

LEONARDO BARREIRO DA COSTA SOUZA E SILVA

**ANÁLISE DE PATOLOGIAS E INCONFORMIDADES DE OBRAS DE
ARTES ESPECIAIS EM UBERLÂNDIA - MG**

Uberlândia - MG

2019

LEONARDO BARREIRO DA COSTA SOUZA E SILVA

**ANÁLISE DE PATOLOGIAS E INCONFORMIDADES DE OBRAS DE
ARTES ESPECIAIS EM UBERLÂNDIA - MG**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) do curso de graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil (FECIV) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), como parte das exigências para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Uberlândia, 11 de dezembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Cabana Guterres

Avaliadora: Prof^a. Dra. Raquel Naiara Fernandes Silva

Avaliador: Prof. Dr. Carlos Eugênio Pereira

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso tem por objetivo identificar as patologias e demais inconformidades presentes em Obras de Artes Especiais (OAE's) do município de Uberlândia-MG. Foram inspecionadas várias OAE's, dentre as quais foram selecionadas as que apresentavam patologias mais graves para servirem de objeto de estudo. Foi feito um mapeamento através da coleta de dados, identificação e classificação das patologias e inconformidades encontradas nas OAE's. A partir de então, foi traçado uma correlação de causa e efeito com base na frequência de incidência destas anomalias, sua localização na estrutura, condições de uso da OAE's, tipologia de tráfego, sistema construtivo da estrutura e condições do meio (entorno). Assim é possível apurar um diagnóstico para as OAE's avaliadas e gerar uma análise, das possíveis causas originárias das patologias e possíveis ações para a solução dessas anomalias. Finalmente este trabalho propõe-se em auxiliar os órgãos públicos ou empresas privadas responsáveis pela manutenção, reparação ou recuperação das OAE's, para proporcionar uma maior durabilidade e segurança à essas estruturas, visando o bem comum.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Elementos construtivos gerais de uma OAE.....	11
Figura 2 – Guarda-corpo.....	11
Figura 3 - Mapeamento das passarelas de Uberlândia-MG.....	19
Figura 4 - Mapeamento: Passarela Corina Junqueira Rezende	20
Figura 5 - Mapeamento dos viadutos de Uberlândia-MG	21
Figura 6 - Mapeamento: Viaduto Alexandrino Garcia.....	22
Figura 7 - Mapeamento das pontes de Uberlândia-MG	23
Figura 8 - Mapeamento: Ponte do Praia	24
Figura 9 - Passarela Corina Junqueira Rezende	25
Figura 10 - Patologias na face inferior do tabuleiro	26
Figura 11 - Patologias na face inferior do tabuleiro (quina).....	27
Figura 12 – Patologias na face inferior do tabuleiro (quina).....	28
Figura 13 - Patologias na face inferior do tabuleiro (quina).....	28
Figura 14 – Segregação, calcinação, eflorescências e fissuras.....	29
Figura 15 - Patologias diversas na face inferior do tabuleiro.....	30
Figura 16 - Sujidades e disgregação do concreto no encontro viga-tabuleiro.....	30
Figura 17 - Vegetação parasitária e mossas de colisão de veículos	31
Figura 18 - Placa de sinalização de altura	31
Figura 19 - Passeio com alguma fissuração	32
Figura 20 – Junta de dilatação com cobrimento metálico	32
Figura 21 - Viaduto Alexandrino Garcia.....	33
Figura 22- Condição das faixas de rolamento e passeio.....	34
Figura 23 - Patologias diversas na face inferior do tabuleiro.....	35
Figura 24 - Patologias diversas na face inferior do tabuleiro.....	36
Figura 25 - Segregação, corrosão e deslocamentos na base de um pilar	37
Figura 26 - Deslocamento, exposição e corrosão da armadura na base de um pilar	38
Figura 27 - Fissuras, deslocamento, corrosão da armadura e estribo rompido na base de um pilar.....	38

