

**AVALIAÇÃO DE CARGA E RESISTÊNCIA DA ESTRUTURA DA PONTE SOBRE
O ARROIO BOA VISTA, NA BR 386, APÓS RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL
DEVIDO AOS DANOS CAUSADOS POR ACIDENTE**

**EVALUATION OF LOAD AND STRENGTH OF THE STRUCTURE OF THE
BRIDGE OVER THE BOA VISTA CREEK, BR 386, AFTER STRUCTURAL
RECOVERY DUE TO ACCIDENT DAMAGE**

Jamila Laise Alencar Alfonso

Orientadora: Diana Azambuja

RESUMO

O presente artigo objetiva a análise do reforço estrutural executado em um dos pilares da ponte do Arroio Boa Vista, localizada na BR 386, após grave acidente veicular. O intuito é confirmar viabilidade e segurança do reforço executado no pilar, utilizando os parâmetros impostos pela NBR 6118:2014. Posteriormente comparou-se a estrutura original com a estrutura recuperada avaliando as diferenças de peso próprio, capacidade de carga através da resistência à compressão dos pilares e seção transversal de outros elementos estruturais também restaurados como travessa, console e outros pilares.

Palavras-chaves: Pilar, Reforço, Comparativo.

RESUMO EM INGLÊS

This paper aims to analyze the structural reinforcement performed in one of the pillars of the bridge of Arroio Boa Vista, located on BR 386, after a serious vehicular accident. The purpose is to confirm the feasibility and safety of the reinforcement performed on the pillar, using the parameters imposed by NBR 6118:2014. Subsequently, the original structure was compared with the restored structure, evaluating the differences in self-weight, load capacity through the compressive strength of the pillars, and cross section of other restored structural elements, such as the transom, console, and other pillars.

Keywords: Pillar, Reinforcement, Comparative

Acadêmico do Curso de Engenharia Civil, Universidade La Salle,
Email: jamila.201820408@unilasalle.edu.br

1. INTRODUÇÃO

“Um caminhão tanque, carregado com combustível, gasolina e diesel, explodiu no final da manhã do dia 13 de março de 2021 na BR 386, entre Lajeado e Estrela, na região do Vale do Taquari. O acidente de trânsito ocorreu no km 350 da rodovia, na ponte sobre o Arroio Boa Vista” (Correio do Povo RS).

O aumento da temperatura nos componentes do concreto leva à redução do módulo de elasticidade e da resistência característica dos materiais, além de reduzir a rigidez da estrutura e a heterogeneidade dos materiais que compõem o concreto (pasta, agregados, aço), resultando na degradação polifásica do concreto armado, podendo levar as peças estruturais a danos irreversíveis. (COSTA; SILVA, 2002)

Para um reforço ser bem executado, é necessário conhecer o comportamento estrutural, inspecionar a estrutura danificada para avaliar a sua capacidade resistente e analisar as diferentes possibilidades de reforço para que haja eficiência, economia e desempenho satisfatórios. (ZUCCHI, 2015).

Neste cenário, este trabalho propõe um comparativo de carga referente à estrutura original e com posteriores intervenções de reforço empregadas no pilar da ponte pista sul sobre Arroio Boa Vista, que foi reabilitada, visando estabilizar a mesoestrutura após acidente.

A ponte foi avaliada através de vistorias posteriores ao acidente surgindo à necessidade de avaliação para reforço e restauração estrutural da ponte sobre o arroio, principalmente na pista sul sentido capital. As avaliações foram feitas por meio de inspeções visuais, ensaios de compressão em corpos de prova extraídos da estrutura e provas de carga da ponte, realizados na pista sentido Sul segundo engenheiro responsável. (Apêndice A)

Estudar métodos para reparar a estrutura conforme cada caso é uma tarefa complexa, considerando muitas especificações da situação, principalmente por ser uma restauração e reforço em uma estrutura que possui vários elementos como pilares, travessa, tabuleiro dentre outros.

A degradação provocada pelo acidente levou à reparação da estrutura no ímpeto emergencial exigindo segurança e viabilidade. Avaliar o que foi executado leva a um entendimento da resolução do problema considerando as especificações do caso em estudo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar os projetos e execução do reforço estrutural de um dos pilares que sofreu danos por incineração decorrente do acidente na ponte sobre o Arroio Boa Vista Pista Sul. Será realizada uma abordagem geral sobre o tema, visando realizar inicialmente uma análise do detalhamento das armaduras do pilar reforçado e posterior comparativo referente ao peso próprio dos elementos modificados (travessa, consoles e pilares) e capacidade de carga entre os dois pilares pela resistência à compressão dos mesmos em relação a antes e depois do reforço.

1.1.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Análise da implantação da recuperação e reforço estrutural detalhando as armaduras, com aumento da seção transversal em um dos pilares afetados pelo acidente.
- Cálculo da diferença de peso próprio do concreto armado de antes e depois do reforço da travessa, consoles e pilares.
- Cálculo comparativo de resistência à compressão dos pilares em relação a antes e depois do reforço, considerando a resistência característica do concreto e seção transversal.

1.1.3. Justificativa

Segundo SOTO (2013) com o tempo, estruturas feitas de concreto podem ter seu uso prejudicado por vários motivos, como falhas de projeto, erros de execução, má utilização da estrutura, dentre outros. Neste contexto, este trabalho avalia a estrutura de uma ponte que ficou interditada para tráfego pesado durante aproximadamente um mês após a colisão de um caminhão de combustível, sucedida de explosão, que causaram danos à estrutura. Os principais elementos estruturais afetados pelo acidente foram pilares, viga travessa e consoles.

Visando contribuir para uma melhor compreensão para reabilitação de estruturas, utilizando um estudo de caso, o presente trabalho agrega conhecimento

na área de engenharia civil contribuindo para a compreensão dos métodos utilizados na recuperação da ponte.

2. ASPECTOS GERAIS

2.1 Efeito do fogo no concreto armado

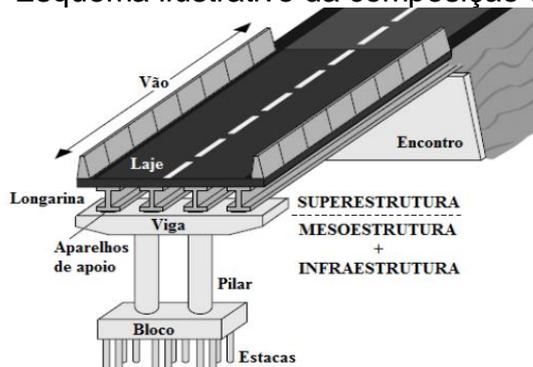
O concreto pode ser acidentalmente exposto às altas temperaturas como no caso de estudo em questão. O concreto apresenta boa resistência a altas temperaturas devido às propriedades térmicas dos materiais que o compõem, como incombustibilidade, baixo coeficiente de dilatação e condutividade térmica. No entanto, um aumento na temperatura em um elemento de concreto resultará em uma diminuição no módulo de elasticidade e na resistência característica de seus materiais constituintes, resultando na rigidez do elemento sendo prejudicada. (ROCHA, 2018)

De acordo com ARGENTON (2011), “quando exposto ao fogo, o concreto pode apresentar redução de suas propriedades mecânicas, danos devido à deformação excessiva, ocorrência de deslocamento e alteração na coloração.”

