimensões em cm)

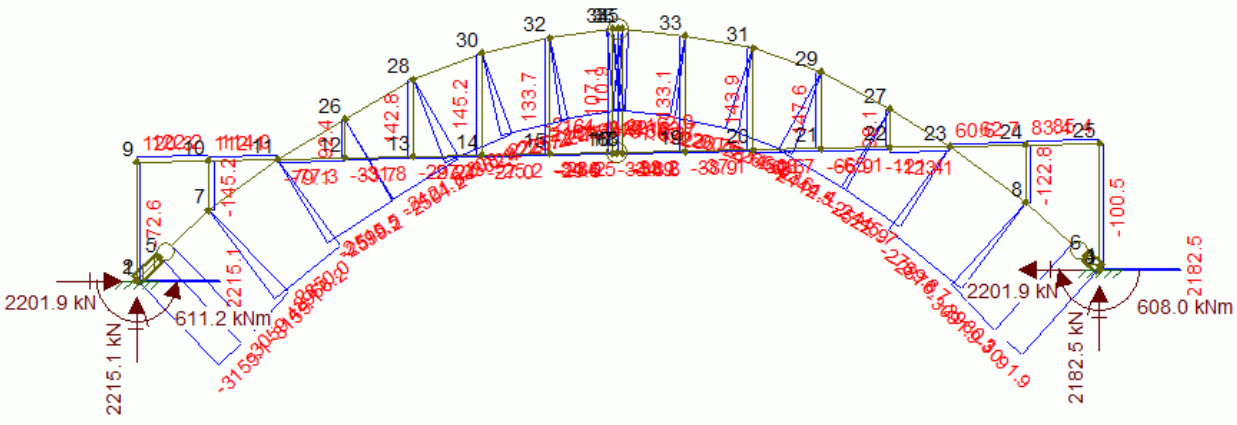
Combinação Rolo Compressor Tipo A e Caminhão Tipo A

Rodas traseiras (dimensões em cm) Rodas dianteiras (dimensões em cm)

Rolo Compressor Tipo B isolado

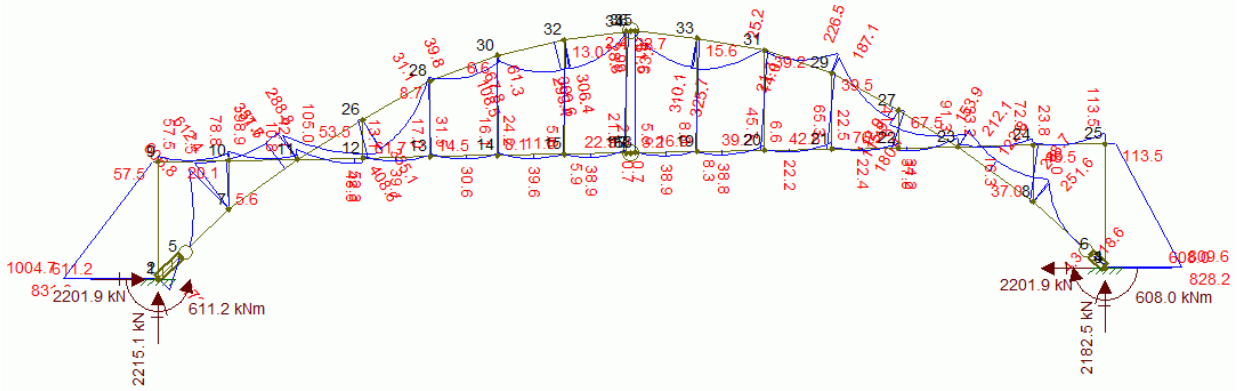
Fonte: os autores.

