



Análise Estrutural do Viaduto do 4º Centenário de Natal/RN

Fábio Sergio Pereira da Costa¹, Felipe de Oliveira Penha² Mário César Nogueira³, Telino Cabral Pinheiro⁴

¹ UniRn/Professor Phd. Coordenador da Graduação em Engenharia Civil e da Pós Graduação /engecal.fabio@gmail.com

² Aluno Pós-Graduação em Dimensionamento, Patologia, Terapia e Tecnologia de Estruturas de Concreto / felipepenhasp1@gmail.com

³ Pós-Graduação em Dimensionamento, Patologia, Terapia e Tecnologia de Estruturas de Concreto / marionogueira.engenharia@gmail.com

⁴ Aluno Pós-Graduação em Dimensionamento, Patologia, Terapia e Tecnologia de Estruturas de Concreto / telinocpinheiro@gmail.com

Resumo

A análise estrutural caracterizou-se pela vistoria “*in loco*”, com o objetivo de verificar a situação física atual dos sistemas construtivos e estruturais do Viaduto do Quarto Centenário de Natal/RN, identificando as não conformidades da sua execução (falta de acessibilidade; falta de junta dilatação; falta de pingadeiras; falta de sinalização), em relação às normas pertinentes atuais, identificando as patologias (trincas transversais e isoladas FC-1; afundamento de consolidação da trilha de rodas; placas; desgaste acentuado do pavimento; corrosão instalada pilares com perda de seção da ferragem, lixiviação do concreto; carbonatação; presença de vegetação na terra armada; bueiros obstruídos), propondo terapias e atividades de manutenção. O sistema construtivo do Viaduto do Quarto Centenário de Natal/RN foi o misto formado com elementos de concreto armado pré-moldados protendidos e concreto armado concretados “*in loco*”. A metodologia foi pautada na Norma do DNIT 122:2009, na Norma da ABNT NBR 6118:2014 e da ABNT NBR 9452:2019, considerando as diretrizes da ABNT NBR 13752:1996. No entanto, foi adotada, para critério da nota técnica de avaliação das estruturas, a norma americana *FHWA-NHI*, que ao final obteve na classificação nota 5 - estado razoável. A vistoria foi realizada de forma visual, de classificação nível 1, seguindo os critérios da NBR 9452:2019. Desta feita não se utilizou de equipamentos especiais para análise ou acesso, sendo realizadas visualmente, a partir do terreno ou sobre tabuleiros. Foram identificadas diversas manifestações patológicas, nas quais foram apresentadas as terapias e recomendações de manutenções construtivas e estruturais.

Palavra Chave: Construção, Análises Estrutural; Metodologia; Manifestações Patológicas; Manutenção.



1 Introdução

Viaduto do Quarto Centenário, também chamado de Complexo Viário Senador Carlos Alberto, Construído em comemoração aos 400 anos da fundação da cidade de Natal. Este complexo faz a ligação da BR-101 sul no perímetro urbano com a Avenida Senador Salgado Filho e com a Avenida Prudente de Moraes (no qual se liga a Arena das Dunas). Foi inaugurado oficialmente em 25 de fevereiro de 2000. A análise Estrutural do Viaduto nasce da necessidade de avaliar o estado de arte do projeto do viaduto do quarto centenário, como também visa estabelecer conceitos que serão aplicados quando da escolha do método corretivo. Além do embasamento teórico, buscou-se constatar “*in loco*” as manifestações das patologias diante da situação atual dos sistemas construtivos do Viaduto, identificando as não conformidades em relação a sua execução e as normas vigentes.