Em março de 2021 com a explosão de um caminhão de combustível na ponte sobre Arroio Boa Vista, a estrutura de concreto envolvendo em relação aos pilares, viga travessa e consoles sofreram com a perda de propriedades devido à explosão, tendo como uma das principais evidências a calcinação na estrutura de concreto na área atingida da ponte, que segundo TRINDADE (2015) consiste na perda de resistência e mudança de cor do concreto devido à exposição ao fogo. A degradação da estrutura após o acidente é mostrada na Figura 1 (Anexo A).

2.2 Elementos estruturais da ponte

Figura 1 - Esquema ilustrativo da composição de pontes.



Fonte: CAVALCANTE, 2016.

Segundo CAVALCANTE (2016) A superestrutura é composta por estruturas primárias e secundárias, as quais são formadas principalmente por membros estruturais projetados para vencer o vão livre, e a secundária é constituída por tabuleiros, que são responsáveis por suportar os efeitos diretos das cargas e transmiti-los para a estrutura principal. A mesoestrutura consiste em conectar a superestrutura a elementos de suporte como encontros e elementos de fundação. Os encontros estão localizados em ambas as extremidades e em contato com o aterro, servindo como paredes de contenção e sustentando a superestrutura. Os pilares estão localizados no vão médio e desempenham a função de suporte da estrutura superior fazendo parte da mesoestrutura. A infraestrutura é composta por fundação, como por exemplo, blocos superficiais e estacas, que vão transferir a força da superestrutura e da mesoestrutura para o material com capacidade resistente, neste caso solo ou rocha. Tais elementos podem ser vistos na Figura 1.

2.3 Características da Ponte

A Obra de Arte Especial, objeto deste trabalho, encontra-se localizada no km 350+050 da BR 386, no município de Estrela, RS. A estrutura possui geometria longitudinal em curva, com extensão total de aproximadamente 120m e largura de 11,80 m, com Trem tipo rodoviário classe 45.

A Ponte sobre o Arroio Boa Vista Pista Sul foi construída em quatro vãos. Para dispensar o uso de formas foram utilizadas lajes pré-moldadas de pequena espessura (pré-lajes) apoiadas nas mesas das vigas. Transversalmente, o tabuleiro é composto por cinco vigas longarinas pré-moldadas protendidas. A ligação transversal entre as vigas pré-moldadas (longarinas) é feita por intermédio da laje e de transversinas. A transmissão de carga da superestrutura para mesoestrutura é feita mediante os dez aparelhos de apoio de neoprene fretado por travessa que foram substituídos na estrutura reabilitada sobrepostos em berços que foram recuperados após acidente. A mesoestrutura é composta por seis pilares de concreto armado de seção retangular, contra ventados por viga travessa também em concreto armado. A transmissão dos esforços da ponte em estudo para o solo em cada apoio é feita através da infraestrutura que é composta pelos blocos de fundação aparente sob cada pilar.

3. METODOLOGIA

3.1 Caracterização da Pesquisa

Para a confecção deste artigo foi empregada uma metodologia descritiva visto que será representado o processo de aplicação da técnica de reforço estrutural por meio de encamisamento do pilar com adição de armaduras e aumento da seção transversal. Esta pesquisa se enquadra como estudo de caso com levantamento de dados coletados em campo, sendo que prevê visitas técnicas à obra objetivando o levantamento dos dados necessários para os cálculos e análises referidos nos objetivos específicos.

Segundo os procedimentos adotados para a pesquisa, foi considerado o método de levantamento de dados, pois é previsto a entrevista ao engenheiro responsável pela execução e, além disso, os cálculos de diferença de peso próprio dos elementos reabilitados, onde é preciso a coleta das medidas geométricas da estrutura. Os dados foram analisados de forma qualitativa e quantitativa visando o acompanhamento da execução do reforço e cálculo da diferença de carga entre peso próprio do concreto armado da travessa, consoles e pilares além do comparativo de carga máxima que os pilares podem suportar em relação à antes e depois da recuperação da estrutura, considerando a resistência característica do concreto e seção transversal dos pilares em estudo.

3.2 Delimitações

Destaca-se que este trabalho foi elaborado considerando as seguintes limitações de pesquisa:

- Apesar de mais elementos terem sido reabilitados devido ao acidente, os elementos principais em estudo são os pilares, com análise do detalhamento das armaduras longitudinais e transversais utilizadas no reforço do pilar afetado e suas especificações segundo a norma.
- Cálculo da diferença de carga em relação ao peso próprio da travessa, console e pilares e comparativo de resistência à compressão dos pilares relacionadas à carga máxima que os mesmos podem suportar considerando a resistência característica do concreto em kgf/cm^2 vezes a área da seção transversal dos pilares em estudo.

- Para o pilar reabilitado foi utilizado microconcreto com resistência a compressão simples de 35 MPa obtidos em 28 dias. O concreto do pilar original mantido no pilar reabilitado possui resistência a compressão simples de 40 MPa.

3.3 Reabilitação do pilar

Para recuperação do pilar afetado foi utilizado o método de encamisamento do mesmo com aumento da seção transversal e adição de armaduras, além da retirada do concreto superficial deteriorado devido ao acidente.

Segundo ZUCCHI (2015) um bom resultado para o reparo depende da boa adesão entre o concreto novo e o antigo, e da capacidade de transferência de tensões entre os mesmos. A incompatibilidade entre os materiais pode gerar falhas nos reparos, principalmente devido às diferenças de deformação e retração, com isso por segurança todo o concreto comprometido deverá ser removido.

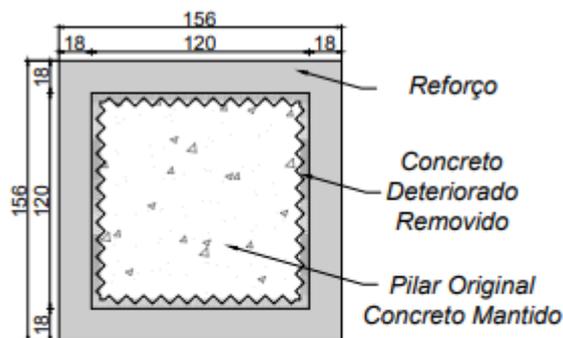
3.3.1. Procedimentos da implantação do reforço do pilar

Segundo entrevista realizada com engenheiro responsável (Apêndice A), no reforço dos pilares foi considerada a utilização do microconcreto que garante uma resistência à compressão simples de 35 MPa em 28 dias. O concreto original por sua vez apontou uma resistência característica de 40 MPa com 50 mm de concreto deteriorado, com base nos ensaios de corpos de prova extraídos da estrutura.

Tendo em vista a importância da BR 386 na circulação de veículos e pedestres, a recuperação da ponte foi em caráter emergencial. Devido à urgência na liberação do tráfego, uma das premissas adotadas em projeto foi a desconsideração do desempenho do pilar existente e as cargas foram direcionadas somente para o reforço. Isto foi possível pela disponibilidade de espaço para o aumento da seção do pilar.

Neste cenário, o procedimento inicial para recuperação do pilar foi a remoção superficial do concreto que estava deteriorado, porém não houve exposição das armaduras do pilar original, não havendo necessidade para o mesmo, já que as armaduras do reforço foram dimensionadas para suportar as cargas totais da estrutura, não havendo necessidade de verificação da degradação relacionada a tais armaduras.