Figura 9 – Diagrama de forças normais (kN) – g_1



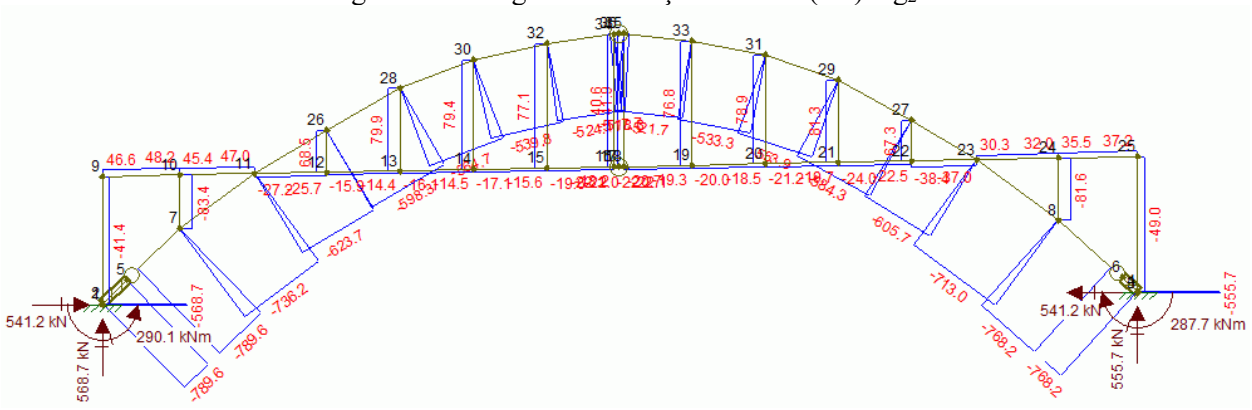
Fonte: os autores.

Figura 10 – Diagrama de momentos fletores (kN.m) – g_1.



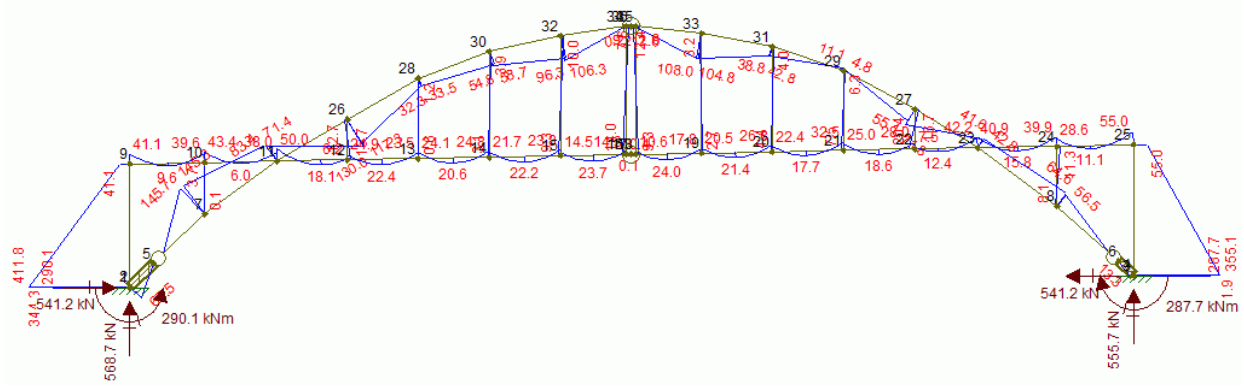
Fonte: os autores.

Figura 11 – Diagrama de forças normais (kN) – g_2.



Fonte: os autores.

Figura 12 – Diagrama de momentos fletores (kN.m) – g_2



Fonte: os autores.

Tabela 2 – Solicitações nos pendurais – g_1

Pendural	N (kN)	M (kN.m)	
T9	147,6	Topo	39,5
		Base	42,8
T10	98,1	Topo	67,5
		Base	76,2

Fonte: os autores.