2 Metodologia

Por meio da Vistoria Técnica, embasada na norma do DNIT 122/2009 - Pontes e Viadutos Rodoviários – Estruturas de Concreto Armado - Especificação de Serviço e ABNT-NBR 6118/2014 – Estruturas de Concreto Armado procedimentos; ABNT-NBR 9452/2016- Inspeção de Pontes, Viadutos e Passarelas de Concreto Armado, identificando as patologias, propondo terapias as atividades de manutenção, considerando as diretrizes da ABNT NBR 13752:1996 - Perícias de engenharia na construção civil. Foi adotado para o critério de classificação do estado da estrutura a norma americana *FHWA-NHI*. Foi verificado “*in loco*” as manifestações patológicas existentes na estrutura do Viaduto do quarto centenário de Natal/RN, observando assim as possíveis causas que motivaram o surgimento dessas manifestações, como também uma análise para execução das soluções e tratativas de manutenção.

No Item 4 – Análise das Manifestações Patológicas, apresentamos uma dentre as possíveis maneiras e possibilidades de se realizar a recuperação ou o reforço necessário na estrutura, considerando assim o preço dos materiais e da mão-de-obra, prazo para execução e segurança para realização dos trabalhos apontados.

3 Estrutura do Viaduto Quarto Centenário de Natal/RN

Na vistoria técnica, foram identificadas as seguintes manifestações patológicas: ausência de acessibilidade, nas faixas de rolamento foram identificadas trincas transversais no encontro do tabuleiro com a laje de aproximação; trincas isoladas FC-1, afundamento de consolidação da trilha de rodas, painéis, desgaste acentuado na superfície do pavimento, ondulações, drenagem deficiente; nas estruturas: carbonatação; corrosão instalada com perda de seção da ferragem e deslocamento do concreto, fissuras, lixiviação do concreto, falta de pingadeira, falta de dilatação, deterioração das instalações elétricas, rachaduras, matos, nas placas da terra armada presença de corrosão nos estribos, onde parte destas são de responsabilidades da execução do projeto e da falta de manutenção periódica.

3.1 Detalhe da Estrutura do Viaduto Quarto Centenário de Natal/RN



Figura 1 – Detalhamento da Estrutura do Viaduto Quarto Centenário de Natal/RN (Acervo dos autores (2020)).

O Viaduto do quarto Centenário tem seu sistema construtivo misto formado com elementos de concreto armado pré-moldados protendidos e concreto armado executado “*in loco*”, na seguinte ordem:

- **Infraestrutura:** formada por fundação profunda, com 20 estacas metálicas de perfis soldados CS 250 x 76 cravadas, comprimento de 20 m, coroadas por bloco de concreto armado moldado “*in loco*”, tamanho 6,00 m x 6,00 m x 1,30 m (x4), com resistência a compressão de 20 MPa, recobrimento da armadura 3,00 cm;
- **Mesoestrutura:** compostas por 4 pilares (duplos) L = 3,00 m e E = 0,50 m, moldados “*in loco*”, com resistência a compressão de 25 MPa com recobrimento da ferragem 4,00 cm, que suportam travessas pré-moldada protendida de concreto com resistência a compressão de 30 MPa e recobrimento de 3,00 cm e nos encontros que apoiam as extremidades das vigas (inicial e final), sobre bloco de coroamento de concreto armado tamanho de 9,90 m x 1,20 m x 1,30 m, moldado “*in loco*” com fundação profunda formada com 8 estacas metálicas de perfis soldados CS 250x76 cravadas, com 20,00 m, com resistência a compressão de 20 MPa, e recobrimento da ferragem 3,00 cm;
- **Superestrutura:** do tipo hiperestática, continua sem junta de dilatação, é composta por cinco vãos, constituídas de sete vigas principais, pré-moldadas em concreto protendido de seção “U”, com resistência a compressão de 30 MPa e recobrimento da ferragem 2,50 cm, com apoios intermediários em travessas de concreto protendido sobre os pilares, concreto com resistência a compressão de 30 MPa e recobrimento de 3,00 cm, que destas partem vigas de apoio para se solidarizando com as vigas principais, sendo estas apoiadas em transversina de concreto protendido moldadas “*in loco*”, concreto com resistência a compressão de 30 MPa e recobrimento da ferragem 2,50 cm, as extremidades das vigas principais dos vãos inicial e final são apoiadas em aparelhos de neoprene 30 cm x 20 cm x 4,10 cm, nos encontros, suportando a laje do tabuleiro, constituída por sistema pré-lajes, pré-moldadas com ferragem positiva e concreto de recobrimento moldados “*in loco*”, com resistência de 30 MPa e recobrimento da ferragem 2,50 cm.