Figura 4 - Seção Transversal Antiga e Nova - Pilar Reforçado



Pilar	Área Seção Transversal	Acréscimo [%]
Original	14400 cm ²	69%
Reforço	24336 cm ²	

Fonte: Autoria Própria Software AutoCAD

A seção transversal agregada à estrutura como reforço possui um acréscimo de 69% em relação seção original como pode ser observado na Figura 4. Desconsiderando o concreto superficial deteriorado que foi removido devido calcinação do mesmo. Após isso foi realizada a adição das armaduras do reforço, com aço CA-50 e cobertura de 3 cm. Na Tabela 1 mostra a descrição, bitola, quantidade e comprimento das armaduras utilizadas.

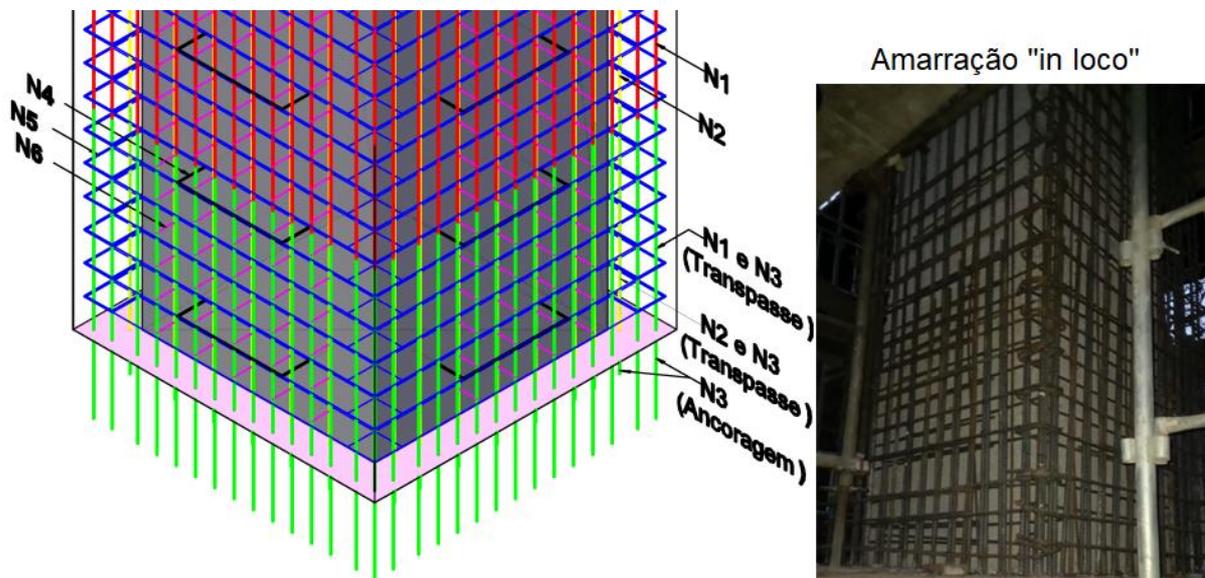
Tabela 1 – Características das armaduras do pilar

N°	Tipo Armadura	Bitola Ø	Quant.	Comp.	Quant. Total
N1	Armadura Longitudinal Embutida na Travessa	20 mm	56 uni	10,35 m	580 m
N2	Armadura Longitudinal Embutida na Travessa	12,5 mm	26 uni	10,35 m	269 m
N3	Armadura Longitudinal Emenda com transpasse de 1 metro Armadura de arranque embutida na Fundação	20 mm	56 uni	1,40 m	78,4 m
		12,5 mm	26 uni	1,20 m	31,2 m
N4	Armadura Transversal Estribo Suplementar – Amarração N5/Pilar	12,5 mm	60 uni	1,00 m	60 m
N5	Armadura Transversal Estribo principal de amarração 4 cantos do pilar	12,5 mm	496 uni	2,30 m	1141 m
N6	Armadura Transversal Estribo Suplementar– Amarração N1/N3	6,3 mm	1224 uni	0,30 m	367 m

Fonte: Autoria Própria (2021)

Na Figura 5, observa-se a disposição de tais armaduras nos sentidos longitudinal e transversal, referindo à projeção 3D feita no software AutoCAD e disposição “in loco” da amarração das armaduras.

Figura 5 – Croqui da amarração das armaduras do pilar



Fonte: Autoria Própria Software AutoCAD/ Diário de obras da execução (2021)

Detalhamento armadura longitudinal

A NBR 6118 (2014) define que “As armaduras longitudinais devem ser dispostas na seção transversal, de forma a garantir a resistência adequada do elemento estrutural. Em seções poligonais, deve existir pelo menos uma barra em cada vértice”.

Ainda segundo a NBR 6118 (2014) “O diâmetro das barras longitudinais não pode ser inferior a 10 mm nem superior a 1/8 da menor dimensão transversal.”

Tabela 3 - Menor Seção Transversal

180 mm
$180 * (1/8) = 22,5 \text{ mm}$

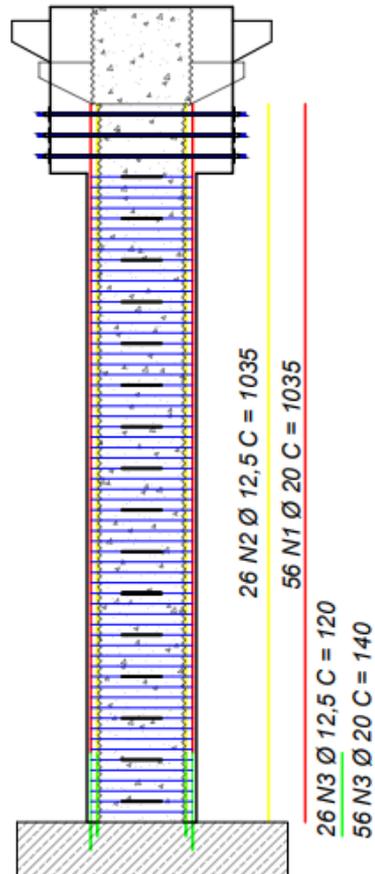
Fonte: Autoria Própria (2021)

O menor diâmetro de barra utilizado é de 12,5 mm para armadura longitudinal N2 e suas emendas, em contrapartida o maior diâmetro utilizado é de 20 mm para armadura longitudinal N1 e suas emendas, pela Tabela 3, conclui-se que as bitolas estão dentro dos limites estabelecidos por norma.

Na Figura 6, a armadura N1, detalhada na Figura 6, possui bitola de 20 mm, onde se inicia na base do pilar e é engastada um metro na travessa reforçada, o que vale também para armadura N2 que diferente da armadura N1 possui uma bitola de 12,5 mm. Ambas as armaduras são longitudinais com espaçamentos variados.

