



XIV Congresso Brasileiro
de Pontes e Estruturas

Análise Estrutural e de Reabilitação do Viaduto do Eixo Rodoviário Sul Localizado em Brasília.

Marcio Buzar¹, Stefano Galimi², João Pantoja³, Paulo Robert Machado⁴, Glaucyo Santos⁵
¹²³⁴⁵ Universidade de Brasília / Programa de Pós Graduação / Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

¹ marcio.buzar@gmail.com

² stefanogalimi.arch@gmail.com

³ joapantoja@unb.br

⁴ probertsm@gmail.com

⁵ glaucyo.santos@gmail.com

Resumo

O presente trabalho aborda o caso do desabamento de parte do Viaduto sobre a Galeria dos Estados, localizado no Eixo Rodoviário Sul - DF 002, construído no final da década de 50, sendo uma das principais artérias viárias do Plano Piloto de Brasília. Analisam-se as patologias e os mecanismos oriundos que levaram ao colapso estrutural parcial do antigo pilar e do tabuleiro protendido.

A estrutura original do viaduto, é composta por 8 tabuleiros de lajes alveolares protendidas de 20m de comprimento, 7 pilares em concreto Armado e 2 cortinas de contenção nas extremidades. O viaduto foi afetado por patologias que, sem a devida manutenção periódica e/o extraordinária, levaram ao colapso estrutural.

Avalia-se o projeto de recuperação dos principais elementos estruturais como pilares, vigas e lajes alveolares. Mostra-se a revitalização com o engrossamento do núcleo central dos pilares e enrijecimento global da estrutura.

Na requalificação do viaduto foram considerados aspectos de preservação e linguagem arquitetônica do Patrimônio Cultural, levando-se em consideração os aspectos de desempenho, segurança estrutural e vida útil. Mostram-se detalhes do sistema construtivo empregados na recuperação estrutural.

Foi considerado no Retrofit aspectos de paisagismo e melhoria da acessibilidade, bem como a sua durabilidade obedecendo às normas de segurança vigentes no País.

Palavras-chave

Viaduto Eixo Rodoviário Sul, Brasília; Retrofit; Patrimônio Cultural; Segurança e Desempenho Estrutural;

Introdução

O Viaduto do Eixo Rodoviário Sul - (DF-002), figura 01, faz parte da infraestrutura viária da área central de Brasília, proporcionando o acesso direto à Rodoviária do Plano Piloto para todos os usuários que transitam as Asas Norte e Sul, setores bancários, comerciais, hospitalares e de autarquias. O Viaduto está centralizado no coração comercial do Plano Piloto.

A infraestrutura urbana, composta por seis faixas de trânsito e uma faixa presidencial central, totalizando 28 metros de largura e aproximadamente 200 metros de extensão, foi concebida e construída entre dezembro de 1959 e fevereiro de 1960, pelo Arquiteto e Urbanista Lúcio Costa e o Engenheiro Bruno Contarini, conhecido calculista de Oscar Niemeyer.