4 Análises, terapias e manutenções das manifestações patológicas

4.1- Vias de Rolamento manifestações patológicas:

Trincas transversais nos encontros entre o tabuleiro e a laje de aproximação; Trincas isoladas FC-1; Afundamento de Consolidação da Trilha de rodas; Painelas; Desgaste acentuado na superfície do pavimento; e Ondulações.



Figura 2 – Vias de Rolamento manifestações patológicas (Acervo dos autores (2020)).

4.1.1-Terapias recomendadas:

- As trincas transversais devem ser investigadas, para saber se estas chegaram a superfície da laje do tabuleiro, devendo-se retirar toda a camada asfáltica na extensão transversal das trincas até a laje desta, após retirar o asfalto observar se é a trinca chegou a laje, observando se foi no encontro com a laje de aproximação por falta de tratamento da junta de dilatação. Devendo-se em ambos os casos consultar o calculista para melhor solução;
- Para as demais manifestações, após resolvido às fissuras transversais no encontro, junto a laje de aproximação, popõe-se fazer uma frenagem da camada do pavimento em 3,00 cm, em seguida fazer um novo capeamento com mesma profundidade, obedecendo a um controle rigoroso na confecção e aplicação do concreto asfalto;
- Executar as juntas de dilatação e trocar os aparelhos de apoio, sem manutenção e/ou vida útil atingida, os aparelhos de apoio perderam as características, transmitindo a vibração ao pavimento ocasionando as fissuras, conforme pode ser visto no detalhe retirado do projeto não foi indicado junta.



Figura 3 – Detalhes extremidades (Projeto DNER – Folha 02/34).

4.2- Drenagem, manifestações patológicas:

- Comprimento deficiente, falta do tubo de queda da drenagem, não passando da estrutura, ficando rente a laje, ocasiona espalhamento d'água na superfície desta, deixando-a suscetível a penetração d'água, que na presença dos gases liberados pelos automóveis acelera o processo de corrosão localizada;
- Ausência de pingadeiras erro de execução conforme projeto não foi executado, levando às águas pluviais a estrutura;
- Infiltração das águas pluviais por fissuras no encontro da barreira anti queda com o tabuleiro em toda extensão deste em ambos os lados da estrutura, lateral esquerda e direita;
- Presença de lixiviação visível pela passagem d'água na estrutura;
- Carbonatação visível em toda extensão na barreira anti queda, nas duas laterais;
- Deficiência no escoamento das águas pluviais na faixa de rolamento e vias de acesso ao viaduto.



Figura 4 – Drenagem manifestações patológicas (Acervo dos autores (2020)).

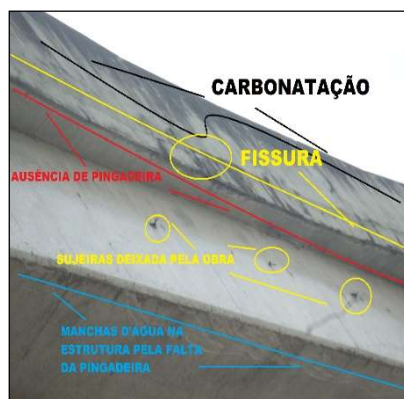
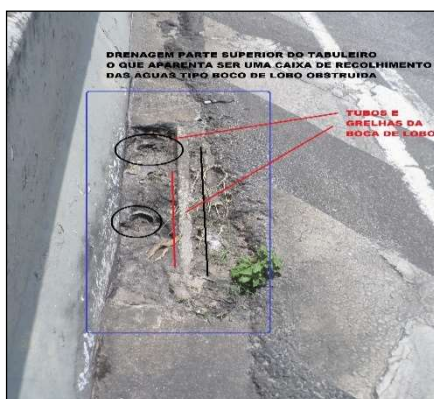


Figura 5 – Drenagem manifestações patológicas (Acervo dos autores (2020)).