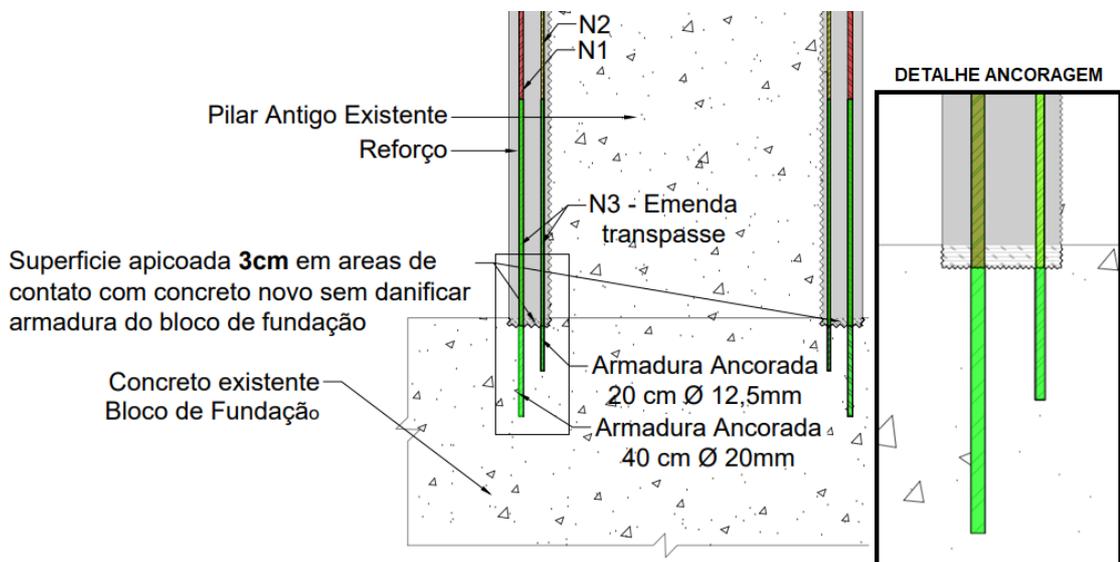
A armadura N3, detalhada na Figura 6, é uma armadura de arranque embutida no bloco de fundação sendo uma emenda com transpasse de um metro nas armaduras N1 e N2.

Figura 6 – Croqui Detalhamento armaduras longitudinais



Fonte: Autoria Própria Software AutoCAD (2021)

Figura 7 – Croqui Ancoragem armadura de emenda N3



Fonte: Autoria Própria Software AutoCAD (2021)

A Figura 7 demonstra o croqui de detalhamento da ancoragem da armadura N3 com suas extensões de ancoragem de acordo com a bitola, considerando sua disposição na seção do pilar reabilitado. A ancoragem foi realizada com Chumbador Químico de injeção com epóxi de alto desempenho.

3.3.1.1. Detalhamento armadura transversal

A NBR 6118 (2014) aponta que “A armadura transversal de pilares, constituída por estribos e, quando for o caso, por grampos suplementares, deve ser colocada em toda a altura do pilar.” Sendo o caso do pilar em estudo, com a armadura principal em toda sua extensão possuindo espaçamento de 15 cm.

Ainda segundo a NBR 6118 (2014) “O diâmetro dos estribos em pilares não pode ser inferior a 5 mm nem a 1/4 do diâmetro da barra isolada ou do diâmetro equivalente do feixe que constitui a armadura longitudinal.”

Tabela 4 – Maior Bitola de Armadura Longitudinal

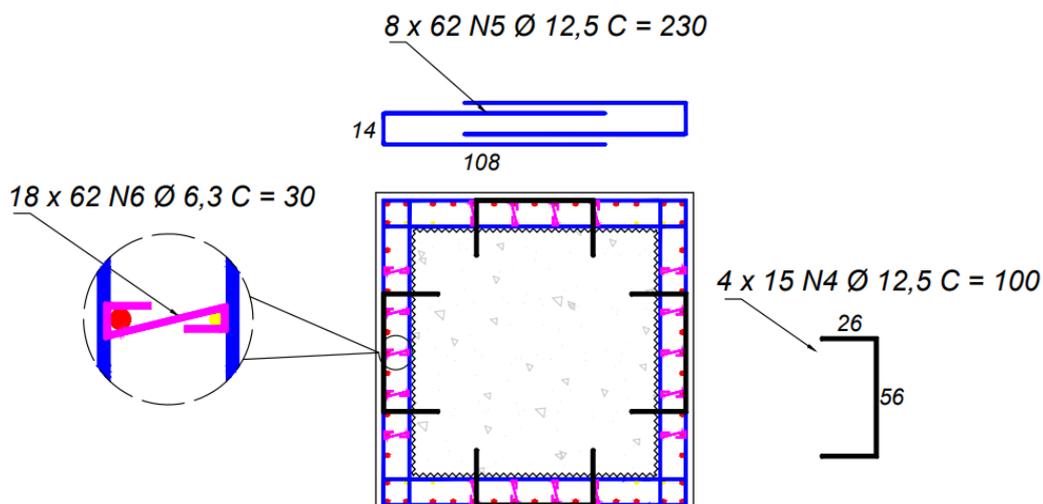
20 mm
$20 * (1/4) = 5 \text{ mm}$

Fonte: Aatoria Própria (2021)

O menor diâmetro de barra utilizado é de 6,3 mm para armaduras suplementares, pela Tabela 4, conclui-se que as bitolas estão correspondentes aos limites estabelecidos por norma.

Na Figura 8, tem-se o croqui de execução da seção do pilar reforçado com o detalhamento das armaduras transversais.

Figura 8 – Croqui detalhamento armaduras transversais



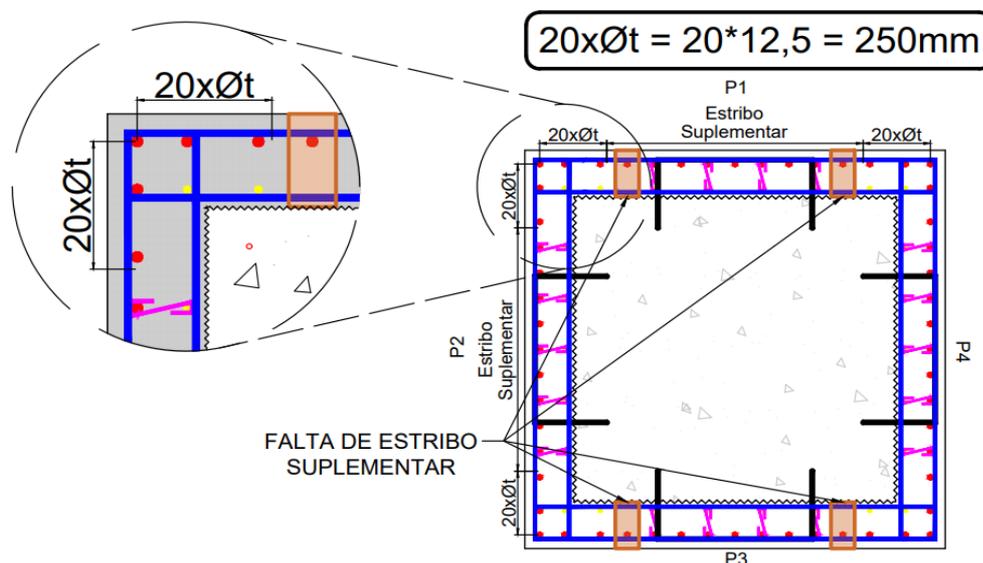
Fonte: Aatoria Própria Software AutoCAD (2021)

A armadura N4, detalhada na Figura 8, é uma armadura transversal, que se estende a cada 60 cm da extensão do pilar, amarrada aos estribos principais e engastada no pilar original com uma bitola de 12,5 mm.