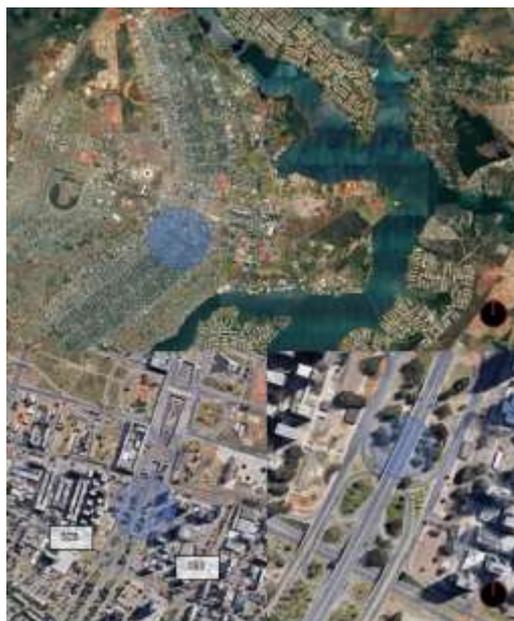


Figura 01 - Viaduto do Eixo Rodoviário Sul - (DF-002) Brasília-DF

O Viaduto sobre a Galeria dos Estados consta de uma estrutura composta por 8 lajes alveolares, protendidas independentemente, apoiadas em 7 pilares de concreto protendido e 2 cortinas de contenção nas extremidades, sendo uma das obras pioneiras a utilizar esse tipo de tecnologia em Brasília. Os apoios das lajes, de tipo GERBER, tornam a estrutura isostática (Relatório Técnico NOVACAP, 2018).

Para entendermos a importância dessa infraestrutura da Capital, na nota 7, referente ao Relatório do Lúcio Costa sobre Brasília, emerge a priorização desse eixo viário:

“Desse modo e com a introdução de três trevos completos em cada ramo do eixo rodoviário e outras tantas passagens de nível inferior, o tráfego de automóveis e ônibus se processa tanto na parte central quanto nos setores residenciais sem qualquer cruzamento. Para o tráfego de caminhões estabeleceu-se um sistema secundário autônomo com cruzamentos sinalizados, mas sem cruzamento ou interferência alguma com o sistema anterior, salvo acima do setor esportivo e que acede aos edifícios do setor comercial ao nível do subsolo, contornando o centro cívico em cota inferior, com galerias de acesso previstas no terrapleno”.

(COSTA, 1991 apud IPHAN, 2014)

O Viaduto sobre a Galeria dos Estados foi concebido com um sistema estrutural formado por 8 lajes alveolares protendidas, apoiadas em vigas transversais em formato de asa (Figura 02). Após o desabamento estrutural parcial de um trecho de laje apoiado entre o P6 e o P7, foi executada a

demolição total da L7 e reconstituída com vigas longarinas protendidas, mantendo o partido arquitetônico original da infraestrutura urbana, (DER, 2018).



Figura 02 - Mapeamento lajes do Viaduto Eixo Rodoviário Sul, Fonte: Adaptado de Google Earth.

Parte do viaduto colapsou no dia 6 de fevereiro de 2018, por volta das 11h45, o desabamento paralisou o fluxo de trânsito nessa porção nodal de Brasília.

O processo de degradação em uma estrutura submetida a diferentes esforços e solicitações, além das ações ambientais variáveis, é determinado por diferentes fatores como: a baixa qualidade dos materiais, problemas na fase de projeto, de execução de obra e a falta de manutenção periódica, (BILLINGTON, D. P. 1983). O viaduto foi projetado conforme norma da NBI de 1940. O trem tipo estabelecido era o TB36. Na figura 03 mostra-se a parte do viaduto que colapsou.