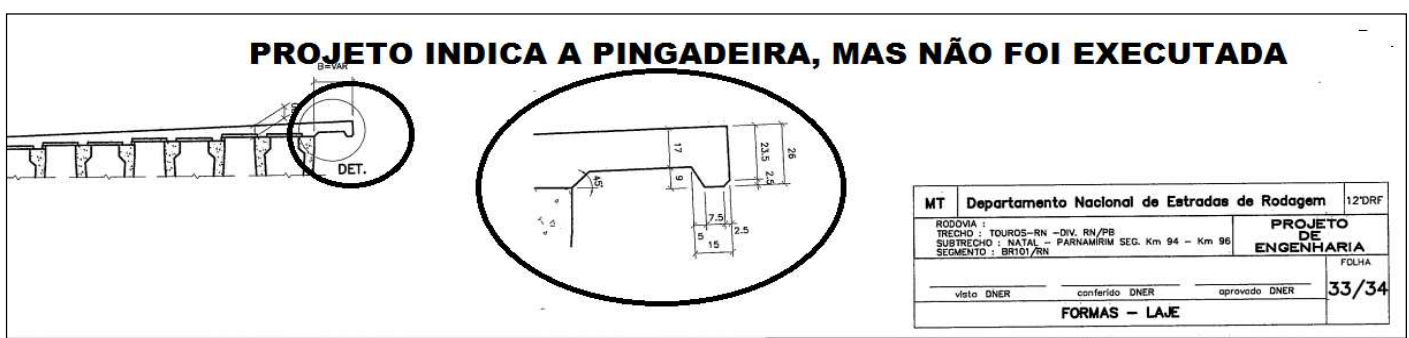


Figura 6 – Detalhe da pingadeira (Projeto DNER – Folha 33/34).

4.2.1- Terapias recomendadas:

- Revisão em todo sistema de drenagem do viaduto com limpeza das linhas d'água retirando a vegetação e terra acumulada, prolongar os tubos de queda das águas pluviais além da estrutura, se necessário desviar a descida evitando obstrução das vias;
- Executar pingadeiras, conforme projeto, de forma que interrompa o fluxo das águas pluviais nas estruturas;
- Executar a limpeza com hidrojateamento da estrutura que compõe a barreiras anti queda;
- Verificar a presença de carbonatação nas peças evidenciadas por meios de ensaios não destrutivos, investigando o pH do concreto com uso do lapis, ou aplicando fenoftaleína nas fissuras existentes, caso o concreto não reaja na cor rosa na região aplicada, significa carbonatação instalada, pH do concreto inferior a 9 na regua de identificação de cores, portanto o concreto já perdeu a capacidade de proteção desejada, devendo se fazer uma extração amostral, e medir a profundidade alcançada pela carbonatação, em seguida retirar o concreto atingido até a profundidade de cor rosa, se a área carbonatada chegou na ferragem, verificar se houve perda de seção (10%), se houve perda igual ou acima disto fazer a reposição, caso contrário fazer hidrojateamento com areia, em seguida aplicar uma proteção catódica a base de zinco ou alumínio, posterior de acordo com a profundidade atingida, recuperar o concreto com uso de grout tixotrópico pequenas áreas ou concreto jateado para grandes áreas;
- Tratar as fissuras existentes evidenciadas nas laterais do viaduto, no encontro da laje do tabuleiro com a estrutura de barreira anti queda, com injeção de epóxi, em seguida, para proteger a estrutura e garantir maior vida útil, aplicar um hidrofugante impermeabilizante, tipo argamassa polimerica em duas demãos cruzadas, observando intervalo de cura de pelo menos 2 horas;
- Recuperar o sistema de drenagem das vias de acesso com desobstrução das galerias, tubulação drenagem das águas pluviais, recuperando fisicamente os bueiros, calhas e pontos de visitas que estejam danificadas;
- Consultar a empresa de águas e esgoto (CAERN), para verificar a capacidade de vazão de projeto e destinação das águas drenadas, que se acumulam em períodos de fortes chuvas nas vias de acesso ao viaduto.