Tabela 3 – Solicitações nos pendurais – g_2

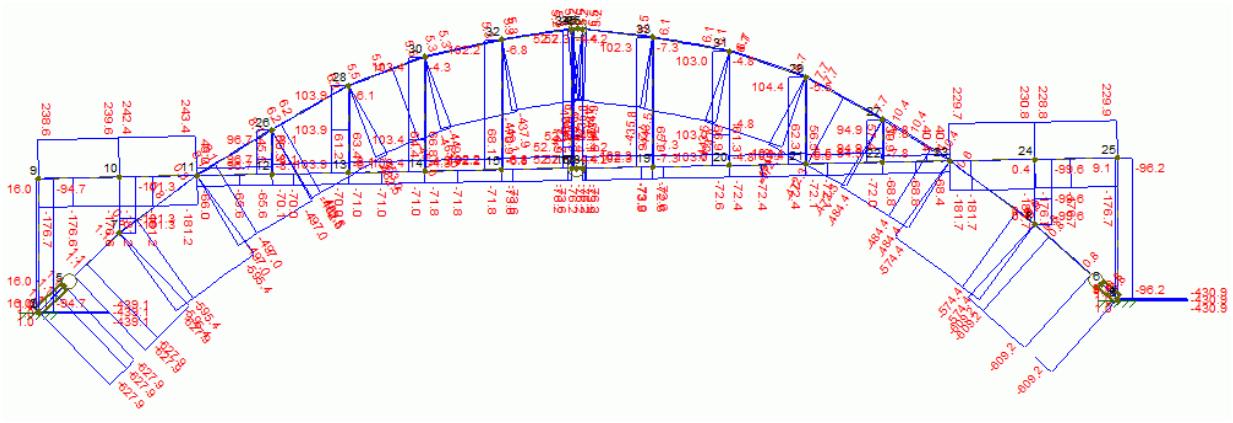
Pendural	N (kN)	M (kN.m)	
T9	81,6	Topo	6,3
		Base	7,5
T10	67,3	Topo	16,7
		Base	20,4

Fonte: os autores.

As Figuras 13 e 14 ilustram as solicitações seccionais (força normal e momento fletor) nos pendurais devidas à carga móvel.

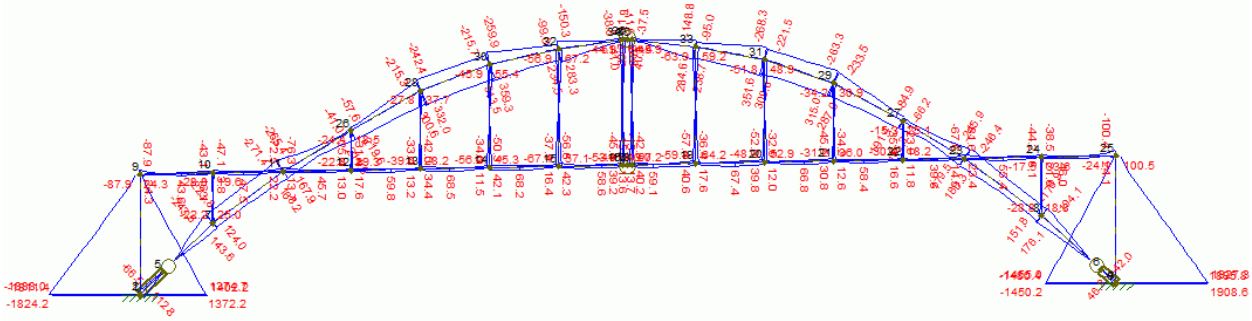
As solicitações máximas de força normal e momento fletor devidas à carga móvel para os pendurais seguem na Tabela 4. O valor negativo da força normal representa compressão, enquanto o valor positivo, tração.

Figura 13 – Diagrama de forças normais (kN) – carga móvel



Fonte: os autores.

Figura 14 – Diagrama de momentos fletores (kN.m) – carga móvel



Fonte: os autores.

Tabela 4 – Solicitações nos pendurais – carga móvel

Pendural	N (kN)		M (kN.m)		
T4	máx	102,2	Topo	máx	67,2
				mín	-56,9
	mín	-6,8	Base	máx	57,1
				mín	-67,4

Fonte: os autores.

A força normal de cálculo e o momento fletor de cálculo máximos ocorreu para o pendural T9 e foram iguais a 331,4 kN e 164,0 kN.m.

Em serviço, a tensão máxima de tração em um elemento estrutural de concreto armado é 150 MPa. Para a força normal de cálculo igual a 331,4 kN, a área necessária de aço, desconsiderando a resistência do concreto à tração, é igual a 331,4 × 10^3 N / 150 MPa = 2209,3 mm^2 = 22,1 cm^2.

Na direção do maior lado do pendural, adotando-se o braço de alavanca igual a 90% da altura útil, o valor da área de aço necessária ao longo do lado de 70 cm do pendural é igual a 164,0 × 10^6 N.mm / (150 MPa × 0,9 × 0,9 × 400 mm) = 3374,5 mm^2 = 33,7 cm^2.

Na direção do menor lado do pendural, adotando-se o braço de alavanca igual a 90% da altura útil, o valor da área de aço necessária ao longo do lado de 40 cm do pendural é igual a 164,0 × 10^6 N.mm / (150 MPa × 0,9 × 0,9 × 700 mm) = 1928,3 mm^2 = 19,3 cm^2.

