

Dimensionamento de Consolos em Concreto Armado: Estudo de caso na Ponte do Educandos em Manaus/AM.

Gabriel Costa da Silva e Silva¹, Maria do Socorro Martins Sampaio²

¹Universidade do Estado do Amazonas / Escola Superior de Tecnologia / gabrielcss22@gmail.com

²Universidade do Estado do Amazonas / Escola Superior de Tecnologia / msampaio@uea.edu.br

Resumo

Os consolos presentes em pilares de pontes de concreto são elementos estruturais que se projetam da face do pilar e têm a função de suportar cargas verticais provenientes de vigas ou, no caso de serviços de manutenção e recuperação estrutural, apoiar os cilindros hidráulicos utilizados para elevação da superestrutura para realização da troca dos aparelhos de apoio. Inaugurada em 18 de outubro de 1975, com aproximadamente 322 m de extensão, 7,60 m de largura, 8 vãos e 8 pilares de alturas variáveis, a Ponte do Educandos está localizada sobre o igarapé de mesmo nome e liga o bairro homônimo ao centro da Cidade de Manaus/AM. Recentemente, a ponte passou por um processo de recuperação estrutural para a substituição dos aparelhos de apoio que apresentavam deslocamentos lineares/angulares. Originalmente, os consolos presentes na ponte, localizados apenas nos vãos centrais, não foram idealizados para o procedimento de troca dos aparelhos de apoio, e sim para servir de apoio para a estrutura de cimbramento durante a construção da superestrutura. Desta forma, para realizar a troca dos aparelhos de apoio foi necessário confeccionar 24 consolos, 4 em cada face dos pilares que não os continham. O presente estudo tem por objetivo descrever o procedimento de execução dos consolos executados na Ponte do Educandos e realizar uma análise comparativa entre os métodos de dimensionamentos existentes em normas nacionais e internacionais (NBR 6118:2014 e NBR 9062:2017, ACI 318-19, Eurocode 2: EN 1992-1-1 e PCI) e o modelo de console dimensionado e executado por uma empresa especializada para que fosse realizada a substituição dos aparelhos de apoio.

Palavras-chave

Consolos; Bielias e Tirantes; Pontes; Obra de Arte Especial; Concreto Armado.

1. Introdução

Os consolos são elementos estruturais que se projetam da face de pilares de concreto ou paredes, com a função de suportar cargas concentradas advindas de equipamentos de elevação como guindastes e cilindros hidráulicos, ou elementos estruturais como escoras metálicas e vigas pré-moldadas. São elementos caracterizados pela descontinuidade geométrica e estática uma vez que possuem regiões inertes com ausência de tensões.

Para o dimensionamento de consolos, existem hoje diversas abordagens possíveis de serem feitas. No âmbito nacional, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) nas suas normas NBR 6118:2014 e NBR 9062:2017, estabelece como metodologia de dimensionamento a utilização do modelo de bielias e tirantes ou de atrito cisalhamento para consolos, a depender da sua geometria.

As normas internacionais do American Concrete Institute (ACI) na norma ACI-318-19, EN 1992-1-1: Eurocode 2 e do Precast/Prestressd Concrete Institute (PCI), baseiam-se principalmente na modelagem de bielias e tirantes, recomendando também a possibilidade de se utilizar alguns métodos alternativos como o de atrito-cisalhamento a depender da geometria do console.

As pontes e viadutos no Brasil, em sua maioria são constituídos de concreto armado ou protendido, e a partir dos anos 70, com o crescimento econômico, o país passou por grande desenvolvimento que proporcionou investimentos em obras de infraestrutura rodoviária, como pontes e viadutos. Esse crescimento gerou a necessidade de inovações e estudos na área de recuperação e manutenção dessas estruturas, porém, ao longo dos anos, muitas dessas estruturas não tiveram as manutenções periódicas preventivas realizadas, fazendo com que muitas apresentem hoje um estado bastante deteriorado.

Construída entre os anos de 1973 e 1975, a ponte Antônio Plácido de Souza, também conhecida como Ponte do Educandos, localiza-se sobre o igarapé de Educandos e liga o bairro homônimo ao centro de Manaus/AM. Originalmente, a ponte foi construída para tráfego de veículos leves e, com o passar dos anos, teve que absorver também a passagem dos veículos pesados, ocasionando desgaste excessivo em sua estrutura, além do longo período sem manutenção. A partir de maio de 2018, a ponte foi parcialmente interditada, com a restrição de tráfego para veículos pesados objetivando minimizar os esforços extras ocasionados pelo tráfego desses tipos de veículos e início dos estudos do projeto de manutenção e recuperação da estrutura. Em 25/10/2019 iniciou-se o processo de revitalização da ponte. O projeto contemplou a recuperação das patologias construtivas com a troca do pavimento, recuperação do tabuleiro na face superior e inferior, revitalização das vigas de borda e transversinas, impermeabilização dos blocos de fundação, construção de novo guarda-corpo, construção de guarda-rodas e troca dos aparelhos de apoio. Para realizar a troca dos aparelhos de apoio, foram confeccionados consoles nos pilares que não os continham.