4.3-Taludes/Terras Armada manifestações patológicas:

- Vegetação presente nas paredes da terra armada nas laterais esquerda e direita do viaduto no sentido BR 101 Av. Prudente de morais, evidenciando presença d'água por infiltração ocorrida através de fissuras na pista de rolamento, que pela localização da vegetação se dá nas proximidades do encontro da pista do tabuleiro com a cortina de apoio e a laje de aproximação, sem junta de dilatação na pavimentação, fica esta suscetível às movimentações de carga, antes amortecidas pelos aparelhos de apoio, já desgastados com o uso de 20 anos;
- Sensível inclinação das escamas sentido do apoio, deslocamento e esmagamento da escama do canto superior imediatamente abaixo do aparelho de apoio, peça da terra armada, localizada na lateral esquerda sentido BR 101 Av. Prudente de Moraes, no encontro da laje do tabuleiro com o bloco de apoio das vigas principais e laje de aproximação, possivelmente causada pelas movimentações das cargas, que deveriam ser dissipadas pelos aparelhos de apoio, que sem revisão já passados 20 anos de uso perdeu suas características de absorção, por consequência da perda de elasticidade se recolheu, provocando desnível no apoio da viga, deslocando e esmagando a peça;
- Peças da barreira anti queda sentido BR 101, Av. Prudente de Moraes lado esquerdo, apresentam porosidade no concreto, consequentemente corrosão em algumas peças, deslocamento do concreto com exposição da ferragem.



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



Figura 7 – Taludes/Terras Armada manifestações patológicas (Acervo dos autores (2020)).



Figura 8 – Taludes/Terras Armada manifestações patológicas (Acervo dos autores (2020)).



Figura 9 – Taludes/Terras Armada manifestações patológicas (Acervo dos autores (2020)).

4.3.1-Terapias recomendadas:

- Lavagem geral de toda a barreira antiqueda e terra armada, com hidrojateamento, em seguida fazer ensaio não destrutivo com uso do lápis de cores (INSTA-CHECK SURFACE PH PENCIL) e identificar na régua a coloração, se der abaixo de 9, pH baixo, concreto suscetível a penetração da carbonatação, fazer o ensaio da fenolftaleína, observando as peças da barreira próxima as rampas de acesso do viaduto, com visível porosidade, exposição da ferragem, deslocamento do concreto, se ha profundidade da carbonatação, caso haja profundidade e sendo estas peças esbeltas, de pouco espessura , optar pela substituição, nas peças em que não apresentarem profundidade na carbonatação, recuperar o concreto com uso de grout tixotropico, após limpeza da ferragem com hidrojateamento de areia e proteção da ferragem com Armatec Zn;

- Nas barreiras antiqueda e nas escamas da terra armada após executadas as terapias sugeridas fazer uma proteção com hidrofugante com uso da argamassa polimérica aumentando a vida útil das peças;
- Na terra armada próxima ao aparelho de apoio, na peça que foi esmagada, fazer a substituição da seção com grout expansivo, utilizando-se de forma, em seguida fazer a substituição dos aparelhos de apoio visto a perda da vida útil (20 anos);
- Nas áreas de presença da vegetação, fazer injeção de nata de cimento para retirada da água acumulada e preenchimento dos vazios, em seguida reforçar a área ancorando uma tela soldada (Q 61-GERDAU), na estrutura existente, cobrindo toda a área atingida com jateamento de concreto espessura 3,00 cm.