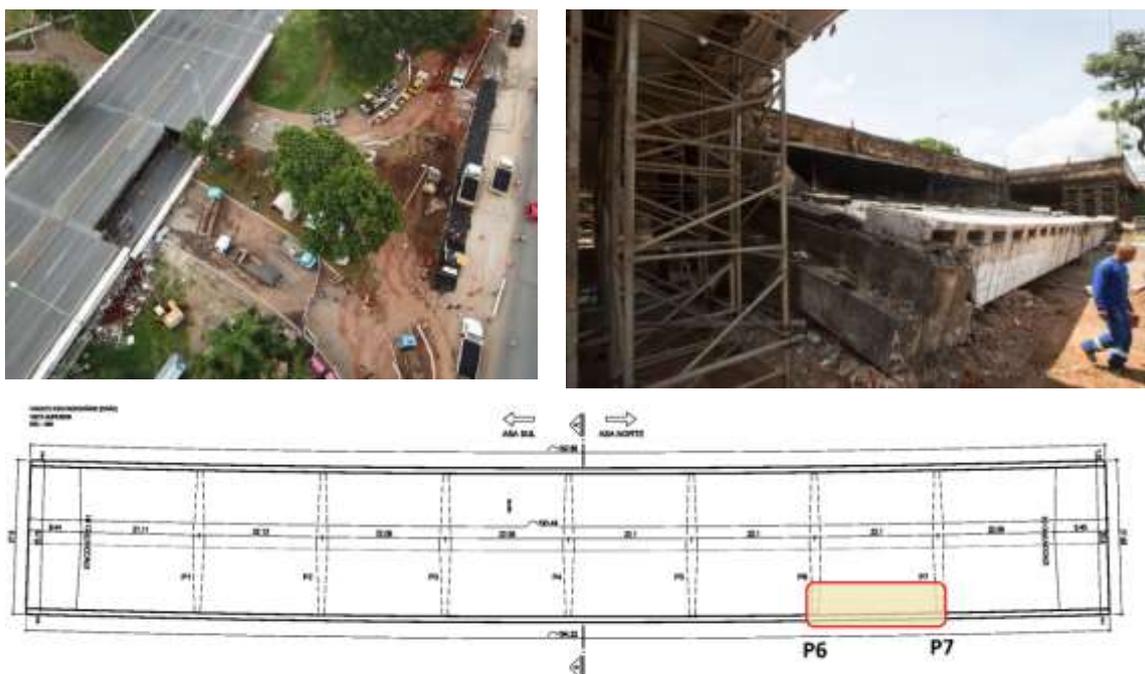


Figura 03 - Vista do elemento de laje em ruína parcial, Viaduto sobre a Galeria dos Estados.

A concepção arquitetônica e estrutural do Viaduto sobre a Galeria dos Estados foi gerada de uma forma a dificultar a manutenção de toda infraestrutura. Foram projetadas galerias de águas pluviais em caixão perdido, que recolhia as águas e encaminhava para aos pilares, propiciando a entrada de água / detritos e favorecendo a infiltração, o que combinado a um insuficiente cobrimento de armadura ocasionou a corrosão sistemática das armaduras protendidas. Levando a perda de capacidade resistente dos elementos estruturais, gerando mais patologias no concreto como fissuras e trincas (Galimi, S. 2021).

O fenômeno de infiltração da água por um longo período de tempo na ligação entre o tabuleiro e o pilar, devido às juntas de dilatação e à presença de fissuras de contração nessa região, já indicava a necessidade de intervenção no local em que ocorreu a ruptura do trecho do tabuleiro protendido do Viaduto sobre a Galeria dos Estados (figura 04).



Figura 04 - Região de ruptura das cordoalhas Protendidas. Ausência de Estribos e Armadura Passiva.

Devido à existência de infiltrações de água, ocorreu um processo de dissolução e transporte da cal hidratada presente no concreto, chamado de lixiviação. Esse produto lixiviado, ao interagir com o dióxido de carbono presente no ar, resultou na precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio na superfície, gerando eflorescência. As consequências ocorridas resultaram na redução da resistência mecânica do material e, também, permite a entrada de gases e líquidos agressivos às armaduras e ao próprio concreto.

Dessa forma, por causa da corrosão das armaduras ativas do pilar P7, o elemento estrutural não foi capaz de suportar o carregamento dinâmico dos veículos, levando-o ao estado de colapso, sobrecarregando a alça em balanço do pilar P6, que também ruiu. (Galimi, S. et al 2020).

As fissuras, localizadas nas regiões de conexão entre o tabuleiro, vigas transversais e o apoio do pilar, se manifestaram intensamente devido a uma falha de concreto estrutural e armadura passiva (vergalhões e estribos) na região de protensão dos cabos entre os alvéolos da laje do tabuleiro. Após diversas inspeções pode-se contatar também a existência de brocas e vazios no concreto.