Desta forma, apresenta-se os resultados obtidos em um estudo de caso que teve como objetivo realizar uma análise comparativa entre os métodos de dimensionamentos apresentados pela NBR 6118:2014 e NBR 9062:2017, ACI-318-19, Eurocode 2: EN 1992-1-1 e PCI e o modelo de console dimensionado por uma empresa especializada. Por fim, descreve-se o procedimento de execução dos consoles para que fosse realizada a substituição dos aparelhos de apoio na obra de revitalização da Ponte do Educandos.

2. Modelos de Dimensionamento de Consoles

Segundo a NBR 6118:2014, são considerados consoles os elementos em balanço nos quais a distância (a) da carga aplicada à face do apoio é menor ou igual à altura útil (d) do console (Figura 1a).

Existem vários modelos para análise e dimensionamento de consoles. Segundo Torres (1998), as principais teorias de cálculo e dimensionamento de consoles foram obtidas dos estudos das trajetórias de tensão realizadas por Franz e Niedenhoff (1963) (Figura 1b), dos modelos de atrito-cisalhamento e das análises plásticas.

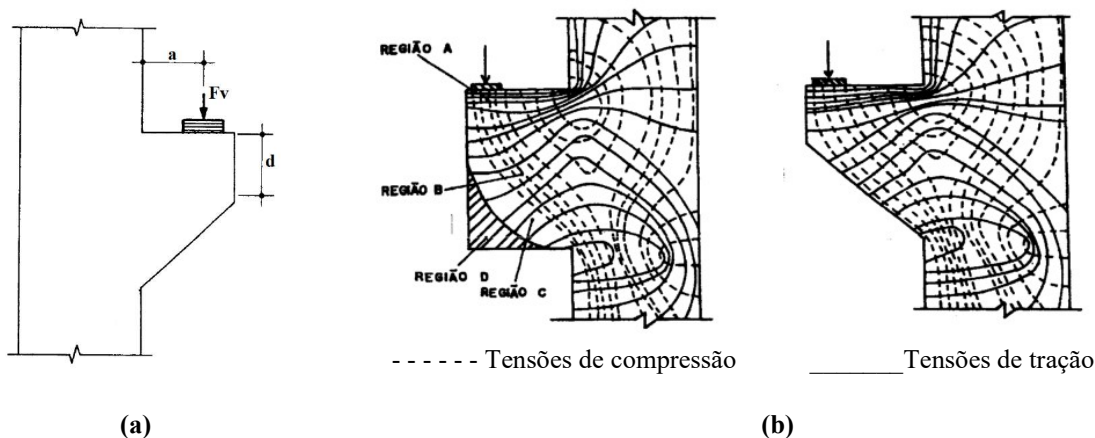


Figura 1 – a) Geometria de um console; b) Trajetória das tensões em console retangular e com chanfro.

Fonte: Torres (1998).

Analisando as trajetórias das tensões ilustradas na Figura 1b é possível compreender melhor o comportamento dos consoles pela identificação das seguintes regiões, considerando $a/d = 0,5$ e apenas a ação da força vertical, sem considerar o carregamento axial de compressão no pilar:

- Região A: As tensões de tração atuam de maneira aproximadamente horizontal e constante, desde o ponto de aplicação da carga até a face do pilar, indicando o posicionamento da armadura principal do console, ou seja, do tirante;
- Região B: As tensões de compressão atuam de maneira quase constante, que parte do ponto de aplicação da carga até a base do console, indicando a formação de uma biela comprimida.
- Região C: Representa a região onde ocorre mudança de direção da força de compressão, provocando o surgimento de tensões de tração inclinadas que são relativamente pequenas, essas resultantes de tração podem ser absorvidas por estribos horizontais, conhecidos como armadura de costura;
- Região D: A parte inferior externa do console retangular, praticamente não apresenta tensões, de modo que se justifica a utilização de consoles com altura variável, denominados consoles chanfrados.

A Figura 2 mostra esquematicamente os tipos de armadura presentes em um console. Os tirantes atuam resistindo aos esforços primários de tração, a armadura de costura atua auxiliando a armadura principal e suportando as tensões de tração residuais decorrentes da mudança de direção da força de compressão. Leonhardt e Mönning (2007) comentam que os estribos verticais contribuem para enrijecer a armadura e que os estribos horizontais abaixo da armadura do banzo, em console com $a/h \cong 0,7$ a $0,5$, aumentam a capacidade resistente das bielas de compressão quando dispostos com pequeno espaçamento.