4.4-Manifestações patológicas evidenciadas na Superestrutura e na Mesoestrutura:

Identificação no projeto da Superestrutura e na Mesoestrutura:

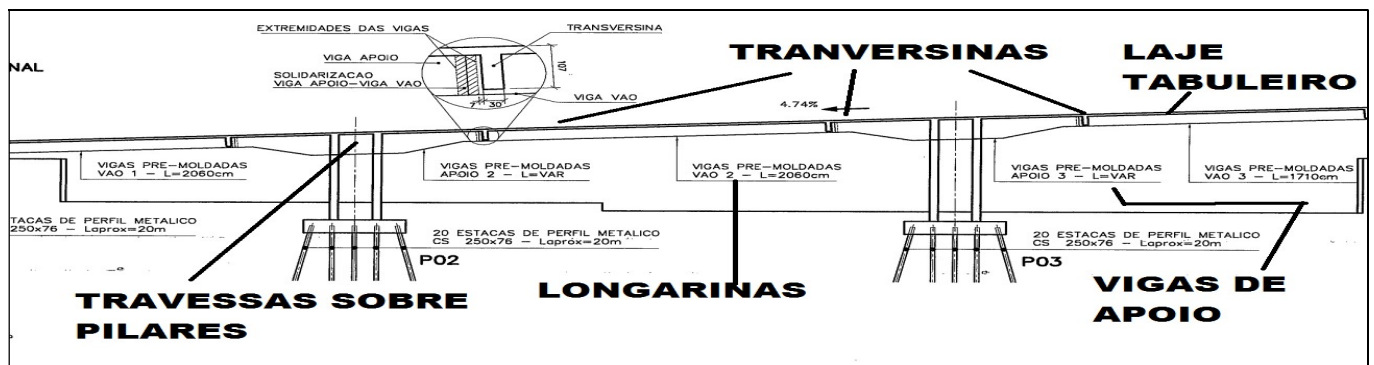


Figura 10 – Detalhes da estrutura (Projeto DNER – Folha 02/34)

4.4.1- Manifestações patológicas na superestrutura:

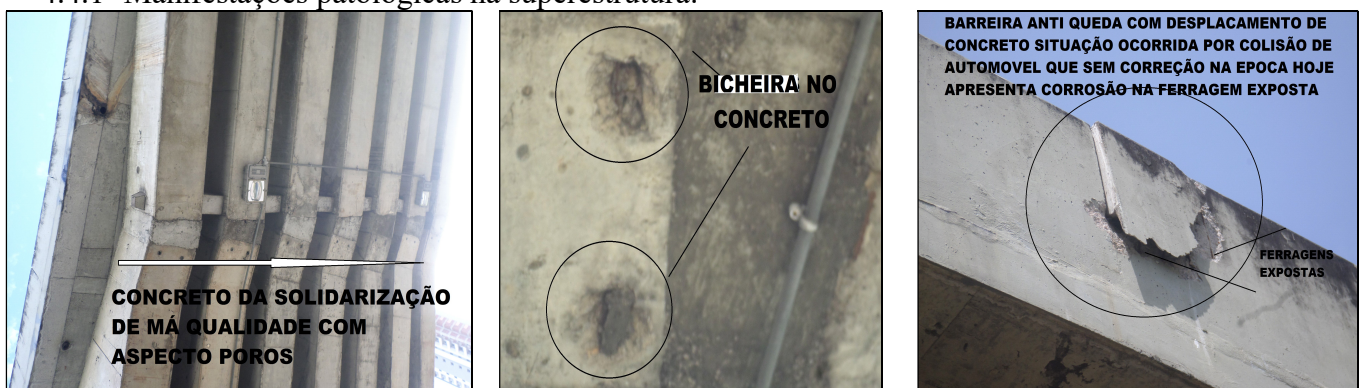


Figura 11 – Manifestações patológicas na superestrutura (Acervo dos autores (2020)).