Ações emergenciais

Para garantir a segurança da população, diversas ações foram tomadas, com celeridade, objetivando minimizar o transtorno causado com o referido evento, dentre os quais destacamos:

01. A primeira medida foi o isolamento das áreas de risco;
02. Também em uma primeira fase foi criado o Gabinete de Crise. Foram identificados e convocados profissionais qualificados nas diferentes áreas da engenharia civil para trabalhar em equipe, objetivando tarefas de avaliações estruturais, projeto de escoramento metálico, segurança do trabalho e serviços técnicos especializados em construção civil, infraestrutura e viária.
03. O escoramento da estrutura colapsada (figura 05) foi priorizado para garantir a segurança dos pedestres na região da passarela que conecta o acesso do metrô, Estação Galeria dos Estados, ao Setor Bancário Sul. Na primeira etapa foram executados os cimbramentos como solução preventiva de novos eventuais colapsos estruturais na área do Viaduto.
04. Concomitantemente foram executadas duas alças de desvio, com três faixas cada, para permitir o fluxo contínuo de veículos no Eixão. As alças de desvio oferecem solução, também, para liberar a região dos viadutos para a montagem do canteiro de obras, durante a execução da obra. Cabe ressaltar que a construção, assim como, a sinalização vertical e horizontal das duas alças, foi executada por equipe própria da NOVACAP e do DER (figura 05);



Figura 05 - Cimbramento do viaduto e construção de alças para desvio de trânsito.

05. Como medida adicional de segurança, foi instalado um sistema de monitoramento permanente na laje da passarela e nos pilares que mensura os deslocamentos e vibrações da estrutura. Este monitoramento serve para avaliar o comportamento estrutural e confrontar com os valores permitidos pela NBR 6118;
06. Foi realizado um levantamento “in loco”, por meio de inspeção visual, de todas as patologias existentes no viaduto, que resultou no cadastramento constante no Laudo de Vistoria Técnica;
07. Foram recolhidos testemunhos de corpos de prova do concreto, do aço e da cordoalha protendida para realizar ensaios de caracterização e resistência dos materiais e metalografia.
08. Após a extração dos testemunhos de corpos de prova foi realizada a demolição das vigas de concreto rompidas, bem como a retirada do entulho que foi encaminhado para reciclagem adequada.

Procedimento para a elaboração de Projetos

Em razão da urgência quanto às manutenções de Obras de Arte Especiais – OAE’s, bem como em trazer agilidade na solução de problemas advindos da deterioração, em face do tempo e das intempéries da natureza, em observância ao interesse público, foi criado o Grupo de Trabalho, através da Portaria Conjunta nº 01, de 11 de junho de 2018, visando disponibilizar recursos humanos, técnicos, materiais, bem como instalações físicas, para atendimento às demandas comuns entre a Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil – NOVACAP e o Departamento de Estradas de Rodagem do Distrito Federal – DER/DF. É importante destacar a participação do professor Bruno Contarini, a quem ficou encarregado do projeto básico de recuperação estrutural.

Aprovação do IPHAN

Uma vez que o Viaduto está inserido dentro da poligonal do tombamento urbano do Plano Piloto, o projeto de recuperação estrutural e reconstrução do viaduto foi submetido à análise do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional do DF, que emitiu parecer favorável no dia 24 de maio de 2018. (ICOMOS, 1972).

Diagnóstico e ensaios de caracterização dos materiais

Os ensaios de caracterização físicas e mecânicas dos materiais estruturais (concreto e aço) foram realizados no laboratório da Universidade de Brasília.

Além de extração de testemunhos de corpos de prova de concreto, foram executados ensaios de tração em barras / cordoalhas metálicas e ensaio metalográfico para detectar fragilidades na estrutura superficial das componentes de aço (RELATÓRIO TÉCNICO – Dept. ENC/UnB 001. Brasília, 2018).

Vale ressaltar que os ensaios descrevem apenas as características dos materiais, não podendo, portanto, avaliar o status estrutural da infraestrutura urbana. Os ensaios destrutivos nos testemunhos de concreto, que determinam o parâmetro de resistência à compressão do corpo de prova, foram realizados em laboratório, de acordo com as prescrições da ABNT NBR 7680:2015.