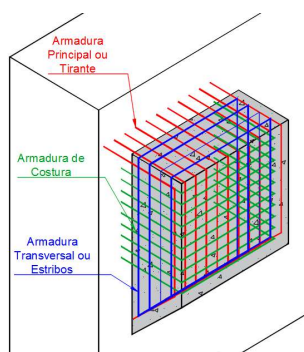


Figura 2 - Armaduras presentes em um console.
Fonte: Autor (2021).

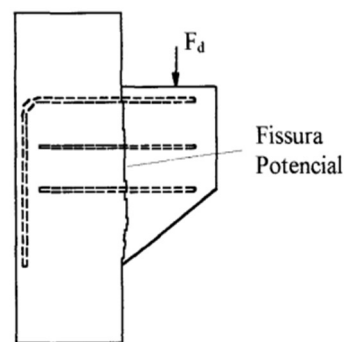


Figura 3 – Modo de Ruptura por Cisalhamento.
Fonte: Torres (1998).

A partir dessas teorias e do conhecimento das trajetórias das tensões surgiram uma série de modelos de cálculo. De acordo com Torres (1998) o que diferencia esses modelos é a utilização de uma ou mais das teorias citadas anteriormente, a adoção de coeficientes de segurança diferenciados e o grau de simplificação utilizado em cada norma. Ainda segundo Torres (1998), os principais modelos de cálculo utilizados no dimensionamento de consoles são: Modelos de bielas e tirantes, Modelo de atrito cisalhamento e Modelos de plasticidade.

De acordo com a NBR 9062:2017, adota-se para cada de tipo de console um método de dimensionamento. Sua classificação se dá em função da razão entre a distância de aplicação da força à face do pilar (a) e a altura útil do console (d). A depender do tipo de console, têm-se as recomendações:

- Para $1,0 < a/d < 2,0$, o dimensionamento se faz como viga em balanço, aplicando-se as recomendações da NBR 6118:2014;
- Para $0,5 < a/d \leq 1,0$, (consoles curtos), o dimensionamento se faz pelo método de bielas e tirantes também chamado de modelo de treliça;
- Para $a/d \leq 0,5$ (consoles muito curtos), o dimensionamento se faz pelo modelo atrito-cisalhamento.

As recomendações para o projeto de consoles do Manual do PCI são baseadas no ACI 318 de 2005. De acordo com esse manual, podem ser empregados dois métodos: a) biela e tirante e b) viga em balanço. O modelo de viga em balanço, valido para relações $a/d < 1$ e predominância de força

vertical, consiste em calcular a armadura de duas formas, por um modelo de biela e tirante simplificado e por atrito-cisalhamento. A armadura a ser utilizada é a maior delas (EL DEBS, 2017).

O Eurocode 2: EN 1992-1-1, sugere o modelo de bielas e tirantes com indicações específicas.

O modelo de atrito-cisalhamento consiste na idealização da ruptura do console pelo escorregamento na interface console-pilar devido às tensões de cisalhamento (Figura 3). A junção das duas partes, pilar e console, então, é garantida por armaduras que atravessam a fissura potencial, produzindo força normal entre as partes e resistindo diretamente ao corte da armadura, conhecido como efeito de pino. Ao longo do plano da fissura potencial também ocorre o efeito de engrenamento dos agregados que auxilia na resistência do console ao escorregamento. Pode-se então determinar a armadura necessária para garantir a transferência das tensões de cisalhamento, do console para o pilar, pela fissura potencial utilizando a teoria de atrito de Coulomb. Este modelo não fornece indicações com relação à posição da armadura. Torres (1998) sugere que o detalhamento deste tipo de console seja feito seguindo o mesmo esquema de armação de consoles curtos. Em relação à quantidade de armadura, El Debs (2017) recomenda que a área da armadura, para console muito curto, não seja menor que aquela calculada com a expressão para console curto. A utilização do modelo de atrito-cisalhamento está prevista nas recomendações das normas do ACI, do PCI e na norma brasileira NBR 9062.