Já a armadura N5, detalhada na Figura 8, são os estribos principais que se estendem a cada 15 cm da extensão do pilar, possuindo dois de cada com transpasse de aproximadamente 70 cm em cada parede do pilar, se sobrepondo nos quatro cantos do pilar reforçado, garantindo a amarração de tais armaduras.

A armadura N6, detalhada na Figura 8, são os estribos suplementares, que se distribuem junto aos estribos principais N5, fazendo amarração das armaduras longitudinais N1 com N2. Segundo a NBR 6118 (2014), item 18.2.4, diz que “sempre que houver possibilidade de flambagem das barras da armadura, situadas junto à superfície do elemento estrutural, devem ser tomadas precauções para evitá-la.” O mesmo item da norma ainda complementa que os estribos poligonais garantem contra a flambagem as barras longitudinais em seus cantos e as por eles abrangidas, situadas no máximo à distância de $20 \cdot \varnothing t$ (20 vezes o diâmetro da armadura transversal) do canto, considerando ainda se no trecho de comprimento $20 \cdot \varnothing t$ não houver mais de duas barras, não contando a de canto, ou seja, caso o pilar possua barras além de tal comprimento, ou ainda mais de duas barras nesta distância, será necessário prever estribos suplementares que assegurarão o travamento das barras adicionais. A distancia $20 \cdot \varnothing t$ referente ao canto é mostrada no detalhamento da Figura 8, correspondendo a 250 mm de comprimento.

Figura 8– Croqui detalhamento referente aos estribos suplementares



A Figura 8 mostra o croqui da seção transversal com a disposição das armaduras transversais e detalhamento do estribo suplementar utilizado. A distância mínima para inserir os ganchos é de 250 mm, com isso nota-se na Figura 8, que o espaçamento das paredes 1 e 3 estão dentro dos parâmetros da norma, porém as paredes 2 e 4 estão fora de tal conformidade.

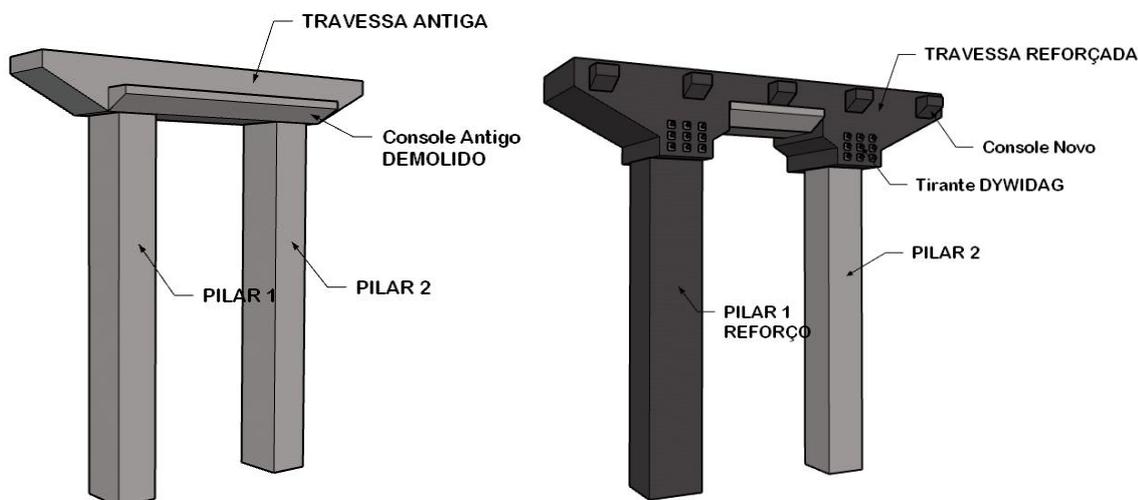
Apesar da falta de estribos suplementares em quatro posições, há garantias que o pilar não sofrerá flambagem, por que o reforço foi dimensionado para receber as cargas totais e desconsiderar o pilar original, porém o mesmo não deixara de exercer desempenho, considerando também a amarração das armaduras transversais N4 engastadas no pilar original em todos os lados auxiliando neste desempenho, levando em conta ainda a resistência agregada do microconcreto utilizado em tal reforço.

Após inserção das armaduras, a concretagem do pilar foi executada em quatro etapas, que pode ser visto na Figura 2 (Anexo A). A altura das formas foi de 2,34m realocadas por etapa para evitar segregação do microconcreto.

Geometria da estrutura

A estrutura original e a estrutura reforçada possuem geometrias diferentes como demonstra a Figura 9 que faz um comparativo em 3D da estrutura no software Sketchup.

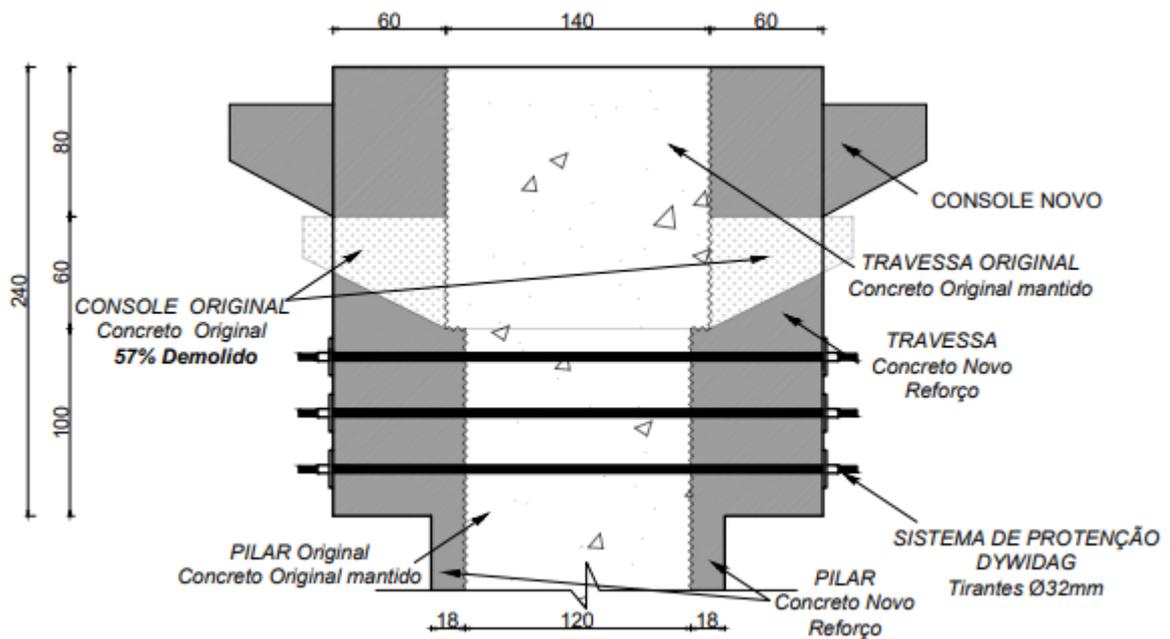
Figura 2 – Geometria em 3D de antes e depois do reforço



Fonte: Autoria Própria Software Sketchup (2021)

Adicionalmente a Figura 10 demonstra tal comparativo geométrico com as dimensões equivalentes com o croqui em corte da travessa no software AutoCAD.