O material concreto apresentou uma resistência à compressão bastante satisfatória e os testemunhos se mostraram homogêneos e sem alterações internas. Foram extraídos 4 corpos de prova e foram submetidos ao ensaio com uma prensa Forney que produz 100ton de pressão. A amostra 001, referente ao Pilar P7, face Sul, resultou em um f_{ck} de 43,8 Mpa (Figura 06).



Figura 06- Corpo de prova 001, P7, face Sul. Fonte: Dept. ENC/UnB 001 (2018).

Na tabela 01 mostram-se os resultados dos ensaios ruptura de testemunho junto ao pilar P7.

Tabela 01 - Resultados de resistência à compressão dos testemunhos extraídos da estrutura do viaduto. Fonte: RELATÓRIO TÉCNICO Dept. ENC/UnB 001 (2018)

Amostra	Local da Extração	Tempo de Estocagem	Altura (mm)	Diâm. (mm)	Relação h/D	Massa (g)	$f_{cl,ext,Inicial}$ (MPa)	$f_{cl,ext}$ (MPa)
001	Pilar P07	72h	140,53	67,38	2,08	1.137,30	39,50	43,80
002	Pilar P07	72h	140,32	67,36	2,08	1.146,10	39,00	43,30
003	Pilar P06	> 72h	139,78	67,33	2,08	1.136,50	25,10	27,90
004	Pilar P06	> 72h	139,61	67,28	2,08	1.145,90	30,40	33,70

O concreto extraído dos pilares P6 e P7, apresentou uma resistência superior à estimada na fase de execução da obra, com uma media igual a 30,80 MPa e 43,55 MPa.

Ensaio nas Armaduras Passiva e Protendida.

Os ensaios de caracterização de resistência à tração das barras e fios de aço e das armaduras passivas e ativas foram realizados de acordo com as prescrições das ABNT NBR 6349:2008, ABNT NBR 6892:2002 e ISSO 15630-1:2010. A equipe de engenheiros da UnB coletou vinte e quatro amostras.

O material aço constituinte a armadura passiva do arranjo estrutural do Viaduto apresentou um elevado nível de corrosão e foi determinada a tipologia de aço utilizado, tipo CA-32. Algumas amostras analisadas pela equipe da UnB, não conseguiram alcançar o nível mínimo de tensão ao escoamento, resultando em uma ruptura, devido à pequena área transversal da barra, em estado avançado de corrosão.

O material Aço Protendido constituinte a armadura ativa do sistema demonstrou um elevado nível de corrosão e foi determinada a tipologia de aço utilizado, tipo CP-150 RN.

Portanto, a área transversal das cordoalhas, reduzida de até 50%, encontrou-se em estado avançado de corrosão.

No que tange ao ensaio de metalografia do aço, o Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília (ENC/UnB) observou, em uma das amostras, uma severa diminuição da seção transversal, na ordem de aproximadamente 67%.

Mapeamento das patologias nos elementos estruturais

O laudo de vistoria técnica, elaborado pelo Relatório Técnico da Novacap (2018), foi executado a partir de uma inspeção visual aos elementos estruturais, nem sempre acessíveis, após o desabamento do Viaduto, Inspeccionaram-se os pilares, lajes e galerias das águas pluviais.

O procedimento metodológico adotado para execução do Laudo de Vistoria e mapeamento de patologias, realizado entre os dias 12 e 13 de fevereiro de 2018, abordou quatro principais pontos:

1. Visitas técnicas ao local para inspeção visual in loco;
2. Inspeções visuais foram realizadas nas lajes inferiores e superiores do Viaduto da Galeria dos Estados, nos pilares e nas galerias de águas pluviais, exceto os locais de acesso restrito (P3, P4, P5, P6, L3, L4 e L6);
3. Avaliação de patologias sofridas na estrutura e mapeamento de danos por meio de representações gráficas constando as regiões afetadas e a especificação das tipologias de patologia encontradas;
4. Emissão de Relatório Fotográfico e elaboração de um relatório técnico.