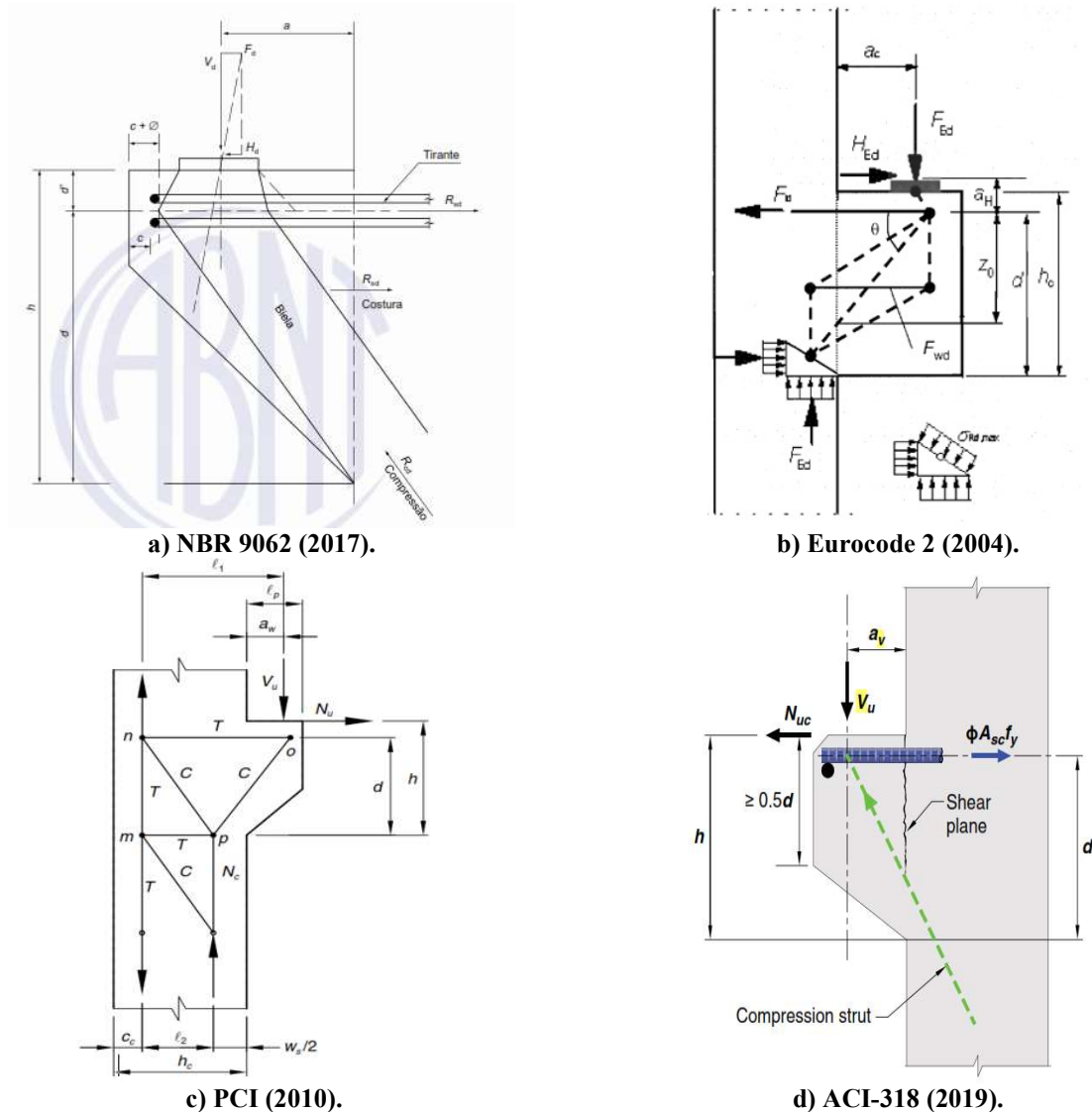


Figura 4 – Modelo de treliça segundo Normas estudadas.

O modelo de bielas e tirantes consiste em idealizar o comportamento da estrutura, substituindo os fluxos de tensões de compressão e tração, respectivamente, por elementos comprimidos (bielas) e

tracionados (tirantes). A posição das bielas e dos tirantes é escolhida a partir das tensões que ocorrem em cada região. As forças nas bielas e nos tirantes são calculadas por equilíbrio de forças internas e externas. Por fim, pode-se fazer o dimensionamento do tirante e as verificações na biela.

Os modelos de treliça adotados pelas diferentes normas consideradas são mostrados na Figura 4 e as expressões para a determinação das áreas de armadura necessárias em cada modelo estão resumidas na Tabela 1. Os modelos de dimensionamento detalhados podem ser encontrados nos respectivos códigos normativos.

Tabela 1 - Áreas de armadura para consoles muito curtos segundo as normas estudadas.