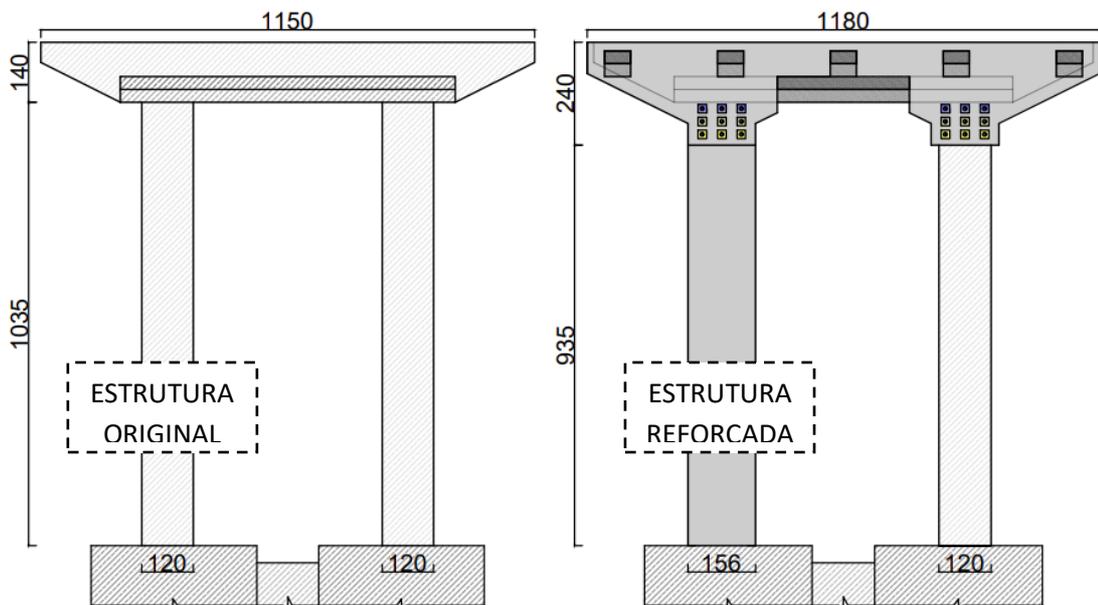
Figura 10 - Croqui da geometria em corte da estrutura original com a reabilitada.



Fonte: Autoria Própria Software AutoCAD (2021)

Já na Figura 11 mostra as dimensões em outro sentido, adicionando os pilares, com a estrutura numa visão frontal em comparativo à antes e depois da reabilitação da mesma, onde também nota-se a diferença de altura dos pilares.

Figura 11 – Croqui da geometria frontal da estrutura de antes e depois do reforço



Fonte: Autoria Própria Software AutoCAD (2021)

3.3.2. Demais elementos reabilitados

Além do pilar, outros elementos foram recuperados devido à extensão do dano causado pelo acidente. Houve intervenção na travessa recuperação no tabuleiro, além da substituição dos dez aparelhos de apoio sobre a travessa, que também foram realocados para posição reforçada da mesma como mostra a Figura 3 (Anexo A). O impacto do caminhão danificou partes do guarda rodas, guarda-corpos e laje do passeio.

Para recuperação do tabuleiro foi utilizado concreto projetado com uma espessura de 12 cm de cobrimento garantindo a proteção das armaduras nas áreas afetadas pelo incêndio, onde todo concreto superficial deteriorado foi substituído.

Para travessa, foi utilizado concreto convencional mais aditivos super plastificantes e acelerador, resistência inicial após 24h acima de 30 MPa (Slump-test > 22), resistência à compressão simples em 28 dias de 35 MPa.

Os consoles que antes eram por toda extensão da travessa foram substituídos, desabilitando o console original que foi 57% demolido como mostra a Figura 2, sendo agora pontuais nas posições das 5 longarinas em ambos os lados da travessa para abrigar os cilindros hidráulicos com capacidade de carga de 100 t, destinados à elevação do tabuleiro para substituição dos aparelhos de apoio.

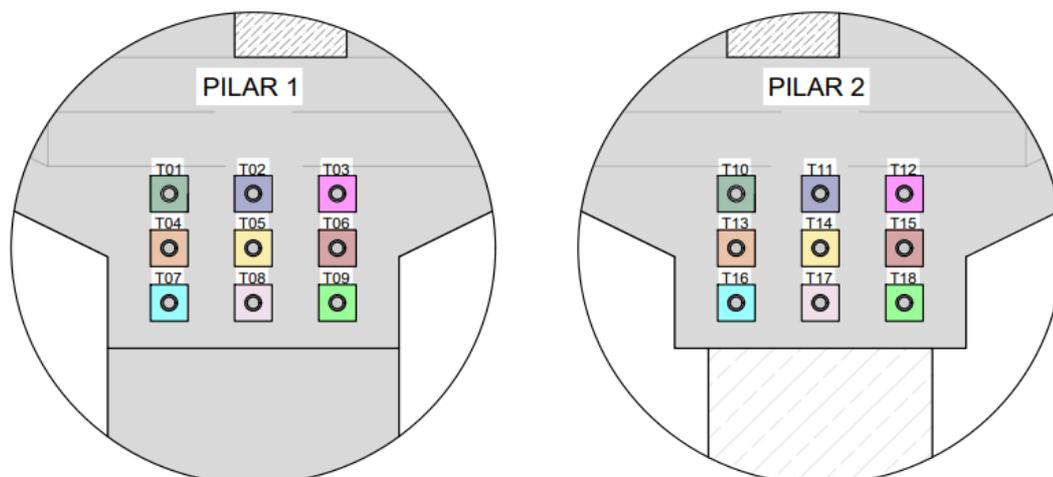
Para ancoragem do reforço da travessa, foram utilizados 18 tirantes num sistema de protensão ST 85/105 da marca DYWIDAG, barra com bitola de 32 mm, com 61 t de carga de protensão. Na Figura 4 (Anexo A) mostra a preparação para protensão de um dos tirantes no dia de execução após concretagem e cura do concreto. A seqüência de protensão dos tirantes é feita de forma simultânea em pares e tal ordem está disposta na Tabela 2. A Figura 12 demonstra o croqui da posição dos tirantes nos pilares e seus pares.

Tabela 5 - Seqüência de protensão

ETAPA	PILAR 1	PILAR 2
1	T05	T14
2	T04	T13
3	T06	T15
4	T02	T11
5	T01	T10
6	T03	T12
7	T08	T17
8	T07	T16
9	T09	T18

Fonte: Autoria Própria (2021)

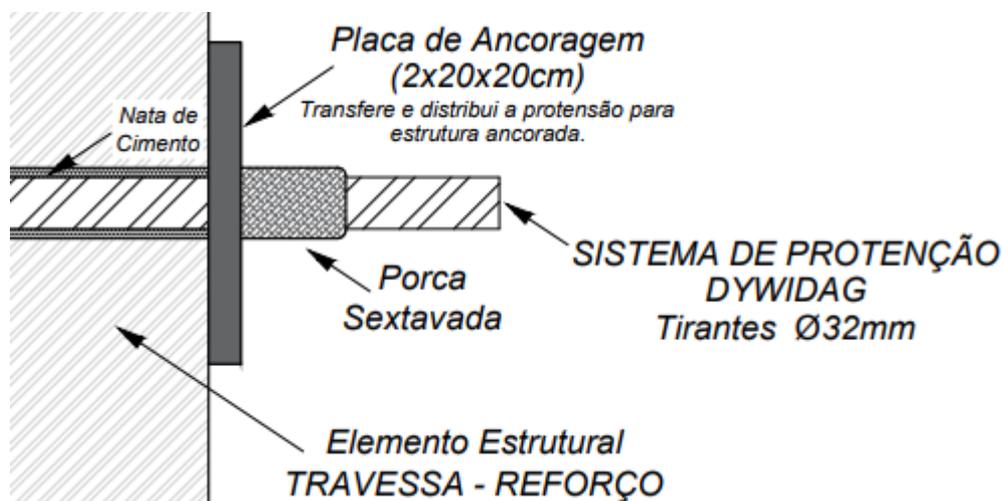
Figura 12 – Croqui da disposição dos tirantes e seus respectivos pares