As principais patologias detectadas no Viaduto sobre a Galeria dos Estados estão intimamente relacionadas à deficiência no cobrimento das armaduras e à falta de manutenção periódica da estrutura, afetando o estado de conservação da infraestrutura urbana de Brasília. As principais manifestações patológicas identificadas na estrutura de concreto armado foram: 1. Corrosão e exposição das armaduras; 2. Fissuras; 3. Desplacamento do concreto; 4. Lixiviação; 5. Infiltração; 6. Eflorescência; 7. Rugosidade superficial e 8. Obstrução das galerias de águas pluviais.

A figura 07 é a parte inferior da Laje L1. As principais patologias detectadas foram armadura exposta, fissuração e falta de concretagem em vários pontos da superfície plana. A laje L1 é o elemento que se apoia entre a cortina de contenção sul e o pilar P1.



Figura 07 - Manifestações patológicas da Laje L1. De esquerda para direita, de cima para baixo: armadura exposta, broca com armadura exposta, lixiviação, fissuração, broca com armadura exposta e infiltração. Fonte: Adaptado de Laudo de vistoria técnica da NOVACAP (2018).

Reabilitação e Recuperação do Viaduto.

O projeto de Retrofit foi executado pelos órgãos: DER/DF e a NOVACAP, sob a liderança do arquiteto Francisco Junior e o Engenheiro Bruno Contarini. O Projeto visa garantir mais segurança para os usuários, aumentando a durabilidade e consequentemente a vida útil da estrutura. Sem alterar a harmonia das proporções dos pilares em formato “Asa Delta” que foi projetado e previsto pelo arquiteto Lucio Costa.

Algumas mudanças estruturais, importantes, foram realizadas na reabilitação do Viaduto. O relatório de avaliação das patologias realizado pela NOVACAP e o DER, indicava que as vigas Principais Transversais junto aos Pilares estavam todas com as suas armaduras comprometidas, em estado avançado de corrosão. Portanto, nessa região, que ficava em balanço, complementando o desenho do pilar em forma de Asa Delta foi ampliada a seção do Pilar e foi optado em refazer toda a viga transversal na parte superior onde se apoiam as lajes alveolares, figuras 08 e 09.

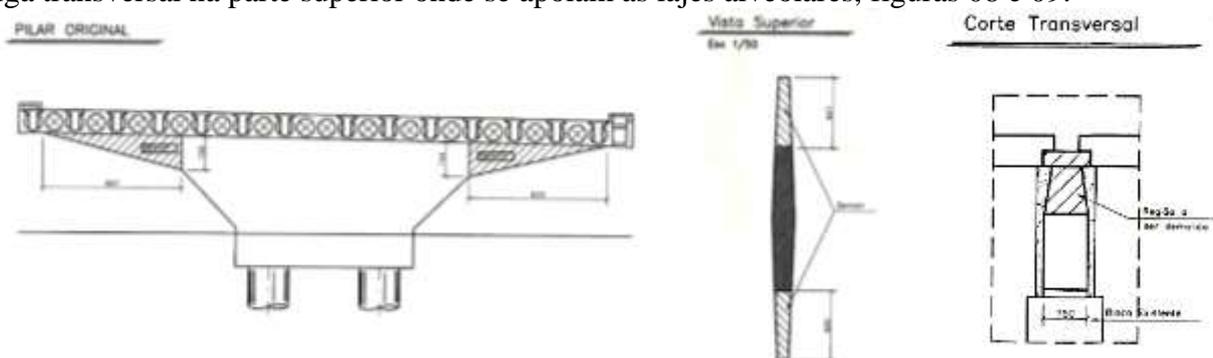


Figura 08 - Desenhos originais do Bruno Contarini, antigos pilares.