ARMADURA	NBR 9062	PCI/ACI	EUROCODE
Armadura do tirante (cm ²)	$A_{s,tir} = A_{sv} + \frac{H_d}{f_{yd}}$	Maior: $A_f + A_n$ $\frac{2}{3} \cdot A_{vf} + A_n$ $0,04 \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \cdot (b_w \cdot d)$	$A_s = \frac{F_t}{f_{yd}}$
Armadura de costura (cm ²)	$(A_s/s)_{cost} \geq 0,5 \left(\frac{A_{sv}}{d} \right)$	$A_h = 0,5(A_{sc} - A_n)$	$\frac{F_{wd}}{3 + F_{Ed}/F_c} = \frac{2 \frac{Z}{a} - 1}{3 + F_{Ed}/F_c} F_c$
Armadura transversal (cm ²)	$(A_s/s)_{estr.min} = 0,0015 \cdot b \cdot h$	$A_{vf} = \frac{V_u}{\varphi \cdot f_y \cdot \mu}$	$A_{sw} = \frac{F_{wd}}{f_{yd}}$

Fonte: Autor (2021).

3. Metodologia

O presente trabalho é um estudo de caso que apresenta uma análise e dimensionamento de consoles de suspensão em pilares de concreto armado, cuja função foi suportar a carga dos cilindros hidráulicos utilizados para elevar o estrado de uma ponte de concreto armado, afim de que fosse realizada a troca dos aparelhos de apoio de Neoprene.

O dimensionamento do console foi feito seguindo as recomendações das normas nacionais NBR 9062:2017 e NBR 6118:2014, assim como das normas internacionais do ACI 318-19, Eurocode 2 EN 1992-1-1 e PCI, para então compará-los com o que foi executado *in loco* por uma empresa especializada.

As etapas seguidas no presente estudo foram divididas nos seguintes itens: 1) Levantamento da bibliografia existente, identificando os elementos que envolvem o problema e as teorias que melhor detalham o comportamento de consoles quando solicitado por uma carga concentrada; 2) Descrição da Estrutura da Ponte do Educandos, objeto do presente estudo de caso; 3) Determinação da Carga Aplicada no Console a partir das características físicas e geométricas da ponte, analisando o carregamento existente no estrado; 4) Verificação Geométrica e Classificação do Console executado pela empresa especializada para definir o modelo de dimensionamento; 5) Estudo dos modelos de cálculo indicados para o tipo de console executado; 6) Dimensionamento do console segundo às normas brasileiras NBR 6118:2014 e 9062:2017, normas americanas ACI 318-19 e PCI e a norma europeia Eurocode 2 EN 1992-1-1:2004; 7) Comparação dos resultados obtidos através dos dimensionamentos realizados com as disposições construtivas do console executado pela empresa; 8) Análise e discussão dos resultados; 9) Descrição do processo executivo do consoles realizado pela empresa especializada.

4. Estudo de Caso: Resultados, Análise e Discussão

4.1. Descrição da Estrutura da Ponte do Educandos

Segundo Carvalho e Lopes (2018), a Ponte do Educandos apresenta a seguinte composição estrutural: Superestrutura composta por 8 vãos com lajes do estrado protendida transversalmente, 4 vigas longarinas protendidas por vão, 5 vigas transversinas de concreto armado por vão,

mesoestrutura composta por 8 pilares de concreto armado com alturas variáveis, 2 encontros em concreto armado e fundações compostas por bloco sobre estacas (Figuras 5, 6 e 7). Também possui 8 juntas de dilatação e aparelhos de apoio de Neoprene localizados entre os pilares e as longarinas. Inicialmente, o pavimento da ponte era feito de concreto armado com vinte e cinco centímetros de espessura. Com os desgastes ocorridos ao longo do tempo, foram feitos reparos no revestimento do pavimento com massa asfáltica.

Segundo o eixo longitudinal (Figura 5), os comprimentos dos tramos no sentido do Educandos para o Centro da cidade são, respectivamente: 15,68 m (ala 1); 35,53 m (vão); 37,26 m (vão); 37,49 m (vão); 37,49 m (vão); 36,74 m (vão); 36,14 m (vão); 36,05 m (vão); 36,97 m (vão); 12,18 m (ala 2); totalizando 321,52 m. As Figuras 6 e 7 mostram, respectivamente, a localização e uma visão panorâmica da ponte do Educandos.

Segundo o eixo transversal (Figura 8), as dimensões nas seções dos vãos são: largura total de 11,40 m, distância entre guarda rodas, face a face, de 7,60 m, comprimento livre das lajes dos balanços de 1,50 m, largura das longarinas de 0,10 m, comprimento livre entre longarinas de 2,40 m, e mísulas internas junto às longarinas de 0,25 m por 0,25 m.

Os aparelhos de apoio antigos eram de Neoprene fretado, com uma chapa de aço em seu interior, e alguns apresentavam deslocamentos lineares/angulares. Para correção do problema os mesmos foram substituídos.