Fonte: Autoria Própria Software AutoCAD (2021)

Na Figura 13 observa-se o croqui do detalhamento dos Tirantes DYWIDAG utilizados para a ancoragem do reforço da travessa e distribuição de carga, demonstrando assim os elementos compostos na protensão de tais tirantes.

Figuras 13 – Croqui do detalhamento Tirantes DYWIDAG



Fonte: Autoria Própria Software AutoCAD (2021)

3.4 Comparativo peso próprio da estrutura

A estrutura antes do reforço tem um grande diferencial volumétrico comparado à estrutura recuperada e tal diferença é de 55,6% de acréscimo de carga como pode ser observado na Tabela 6. Os cálculos são referente ao volume da estrutura vezes o peso específico aparente do concreto armado, que segundo NBR 6120:2019, item 5.3, é de 25 kN/m². É importante ressaltar que o comparativo de carga envolve apenas à travessa, console e pilares que foram reabilitados.

Tabela 6 – Comparativo peso próprio dos elementos

Peso próprio dos elementos Travessa + Console + Pilares		Acréscimo [%]
Original	138,2 t	55,6%
Reabilitada	215,1 t	

Fonte: Autoria Própria (2021)

O pilar reforçado possui um acréscimo de carga de 52,7% em relação ao pilar original, enquanto o pilar 2 mesmo não havendo alteração na sua seção possui um decréscimo de carga de peso próprio de 9,7%, como demonstrado na Tabela 7, isso por que um metro de sua extensão foi agregado à travessa, levando a carga ser agregada ao peso próprio da travessa reforçada.

Tabela 7 – Comparativo peso próprio dos elementos da estrutura

Peso próprio			
Elemento	Original [t]	Reabilitado [t]	Acréscimo [%] /Decréscimo [%]
Pilar 1 (Reforçado)	37,3	56,9	52,7%
Pilar 2	37,3	33,7	-9,7%
Travessa + Console	63,7	124,5	95,6%
Travessa+Console+Pilares	138,2	215,1	55,6%

Fonte: Autoria Própria (2021)

O comparativo também abrange a carga relacionada ao peso próprio que chega aos pilares comparando a estrutura original à recuperada possuindo um acréscimo de 95,6% de carga como mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 – Comparativo peso próprio que chega ao topo dos pilares.

Peso próprio chegando por PILAR		Acréscimo [%]
P1 e P2 - Original	32 t	95,6%
P1 e P2 - Reforço	62 t	

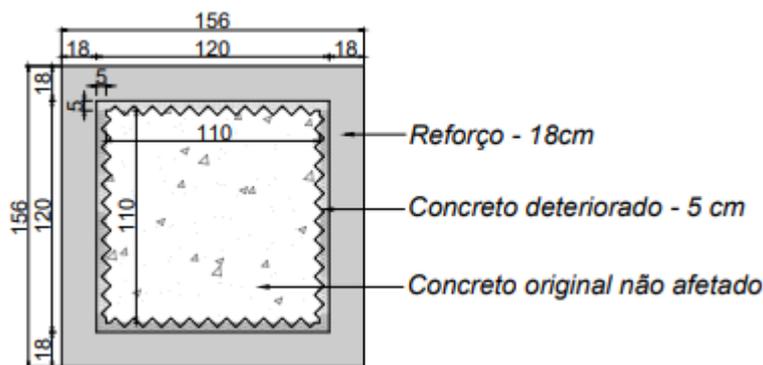
Fonte: Autoria Própria (2021)

3.5 Comparativo de resistência à compressão dos pilares.

O comparativo referente à resistência a compressão dos pilares foi realizado em relação à resistência característica do concreto em kgf/cm² vezes a seção transversal dos pilares em cm².

Outra consideração é a retirada do concreto deteriorado superficial onde se manteve apenas o concreto original que não foi afetado, isso faz o reforço agregar além dos 18 cm, como é mostrado na Figura 14. Tal consideração reduz a seção do pilar original e agrega ao reforço, sendo o concreto original com resistência a compressão simples de 40 MPa e concreto novo com resistência de 35 MPa, isso significa que o concreto resiste a respectivamente 400 e 350 quilos de carga por cm².

Figuras 14 – Croqui do detalhamento da seção transversal do Pilar 1.



Fonte: Autoria Própria Software AutoCAD (2021)

Os valores mostrados na Tabela 9 são relacionados à seção transversal referente ao reforço, seção original e seção final do pilar 1, além da seção do pilar 2 que não foi alterado. As cargas que resistem pela seção se devem pela resistência característica do concreto, como já citado. Com o concreto comprometido retirado é considerado a resistência à compressão do concreto mantido e do concreto novo. O pilar 1 original foi desconsiderado nos cálculos estruturais para recuperação do mesmo, porém seu desempenho se mantém principalmente em relação a resistência à compressão, pois sua seção não foi demolida apenas ajustada, então para chegar ao resultado da junção de tais materiais para o reforço do pilar 1 é considerado a soma de resistência individual por material, e posterior consideração do coeficiente de ponderação da resistência do concreto (γ_c), que segundo NBR 6118:2014, item 12.4.1 é de 1,4 para concreto normal, ou seja, dividi-se a carga máxima que os pilares suportam em relação à resistência a compressão pelo coeficiente de segurança de 1,4. Com isso se chega aos resultados mostrados na Tabela 9.

Tabela 9 – Comparativo de resistência à compressão dos pilares

	P1 REFORÇO (Fck = 35 MPa)	P1 ORIGINAL MANTIDO (Fck = 40 MPa)	P1 REFORÇO + ORIGINAL MANTIDO	P2 (Fck = 40 MPa)
Seção	12236 cm ²	12100 cm ²	24336 cm ²	14400 cm ²
Carga Máxima	3059 t	3457 t	6516 t	4114 t

Fonte: Autoria Própria (2021)

Com tais resultados tem-se o acréscimo de resistência a compressão em relação ao pilar reabilitado, que resulta em 58% a mais que os pilares 1 e 2 originais sendo resultado do comparativo de carga dos mesmos e porcentagem acrescida de resistência por conta do reforço, que por sua vez relaciona a resistência do concreto original mantido e concreto agregado ao pilar.