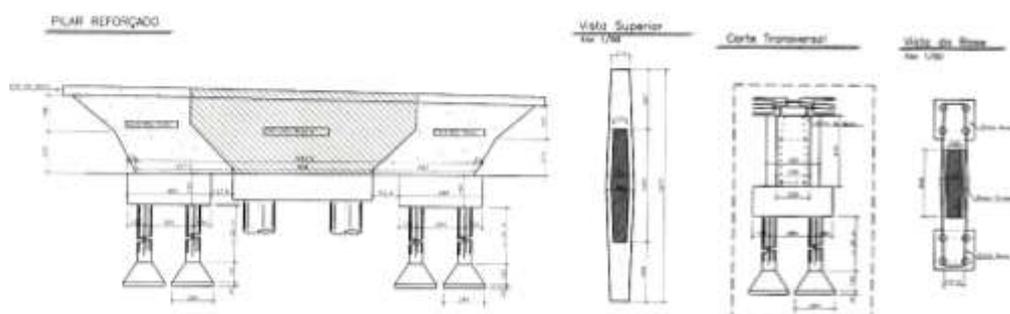


Figura 09 - Desenhos originais do Bruno Contarini, reforço dos pilares e novas fundações.

A empresa vencedora da licitação e contratada para a execução da obra de Retrofit e requalificação da área urbana do Viaduto foi a Via Engenharia LTDA. A obra foi gerenciada pelo engenheiro Paulo Robert Santos Machado do DER.

Com o acréscimo de fundações foram executados vinte oito (28) tubulões a céu aberto, quatro por cada pilar, com uma profundidade de aproximadamente de 15 metros. Os novos pilares do Viaduto foram o grande aspecto inovador do projeto, pois os antigos apresentavam um estado avançado de corrosão e balanços com ausência de estribos e armaduras passivas. A solução dada para a nova estrutura previu o alargamento da seção transversal existente, distribuindo as novas cargas para o sistema de fundação. Todos os 7 pilares foram alargados no sentido transversal de aproximadamente 1,2m, 60 centímetros de cada lado.

O núcleo, central do pilar antigo, foi mantido e foi ligado a nova estrutura por meio 44 mono-barras de aço de Dywidag de alto resistência. Essas barras metálicas transpassam totalmente o apoio de um lado pro outro, consolidando as duas estruturas e distribuindo toda a carga do tabuleiro para os pilares existentes e os novos e em seguida essa carga foi conduzida para as fundações, Figura 10.

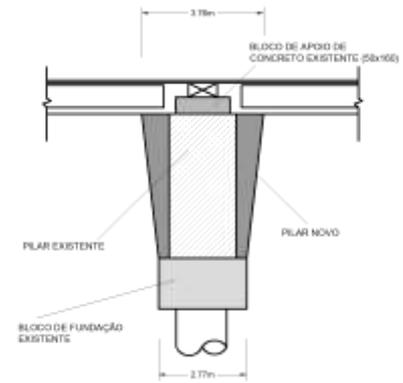


Figura 10 - Cortes da estrutura do pilar do Viaduto após Retrofit, detalhamento do aumento de seção dos pilares e dos blocos de fundação. Fonte: Autoral.

Recuperação das Lajes Alveolares.

Após a reestruturação de todo o sistema de apoio, fundações e pilares, foram recuperados todos os painéis de lajes com exceção à laje L7 entre os pilares P6 e P7. Pois é a laje onde houve o lapso. Conforme indicado nos ensaios de testemunho, o concreto continuava com resistência superior ao projeto original o que levou a equipe de projetistas a optarem pela recuperação das lajes alveolares. Contudo foi descartada toda a armadura existente nos painéis protendidos, devido a corrosão avançada.

A laje L7, em estado de colapso parcial, representava o ponto mais crítico do ponto de vista da segurança, por isso foi optado pela sua demolição, Figura 11.



Figura 11 - Demolição total da laje 7.