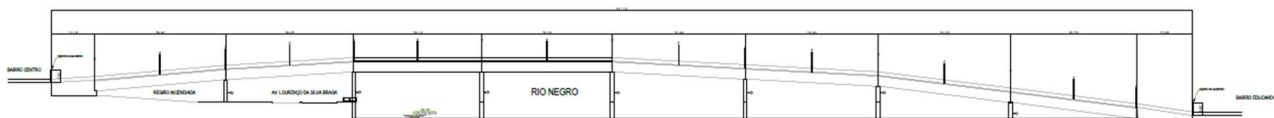


Figura 5 – Vista da Ponte do Educandos.
Fonte: Prefeitura Municipal de Manaus, 2019.



Figura 6 – Localização da Ponte do Educandos.
Fonte: Google Earth, 2020.



Figura 7 - Vista panorâmica da ponte.
Fonte: PROCEC, 2019.

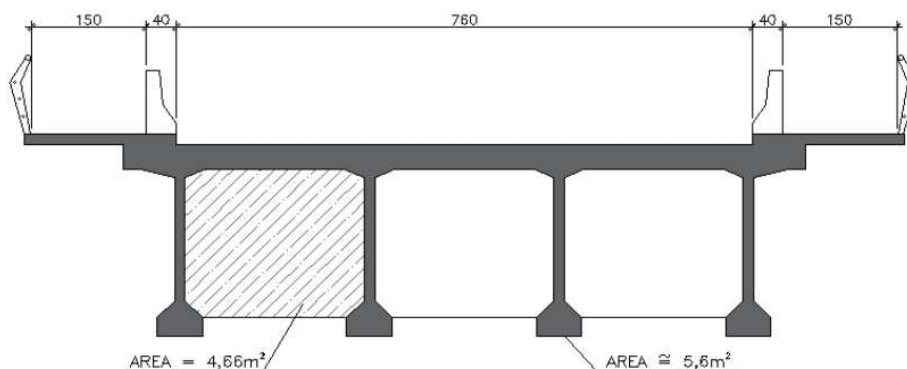


Figura 8 - Seção transversal típica da ponte.
Fonte: Autor (2021).

4.2. Determinação da Carga Aplicada no Console

O carregamento concentrado aplicado no console foi determinado analisando as cargas atuantes no estrado da ponte e conseqüentemente, em cada um dos quatro cilindros hidráulicos no momento da elevação da superestrutura. Para isso considerou-se a seção transversal típica mostrada na Figura 8, chegando-se a um peso próprio do tabuleiro de aproximadamente 145,5 kN/m e peso próprio da transversina de aproximadamente 70 kN.

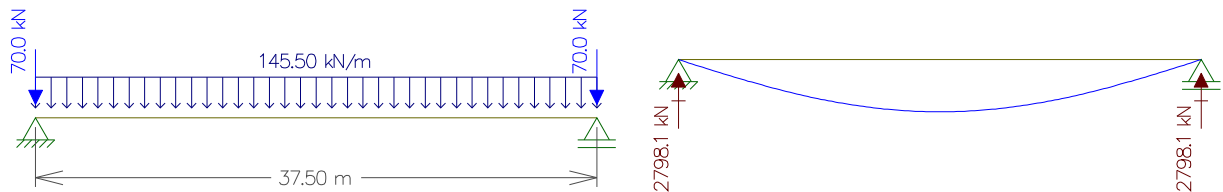


Figura 9 - Cargas atuantes na seção longitudinal da ponte e reações de apoio.

Fonte: Autor (2021).

A partir do carregamento obtido, analisando os esforços atuantes na seção típica da estrutura e considerando que as reações de apoio da viga da Figura 9 serão distribuídas em 4 apoios (cilindros hidráulicos) nas longarinas, obteve-se a força aplicada em cada console de aproximadamente $F_v = 699$ kN.

4.3. Verificação Geométrica e Classificação do Console

A fim de estabelecer um parâmetro de comparação entre os métodos de dimensionamento estudados, a definição geométrica do console teve como base os consoles executados na Ponte do Educandos pela empresa especializada. As dimensões dos consoles executados são: $a = 20$ cm; $b = 60$ cm; $d = 88$ cm; $h = 92$ cm; $c = 4$ cm (Figura 10). Fazendo a verificação da relação (a/d) conclui-se que o console é classificado como muito curto, pois $20 < 0,5 \times 92$.