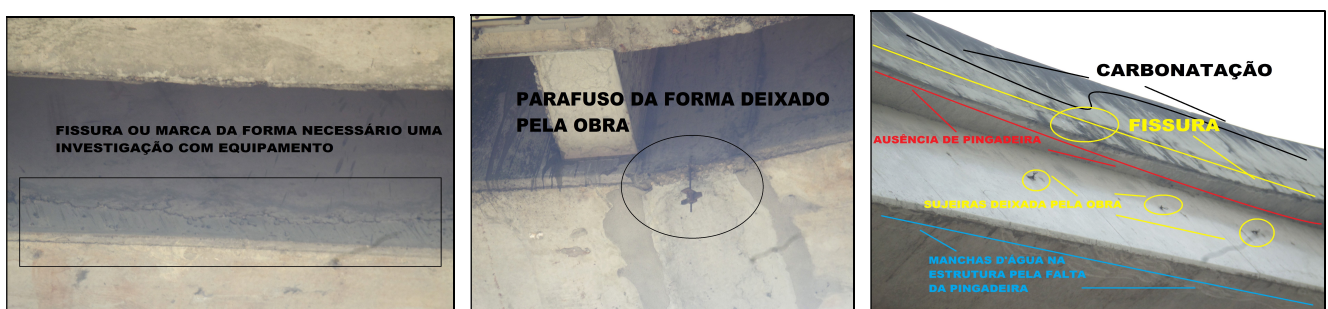


Figura 12 – Manifestações patológicas na superestrutura (Acervo dos autores (2020)).

4.4.1.1-Terapias recomendadas para a Superestrutura:

- Executar a limpeza de toda a superestrutura, retirando todas as rebarbas de concreto solto, pregos parafusos, sobra de madeiras, todos esses materiais deixados pela obra trazem ao longo dos anos problemas a estrutura por facilitarem o acesso dos agentes agressivos, carbonatação, água, cupins na sequência fazer uma lavagem com hidrojateamento retirando todas as impurezas superficiais da superestrutura;
- As vigas que servem de apoio as principais (longarinas) que apresentam evidências de fissuras, devem ser investigadas mais de perto, na situação vista a distância com máquina fotográfica não profissional e sem uso de equipamento de aproximação, não se pode afirmar ser fissura, portanto recomenda-se que o órgão responsável tome as devidas providências, na oportunidade fazer uso do lápis (INSTA-CHECK SURFACE PH PENCIL) para investigar o pH do concreto, identificando se este mantém o nível aceitável, na régua de cores acima de 9, caso seja abaixo, aplicar a fenolftaleína e extrair um corpo de prova para medir a profundidade da carbonatação, identificado a penetração, retirar o concreto atingido incolor até a cor rosada característica do pH aceitável, caso chegue a armadura, fazer hidrojateamento com areia e posterior aplicar Armatec Zn, na sequência recompor a peça com grout tixotropico pequenas áreas e aplicação de concreto jateado para grandes áreas;
- Nas solidarizarão das vigas de apoio com as principais todas apresentam aspecto poroso, aparentemente de má qualidade, devendo-se fazer ensaios não destrutivos com uso do lápis (INSTA-CHECK SURFACE PH PENCIL) para investigar o pH do concreto, identificando se este mantém na em níveis aceitáveis, na régua de cores acima de 9 até 12,5, na condição desfavorável aplicar a fenolftaleína superficialmente extrair um corpo de prova para ver a profundidade da carbonatação, identificado a penetração, retirar o concreto atingido incolor até a cor rosada característica do pH aceitável, caso chegue a armadura, fazer hidrojateamento com areia e posterior aplicar Armatec Zn, na sequência recompor a peça com grout tixotrópico em pequenas áreas e projeção de concreto para grandes áreas;
- Após limpeza, lavagem de toda superestrutura com hidrojateamento, recuperados todas as vigas, fazer uma pintura com hidrofugante, utilizando a argamassa polimérica e manter as manutenções constante anualmente.