Portanto, na intervenção de Retrofit estrutural foi demolida a laje L7 para ser reconstruída como um novo elemento plano, diferentemente de todas as outras lajes que foram reforçadas por meio de vigas protendidas, chamadas de longarinas, dentro dos alvéolos existentes do tabuleiro.

Os vãos dos apoios, que foram reforçados, receberam 14 longarinas protendidas de reforço para as lajes existentes, enquanto o pilar totalmente reconstruído recebeu 28 unidades de longarinas, mantendo a mesma concepção estrutural original, figura 12.



Figura 12 - Armaduras ativas e passivas das longarinas de concreto, inseridas entre os alvéolos protendidos.

Conclusão

De uma forma geral o viaduto com quase sessenta anos de construção, apresentava patologias comuns em todos os seus elementos estruturais. A falta de manutenção ao longo do uso agravou as patologias. Contudo, é importante frisar que a construção dessas Obras de Artes baseadas nas normas dos anos 40 e 60 também contribuíram significativamente para o colapso da estrutura. A falta de conhecimento sobre a durabilidade das edificações, ao período construído, colaborou para a diminuição da vida útil. Cobrimentos pequenos, falta de armadura passiva e quase inexistência de estribos nas vigas em balanço permitiu a ruptura frágil do viaduto. É possível afirmar que com as normas atuais a ruptura frágil das vigas laterais junto aos pilares não ocorreria.

Segundo o documento Guidelines for Retrofit of Concrete Structure (1999), os três principais aspectos que devem ser considerados em uma intervenção de Retrofit são a segurança estrutural, o desempenho estrutural e a futura capacidade de restauração, caso precise.

As seções transversais e longitudinais dos pilar foram alargadas de forma a conferir um aumento no apoio das lajes alveolares e também foram introduzidas novas fundações permitindo uma melhor distribuição das cargas. O aumento dos pilares produziu um novo aspecto estético que se apresenta uma volumetria mais robusta, demarcando um forte caráter de durabilidade e segurança para a obra de infraestrutura urbana.

Referências

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

BILLINGTON, D. P. **The tower and the bridge: the new art of structural engineering.** Universidade de Princeton, Princeton, 1983.

DER/DF. **Relatório técnico - Proposta de recuperação do Viaduto sobre a Galeria dos Estados.** Brasília, 2018.

ICOMOS. Conselho Internacional dos Monumentos e Sítios. **Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural.** Paris: UNESCO/ICOMOS, 1972.

GALIMI, S.; PANTOJA, J.; BUZAR, M.; SANTOS MACHADO, P. R. **Retrofit em obras tombadas de infraestrutura urbana: o caso do Viaduto sobre a Galeria dos Estados.** Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo, n. 26, p. 140-156, 28 maio 2020.

GALIMI, S. **Índice de Requalificação da Infraestrutura Urbana: Uma Proposta para Avaliação das Intervenções de Retrofit no Patrimônio das Obras de Arte Especiais.** Tese de Doutorado. PPG-FAU/UnB. 2021.

INOJOSA, Leonardo da Silveira Pirillo. **O protagonismo da estrutura na concepção da arquitetura moderna brasileira.** Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2019

NEGREIROS, I. **Retrofit Urbano: uma abordagem para apoio de tomada de decisão.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica de São Paulo. São Paulo, 2018.

RELATÓRIO TÉCNICO – Dept. ENC/UnB 001. Brasília, 26.02.2018.

RELATÓRIO TÉCNICO – NOVACAP - Grupo de trabalho conforme Decreto n. 38.841 de 06.02.2018. Brasília, 2018.

STUCCHI, F. R., 2006. **Pontes e grandes estruturas (Notas de aula).** Departamento de estruturas e fundações, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

VARUM, H. S. A. **Avaliação, reparação e reforço sísmico de edifícios existentes.** Tese de Doutorado, Universidade de Aveiro, Secção Autónoma de Engenharia Civil. 2003.

VASCONCELOS, A. C. **Pontes Brasileiras. Viadutos e Passarelas notáveis.** Editora Pini Ltda. São Paulo, 1993.