4. RESULTADOS ESPERADOS

Com base na metodologia proposta para satisfazer os objetivos específicos deste trabalho, e conseqüentemente o objetivo geral, espera-se entendimento sobre a inserção do reforço empregado no pilar reabilitado e conferência por norma dos parâmetros quanto ao detalhamento das armaduras utilizadas além de chegar aos resultados comparativos de carga e resistência dos pilares. A partir dos estudos que serão realizados através deste trabalho, poderão visualizar de forma descritiva os fatores que levaram a inserção de tal reforço, mas, além disso, também fazendo um comparativo de carga extra aplicada à estrutura e carga suportada pelos pilares considerando sua seção transversal e resistência característica à compressão em relação a antes e depois da reabilitação. Os resultados serão publicados em revista acadêmica visando a divulgação dos dados para acesso público, auxiliando engenheiros recém formados ou sem experiência no assunto.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados mostraram que a carga agregada à estrutura teve um acréscimo de 95,6% em relação à carga de peso próprio da travessa e consoles que chegava ao topo dos pilares originalmente. Contudo a inserção do reforço por encamisamento com aumento da seção no pilar 1 reabilitado resulta em um aumento de 58% de resistência à compressão do mesmo, ou seja, mesmo com um acréscimo de carga em relação ao peso próprio dos elementos ha um acréscimo de resistência considerando a resistência do concreto do pilar original que foi mantido e resistência do concreto do reforço agregado ao mesmo.

O pilar 2 se manteve com a mesma resistência à compressão original em relação a sua seção por não ter isso modificado neste sentido, porém a carga extra em relação ao peso próprio da travessa e console não põe em risco o desempenho do mesmo, isto se deve pelo resultado comparativo de resistência a compressão do “P1 reforço” e “P2” mostrados na Tabela 9, ou seja, considera-se o fato de que o pilar 1 original teve seu desempenho desconsiderado nos cálculos estruturais e o reforço foi dimensionado para receber as cargas totais que chegam ao topo do pilar como uma geometria oca, possuindo assim uma resistência a compressão de 3059 t enquanto o pilar 2 por sua vez possui uma resistência de 4114 t, que confirma um

desempenho satisfatório, sendo que o pilar 2 resiste 34,5% a mais que o reforço agregado ao pilar 1, que foi dimensionado a receber as mesmas cargas. Tal porcentagem se deve pela diferença das cargas relacionadas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As armaduras do reforço estão dentro dos parâmetros exigidos por norma e foram dimensionados para receber as cargas totais, possuindo viabilidade e segurança do desempenho do reforço do pilar 1. Contudo sem ter a carga total que chega a estrutura os cálculos analisados se devem a resistência característica do concreto e peso próprio acrescido dos elementos que foram reabilitados, ou seja, há muitos outros fatores que não foram considerados nos parâmetros mostrados relacionados às cargas atuantes totais sobre os pilares em estudo, porém os resultados basicamente demonstram a lógica comparativa de desempenho sobre a resistência à compressão dos pilares avaliados.

Conclui-se por fim que tais resultados mostram desempenho satisfatório dos pilares no sentido comparativo, assumindo que o reforço suporta as cargas adicionais, pois foi dimensionado para substituir desempenho do pilar original e por lógica as cargas acrescidas em relação ao peso próprio dos elementos modificados na recuperação da estrutura. Sendo assim os comparativos são a favor do desempenho satisfatório para o pilar 2 como demonstrado além do acréscimo de resistência para o pilar 1, suportando assim o a carga agregada pelo peso próprio dos elementos modificados.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

ARGENTON, M. B. **Efeito das variações do teor de umidade e condições de aquecimento no comportamento de concretos de alta compacidade**. Monografia (Graduação). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CAVALCANTE, Gustavo. **Pontes em Concreto Armado: Análise e dimensionamento**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2019.

CORREIO DO POVO, Caminhão **tanque explode sobre ponte na BR 386, em Estrela**. Correio do Povo, Porto Alegre, 13 de março de 2021. Disponível em: <<https://www.correiodopovo.com.br/not%C3%ADcias/geral/caminh%C3%A3o-tanque-explode-sobre-ponte-na-br-386-em-estrela-1.585831>>. Acesso em: 13/04/21

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. **Estruturas de concreto armado em situação de incêndio**. XXX Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural: Brasília, 2002.

SOTO, Rafael Cavalcante; **Reforço e Recuperação de Vigas de Concreto Armado** – Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás; Goiânia, 2013.

TRINDADE, D. S. **Patologia em estruturas de concreto armado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

ZUCCHI, Fernando Luiz. **Técnicas para o Reforço de Elementos Estruturais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal De Santa Maria Centro de Tecnologia; Rio Grande do Sul, 2015.

ANEXO A - Levantamento Fotográfico da Implantação do Reforço (Diário de Obras)

Figura 1– Degradação da estrutura



Fonte: Diário de obras da execução (2021)

Figura2 – Pilar concretado “in loco”



Fonte: Diário de obras da execução (2021)

Figuras 3– Substituição aparelhos de Apoio



Fonte: Diário de obras da execução (2021)

Figuras 4–Tirantes DYWIDAG “in loco”



Fonte: Diário de obras da execução (2021)

APÊNDICE A – Transcrição da entrevista

Entrevistado (a): Engenheiro Responsável pela execução da obra de reforço estrutural do caso em estudo.

Data: 12 de Abril de 2020

Entrevista qualitativa a fim de analisar a execução da reabilitação estrutural do pilar referente à obra de arte especial sobre arroio Boa Vista, pista sul, na BR 386/RS, km 350+050m.

1. Formação Técnica

- Engenheiro Civil/PUC/RS, com mais de 35 anos de experiência na área.

2. Setor de Atuação da Empresa no qual trabalha

- Recuperação e Reforço Estrutural / Execução em Obra de Arte Especiais.

3. Qual principal motivo para estrutura precisar de reforço nos pilares?

- Perda de propriedades do concreto com a explosão, tendo como uma das principais evidências a calcinação na estrutura na área atingida da ponte.

4. Como foi estabelecida a extensão da patologia, e assim a escolha dos materiais para realizar o reforço?

- A ponte foi avaliada através de vistorias posteriores ao acidente. As avaliações foram feitas por meio de inspeções visuais, ensaios de corpos de prova extraídos da estrutura e testes de carga da ponte, realizados na pista sentido Sul.

5. Qual parâmetro relacionado ao método de recuperação do pilar?

- Sendo como solução para recuperação do pilar o encamisamento do mesmo com aumento da seção transversal e adição de armaduras, ressaltando que a seção reforçada e armaduras impostas substituíram a função estrutural do pilar original, isto por que tal reparo era dado como emergencial e havia espaço para aumento considerável da seção

possibilitando uma recuperação segura com poucos dados da degradação da estrutura.

- O procedimento para remoção superficial do concreto do pilar afetado levou em conta a remoção do concreto deteriorado superficial, porém não houve exposição das armaduras, sendo que não houve necessidade já que as armaduras do reforço foram dimensionadas para receber as cargas totais da estrutura

6. Que tipo de Concreto foi utilizado na recuperação dos elementos?

- No Pilar reabilitado foi utilizado microconcreto com resistência a compressão simples de 35 MPa em 28 dias.
- O concreto do pilar apontou uma resistência característica de 40 MPa com 50 mm de concreto deteriorado, com base nos ensaios de corpos de prova extraídos da estrutura.
- Para travessa, foi utilizado concreto convencional mais aditivos super plastificantes e acelerador, resistência inicial após 24h acima de 30 MPa (Slump-test > 22), com resistência a compressão simples em 28 dias de 35 MPa.