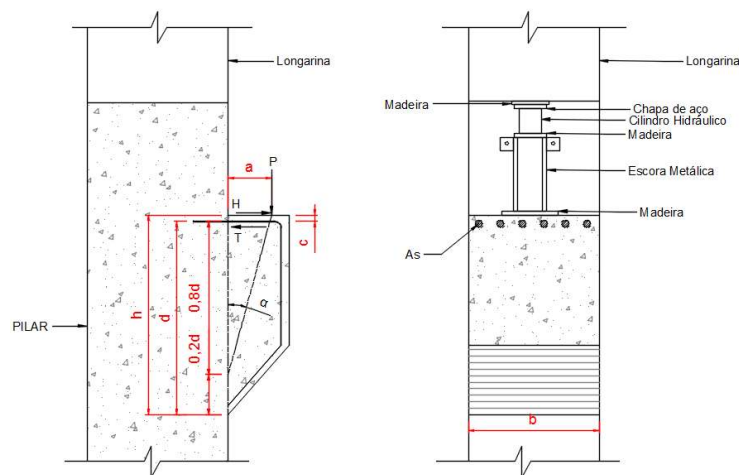


Figura 10 - Geometria do console.

Fonte: Autor (2021).

O método de bielas e tirantes é indicado pela NBR 6118:2014 para dimensionar consoles curtos, onde $0,5 \leq a/d \leq 1,0$, já para os consoles muito curtos, onde $a/d \leq 0,5$ é indicado o método de atrito-cisalhamento. As normas americanas do ACI e PCI indicam o dimensionamento pelo método das bielas e tirantes quando a relação $a/d \leq 1,0$. Já o Eurocode 2, indica o modelo de bielas e tirantes quando a distância entre a aplicação da carga e a face do pilar for menor que a altura do console ($a < d$). Dessa forma, justifica-se a aplicação desse método para o console muito curto em análise.

4.4. Dimensionamento do Console e Análise dos Resultados

Para a carga aplicada no console determinada na Seção 4.2, geometria apresentada na Seção 4.3 e seguindo as recomendações apresentadas nas normas nacionais NBR 9062:2017 e NBR 6118:2014, assim como das normas internacionais do ACI 318-19, Eurocode 2 EN 1992-1-1 e PCI, chegou-se aos resultados para as áreas de armadura do tirante, armadura de costura e armadura transversal apresentadas na Tabela 2, já comparados com os resultados obtidos pela empresa especializada.

Tabela 2 - Resultados das armaduras obtidas no cálculo do console muito curto.

ARMADURA	NBR 9062	ACI	PCI	EUROCODE	EMPRESA
Armadura do tirante (cm ²)	16,89	16,89	6,25	5,16	6,116
Armadura de costura (cm ²)	9,0	18,64	6,12	4,41	22,68
Armadura tirante + Armadura costura (cm ²)	25,89	35,53	12,37	9,57	28,79
Armadura transversal (cm ²)	8,28	8,83	-	-	2,52

Fonte: Autor (2021).

Analisando-se as diferenças entre as áreas de armaduras do tirante e de costura obtidas pelas normas e o dimensionado pela empresa, observa-se que o resultado obtido pela NBR 9062 foi aproximadamente 10% menor, já a área obtida pelo ACI foi aproximadamente 23,4% maior, enquanto que as áreas obtidas pelo PCI e Eurocode foram aproximadamente 57% e 66,7% menores, respectivamente.

Quando se comparam os dados obtidos é possível observar que o método do Eurocode é mais econômico. Em relação aos procedimentos da NBR 9062 e ACI, os critérios de segurança mínimos são praticamente os mesmos sendo possível constatar a semelhança nas áreas de aço obtidas.

Observa-se que o PCI e o Eurocode apresentam resultados semelhantes, uma vez que foram dimensionados utilizando o mesmo modelo teórico de bielas e tirantes, com diferentes coeficientes de cálculo.

O critério de segurança adotado no manual do PCI (2004) é ligeiramente diferente, pois ele trabalha com carregamentos majorados e resistência minorada por um coeficiente global. Nota-se que os valores da NBR e do ACI são mais próximos enquanto que os do PCI e Eurocode são bem menores.

Observa-se que a área da armadura do tirante do console dimensionado pela empresa em questão aproxima-se das quantidades do PCI, enquanto que a armadura de costura é consideravelmente maior do que as obtidas pelo método do PCI e NBR, isso se reflete na menor área de estribos dentre as demais áreas.

Vale ressaltar que para situações de reforço como no estudo de caso apresentado neste trabalho, onde o console não foi executado monoliticamente, ou seja, foi concretado posteriormente à confecção do pilar, sob uma superfície escarificada, deve-se levar em consideração fatores como a armadura presente no pilar, o que pode dificultar a inserção das armaduras do console. Nesse caso, o dimensionamento dever ser feito de modo a não utilizar uma área de armadura elevada para que não seja preciso muitas perfurações na superfície do pilar para colocação dos tirantes, o que enfraqueceria a região. Ressalta-se também, que a resistência do console aos esforços principais está ligada às áreas de aço da armadura do tirante e da armadura de costura, uma vez que estas atuam de forma conjunta resistindo aos esforços de tração.