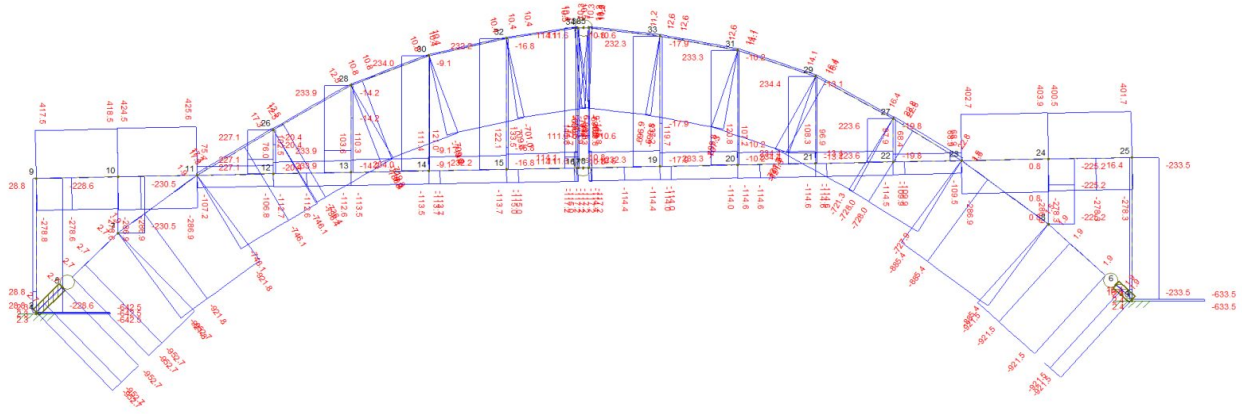
Portanto, a armadura interna de aço total é 22,1 cm^2 + 33,7 cm^2 + 19,3 cm^2 = 75,1 cm^2, o que equivale a 16 barras de 25 mm de diâmetro. Esta armadura é igual à que está nos pendurais da ponte.

5. CÁLCULO DA ARMADURA DE REFORÇO DOS PENDURAIS

Para o cálculo da armadura de reforço dos pendurais da ponte, foi adotado o trem-tipo TB-450 da norma NBR 7188 (ABNT, 2024), cuja carga móvel é definida por um veículo-tipo de 450 kN, com seis rodas de 75 kN de peso, três eixos de carga afastados entre si em 1,5 m e área de ocupação de 18 m^2, circundada por uma carga uniformemente distribuída constante de 5 kN/m^2.

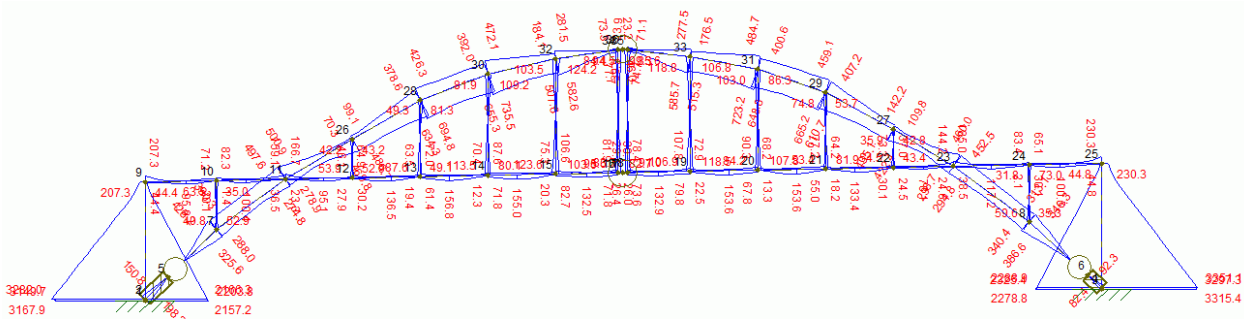
As Figuras 15 e 16 ilustram as solicitações seccionais (força normal e momento fletor) nos pendurais devidas à carga móvel TB-450.

Figura 15 – Diagrama de forças normais (kN) – TB-450



Fonte: os autores.

Figura 16 – Diagrama de momentos fletores (kN) – TB-450



Fonte: os autores.