4.4.2- Manifestações patológicas na Mesoestrutura:



Figura 13 – Manifestações patológicas na mesoestrutura (Acervo dos autores (2020)).

4.4.2.1-Terapias recomendadas para a Mesoestrutura:

- Dos oito pilares que compõem a Mesoestrutura do viaduto, 5 apresentam corrosão instalada, sendo 2 pilares: 4H e 3E com estribo rompido e/ou perda de seção > 10%, necessitando reforço com substituição, seguindo as seguintes etapas: 1º) Limpar superficialmente o concreto desagregado; 2º) Fazer aplicação da fenolftaleína para medir a profundidade do concreto atingido; 3º) Dependendo da profundidade atingida ver a necessidade de escoramento da estrutura, na situação vista a corrosão aparentemente é superficial; 4º) Garantido o escoramento caso necessário, retirar todo o concreto

atingido e limpeza da ferragem com hidrojateamento de areia, após limpeza, aplicar fenolftaleína verificando até o concreto ficar róseo; 5º) Na condição observado do recobrimento quase zero nos 2 pilares em questão e para garantir uma durabilidade maior, após retirado o concreto atingido pela corrosão escarificar o concreto em volta de todo o pilar a uma altura de segurança de sua base e garantir acima do terreno no mínimo 0,50 m, reforçando este com novos estribos com recobrimento estabelecido pela ABNT NBR 6118:2014 que é de 3 cm para áreas urbanas; 6º) Aplicar concreto projetado com resistência mínima de 30 MPa; 7º) Ao final, após cura do concreto aplicar uma pintura impermeabilizante tipo argamassa polimérica, 2 demãos cruzadas com tempo entre as camadas de no mínimo 2 horas; 8º) Após passar pelos procedimentos descritos nos itens 1; 2; 3 e 4, demais pilares 1AB; 2CD; 3F e 4G, executar o procedimento descrito no item 5; 9º) após executar todos os procedimentos de manutenção e recuperação estrutural (Superestrutura; Mesoestrutura) do viaduto do quarto centenário, recomenda-se uma lavagem geral com hidrojateamento seguido de uma pintura com argamassa polimérica;

- Fazer substituição da defesa do pilar 3E.

5 Conclusões

A construção do viaduto apresenta manifestações patológicas em relação ao projeto executivo, como também em obediência a este, conforme listados a seguir:

- Não execução da pingadeira indicada em projeto;
- Falta de limpeza da estrutura, deixando sobra de madeira das formas, parafusos, rebarba de concreto;
- Má qualidade do concreto nas solidarizarão das vigas e das vigas de apoio;
- Não foram executadas juntas de dilatação no encontro da laje de tabuleiro com a laje de aproximação, como também em toda extensão do tabuleiro, com vão maior de 100m;
- Falta de manutenção da obra de arte.

Diante das condições físicas verificadas na estrutura do viaduto do quarto centenário da cidade de Natal/RN, segundo os critérios da norma americana FHWA – NHI avaliação das estruturas – é 5 todos os elementos principais estão em boas condições, mas podem estar com pequena perda de seção e desagregações, apresentando fissuras, erosões.

6 Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118: Estruturas de Concreto Armado procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9452: Inspeção de Pontes e Viadutos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13752: Perícias de engenharia na construção civil**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **NORMA DNIT 122/2009 - ES. DNIT Pontes e viadutos rodoviários – Estruturas de concreto armado - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: < http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit122_2009_es.pdf >. Acesso em 31 ago. 2020.

FHWA-NHI-10-025 Federal Highway Administration FHWA GEC 011 – Volume II November 2009.