4.5. Acompanhamento do Processo Executivo dos Consoles

Para realizar a troca dos aparelhos de apoio, foram confeccionados consoles nos pilares que não os continham. Para tal, removeu-se o cobrimento do concreto com martetele para a colocação das armaduras do console, como mostra a Figura 11a. Observa-se que a taxa de armadura original existente nos pilares da ponte é bastante elevada, fazendo com que o processo de execução dos furos fosse bastante trabalhoso. Esse fator deve ser levado em consideração no dimensionamento dos consoles, visto que a taxa de armadura alta dificulta o processo de execução dos mesmos.



a) Pilar com camada de cobrimento removida.



b) Montagem da armadura do console.



c) Armadura final do console.



d) Consoles com as formas posicionados no pilar.



e) Concretagem dos pilares.



f) Adensamento do concreto nos consoles.



g) Consoles novos concretados no pilar.



h) Cilindros hidráulicos apoiados nos consoles.

Figura 11 – Fases de execução dos consoles.

Fonte: Autor (2021).

Devido a este fator, não foi possível colocar a quantidade de tirantes prevista no projeto, a solução adotada foi colocar uma quantidade menor de tirantes, porém com maior diâmetro, dessa forma, mantendo a área de armadura prevista. A ancoragem foi feita com adesivo estrutural à base de resina epóxi, o qual foi aplicado no entorno da barra e nos furos no concreto, e através de golpes com martelo

foram introduzidos com o transpasse de 16 cm para o interior do pilar. Após a montagem da armadura (Figuras 11b e 11c), foram colocadas as formas de madeira para a execução da concretagem (Figura 11d). Para o lançamento do concreto, foram instalados andaimes fachadeiros no local, foi utilizado concreto usinado com resistência à compressão de 40 MPa, lançado de forma manual devido à dificuldade de acesso ao local (Figura 11e), e devidamente adensado com mangotes vibratórios, conforme mostrado na Figura 11f. Ao todo foram executados 24 consoles, 4 em cada face do pilar (Figura 11g), sendo 8 no pilar 1, 4 nos Pilares 2 e 7 e 4 nos encontros 1 e 2. Os consoles confeccionados permitiram que a operação de elevação da superestrutura da ponte fosse realizada conforme mostra a Figura 10h.

Conclusões

O dimensionamento adequado de consoles de concreto armado pode ser feito através de diferentes abordagens. O intuito deste estudo foi estabelecer uma análise comparativa entre os métodos de dimensionamentos apresentados nas normas nacionais NBR 9062:2017 e NBR 6118:2014 e normas internacionais do ACI 318-19, Eurocode 2 EN 1992-1-1 e PCI, a fim de apontar diferenças quantitativas entre os modelos e o dimensionamento feito por uma empresa especializada, chegando assim às conclusões de qual modelo pode ser considerado mais econômico e qual pode ser considerado mais conservador, além de constatar a efetividade do método utilizado pela empresa, uma vez que os consoles executados atenderam às solicitações do serviço de elevação do estrado da ponte para substituição dos aparelhos de apoio. Observa-se que o modelo de biela e tirante não representa bem o comportamento de consoles muito curtos e, portanto, a norma brasileira NBR 9062 apresenta uma abordagem mais adequada ao estudo de caso em questão, uma vez que no caso estudado o console foi moldado em duas etapas ($\mu = 1$ na determinação da armadura do tirante) havendo assim um plano de cisalhamento bem definido entre este e o pilar.

Agradecimentos

Os autores agradecem a PROCEC Engenharia S.A. pela disponibilização dos dados.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete. Farmington Hills, MI, 2019.
- CARVALHO, F.A.C.; LOPES, A.P. Laudo sobre as condições da estrutura da ponte Plácido de Souza (Ponte do Educandos), situada à rua Delcídio do Amaral – Centro, Manaus/AM. Secope Engenharia LTDA. Manaus, 2018.
- EL DEBS, M.K. Concreto Pré-Moldado: Fundamentos e Aplicações. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.
- EUROPEAN STEANDARD. EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. English version. Bruxelas, 2004.
- LEONHARDT, F.; MÖNNING, E. Construções de Concreto, Volume 3: Princípios básicos sobre a armação de estruturas de concreto Armado. 3ª reimpressão. Rio de Janeiro: Interciência, 2007.
- LEONHARDT, F. Construções de concreto, Volume 6: Princípios básicos da construção de pontes de concreto. 1 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1979.
- PRECAST/PRESTRESSED CONCRETE INSTITUITE. PCI Design Handbook. 7th Edition. Chicago, IL, 2010.
- TORRES, F. N. Análise teórico-experimental de consoles de concreto armado. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil. 1998.