As Tabelas 5 e 6 apresentam os valores das solicitações de força normal e momento fletor, devidos às ações permanentes e às cargas móveis referentes ao TB-450 para o dimensionamento do reforço dos pendurais da ponte.

Tabela 5 – Resumo dos valores de força normal (kN) conforme TB-450

Pendural	$N_{g1,k}$ (kN)	$N_{g2,k}$ (kN)	$N_{g,k}$ (kN)	$N_{q1,k}$ (kN)	$N_{q2,k}$ (kN)	$N_{sd,máx}$ (kN)	$N_{sd,mín}$ (kN)
T1	61,7	15,7	77,4	-27,5	306,6	564,4	36,1
T2	14,5	1,2	15,7	-19,2	315,8	494,8	-13,1
T3	8,1	3,9	12,0	-12,3	315,9	490,1	-6,4
T4	11,5	23,3	34,8	-28,4	392,0	634,9	-7,7
T5	22,5	14,0	36,5	-18,1	192,6	338,2	9,4
T6	3,2	9,3	12,5	-17,9	188,2	299,2	-14,3
T7	16,3	3,2	19,5	-30,2	392,1	614,5	-25,8
T8	39,2	4,4	43,6	-13,8	315,0	531,3	22,9
T9	42,8	7,5	50,3	-17,7	316,4	542,6	23,8
T10	76,2	20,4	96,6	-26,7	301,6	582,8	56,5

Fonte: os autores.

Tabela 6 – Resumo dos valores de momento fletor (kN.m) conforme TB-450

Pendural	$M_{g1,k}$ (kN.m)	$M_{g2,k}$ (kN.m)	$M_{g,k}$ (kN.m)	$M_{q1,k}$ (kN.m)	$M_{q2,k}$ (kN.m)	$M_{sd,máx}$ (kN.m)	$M_{sd,mín}$ (kN.m)
T1	-44,70	-11,00	-55,70	-118,4	109,8	108,9	-252,8
T2	-4,50	0,10	-4,40	-153,4	147,6	217,0	-236,0
T3	-2,20	1,00	-1,20	-208,6	209,8	313,9	-314,9
T4	3,20	2,50	5,70	-161,5	167,6	259,1	-236,6
T5	5,50	3,20	8,70	-159,7	153,8	242,4	-230,8
T6	-0,70	-2,10	-2,80	-200,7	200,2	297,5	-304,8
T7	4,20	-0,80	3,40	-139,2	145,7	223,1	-205,7
T8	11,70	1,30	13,00	-101,1	72,5	126,3	-138,7
T9	16,20	2,70	18,90	-73,7	58,7	113,6	-91,7
T10	56,80	14,70	71,50	0,0	0,0	96,5	71,5

Fonte: os autores.

O pendural T4 suporta a maior força normal de cálculo para trem-tipo de 450 kN e igual a 634,9 kN, enquanto o pendural T3 sustenta o maior momento fletor de cálculo para trem-tipo de 450 kN e igual a 313,9 kN.m.

Os materiais de reforço recomendados neste trabalho para o reforço dos pendurais da ponte são as barras de polímero reforçado com fibras de vidro (GFRP) ou basalto (BFRP), que devem ser produzidas com resinas termorrígidas de epóxi ou vinil éster e conter reforço contínuo de 75% em relação à massa das barras, conforme especifica a norma NBR 17201-1 (ABNT, 2025b).

Essas barras de GFRP e BFRP devem possuir valores mínimos característicos de resistência à tração, módulo de elasticidade e deformação específica à tração iguais a 800 MPa, 45 GPa e 11‰, nesta ordem, de acordo com a Tabela 2 da norma NBR 17201-1 (ABNT, 2025b).

A resistência de cálculo das barras de GFRP e BFRP, segundo a norma NBR 17196 (ABNT, 2025a) para o estado limite último normal, é igual a 65% (0,85/1,30) da sua resistência característica.

No item 11.6 da NBR 17196 (ABNT, 2025a), devida à reduzida ductilidade do concreto com barras de FRP, os coeficientes de ponderação das ações nas combinações do estado limite último devem ser multiplicados por um coeficiente de ajustamento igual a 1,10.

No cálculo da armadura de reforço foi desconsiderada a armadura interna, pois esta encontra-se corroída em algumas regiões, além dos pendurais serem elementos estruturais muito importantes na segurança estrutural da ponte.

Adotando-se a resistência característica à tração das barras de GFRP e BFRP igual a 800 MPa e desprezando-se a resistência do concreto à tração, a armadura de reforço referente à força normal é igual a $1{,}10 \times 634{,}9 \times 10^3$ N / (0,65 × 800 MPa) = 1343,1 mm^2 = 13,4 cm^2.

Na direção do maior lado do pendural, adotando-se o braço de alavanca igual a 90% da altura útil, o valor da armadura de reforço referente ao momento fletor ao longo do lado de 70 cm do pendural é igual a $1{,}10 \times 314{,}9 \times 10^6$ N.mm / (0,65 × 800 MPa × 0,9 × 0,9 × 400 mm) = 2056,0 mm^2 = 20,6 cm^2.

Na direção do menor lado do pendural, adotando-se o braço de alavanca igual a 90% da altura útil, o valor da armadura de reforço referente ao momento fletor ao longo do lado de 40 cm do pendural é igual a $1{,}10 \times 314{,}9 \times 10^6$ N.mm / (0,65 × 800 MPa × 0,9 × 0,9 × 700 mm) = 1174,8 mm^2 = 11,7 cm^2.

Portanto, a armadura de reforço total formada por barras de GFRP ou BFRP a ser utilizada para substituir a armadura interna existente é 13,4 cm^2 + 20,6 cm^2 + 11,7 cm^2 = 45,7 cm^2, o que equivale a 10 barras de 25 mm de diâmetro.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apresentou-se neste trabalho o dimensionamento do reforço dos pendurais da ponte Eurico Gaspar Dutra sobre o canal da praia da Marambaia, situada na cidade do Rio de Janeiro/RJ.

A partir da armadura interna dos pendurais obtida com o uso de normas vigentes à época da construção da ponte, verificou-se que o trem-tipo adotado e o tipo de aço CA-37 no cálculo foram adequados, pois a armadura interna teórica foi igual à no local dos pendurais da ponte.

A armadura de reforço indicada para os pendurais, como substituição da interna existente, foi composta por barras de polímero reforçado com fibras de vidro ou de basalto, cujo cálculo foi realizado sem ter sido considerada armadura interna, pois se encontra corroída e, em algumas regiões, rompida.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. EB-3: **Barras e fios de aço destinados a armadura de peças de concreto armado.** Rio de Janeiro, 1967.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-1: **Cálculo e execução de obras de concreto armado.** Rio de Janeiro, 1946a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-2: **Cálculo e execução de pontes de concreto armado.** Rio de Janeiro, 1946b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NB-6: **Carga móvel em pontes rodoviárias.** Rio de Janeiro, 1946c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto.** Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7188: **Ações devido ao tráfego de veículos rodoviários e de pedestres em pontes, viadutos e passarelas**. Rio de Janeiro, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17196: **Projeto de estruturas de concreto armado com barras de polímero reforçado com fibras (FRP)**. Rio de Janeiro, 2025a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17201-1: **Barras de polímero reforçado com fibras (FRP) destinadas a armaduras para estruturas de concreto armado – Parte 1: Requisitos**. Rio de Janeiro, 2025b.

BENMOKRANE, B. CHAALLAL, O. MASMOUDI. R. **Glass fibre reinforced plastic (GFRP) rebars for concrete structures**. Construction and Building Materials, v. 9, n. 6, pp. 353-364, 1995.

CARNEIRO, L. A. V.; PERLINGEIRO, M. S. P. L.; FERRO, M. A. C. **Ultrasonic wave transmission velocity into concrete of the Eurico Gaspar Dutra bridge**. *In:* XXI International Conference on Building Pathology and Constructions Repair (CINPAR), Brasília, 2025.

CHAALLAL, O. BENMOKRANE, B. **Fiber-reinforced plastic rebars for concrete applications**. Composites: Part B, v. 27B, p. 245-252, 1996.

EL-NEMR, A. AHMED, E.A. BENMOKRANE, B. **Flexural behavior and serviceability of normal-and-high-strength concrete beams reinforced with glass fiber-reinforced polymer bars**. ACI Structural Journal, nov./dec., v. 110, n. 6, p. 1077-1087, 2013.