Figura 28 - Segregação, deslocamento com exposição e corrosão da armadura na base de um pilar.....	38
Figura 29 - Segregação, deslocamento e corrosão severa na base de um pilar	39
Figura 30 - Deslocamento à 45°, exposição e corrosão da armadura na base de um pilar .	40
Figura 31 - Deslocamento e redução da armadura à minério de ferro na base do pilar	40
Figura 32 - Patologias diversas na base de um pilar pertencente à cortina de concreto dos encontros do viaduto.....	41
Figura 33 - Patologias diversas na base de um pilar pertencente à cortina de concreto dos encontros do viaduto (em detalhe).....	42
Figura 34 - Carbonatação e/ou eflorescências na cortina de concreto e face inferior do tabuleiro	42
Figura 35 - Ponte do Praia	43
Figura 36 - Eflorescência, carbonatação, deslocamento com exposição e corrosão dos estribos na face inferior do tabuleiro	44
Figura 37 - Eflorescência, carbonatação, manchas de ferrugem e tubo de drenagem com interferência de armadura	44
Figura 38 - Eflorescência e carbonatação na face inferior do tabuleiro	45
Figura 39 - Deslocamento do maciço de concreto da estrutura de contenção em um dos encontros da ponte	46
Figura 40 - Estado do aparelho de apoio da ponte	46
Figura 41 - Junta de dilatação na faixa de rolamento de concreto	47
Figura 42 - Tubo de drenagem obstruído	47
Figura 43 - Patologias diversas no guarda-corpo da ponte.....	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 OBJETIVOS.....	8
3 ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA	8
3.1 Caracterização dos principais materiais constituintes de pontes, viadutos e passarelas	8
3.2 Elementos construtivos presentes em OAE's.....	10
3.3 Patologias nas estruturas.....	12
4 METODOLOGIA.....	19
5 ANÁLISE DA PASSARELA CORINA JUNQUEIRA REZENDE	25
5.1 Patologias encontradas, causas, efeitos e diagnóstico	25
6 ANÁLISE DA VIADUTO ALEXANDRINO GARCIA.....	33
6.1 Patologias encontradas, causas, efeitos e diagnóstico	33
7 ANÁLISE DA PONTE DO RIO UBERABINHA (PONTE DO PRAIA).....	43
7.1 Patologias encontradas, causas, efeitos e diagnóstico	44
8 SOLUÇÕES RECOMENDADAS PARA TRATAR AS ANOMALIAS	48
8.1 Segregação, ninhos de concretagem e deslocamentos.....	50
8.2 Umidade e vegetação parasitária	50
8.3 Carbonatação e eflorescência	51
8.4 Corrosão e oxidação	52
8.5 Aparelhos de apoio e juntas de dilatação.....	52
9 CONCLUSÕES.....	53
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

“Patologia pode ser entendida como a parte da Engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e as origens dos defeitos (doenças/anomalias) das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema. À terapia cabe estudar a correção e a solução desses problemas patológicos. Para obter êxito nas medidas terapêuticas, é necessário que o estudo precedente, o diagnóstico da questão, tenha sido bem conduzido.” HELENE, 1992

Segundo HELENE, 1992 em seu livro “Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto”, os sintomas mais comuns nas estruturas de concreto, são as fissuras, eflorescências, flechas excessivas, manchas, corrosão de armaduras e ninhos de concretagem (segregação dos materiais constituintes do concreto). Ainda em seu livro, a incidência dessas patologias se dá da seguinte forma: Manchas superficiais (22%), Fissuras ativas e passivas (21%), Corrosão de armaduras e Ninhos (20% cada), Flechas excessivas (10%) e Degradação química (7%).

Dito isso, a cidade de Uberlândia, segundo um mapeamento prévio realizada pelo grupo de discentes do programa de extensão da Faculdade de Engenharia Civil (FECIV) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), possui mais de 80 Obras de Artes Especiais nos mais diversos estados de conservação e idades. Assim tem-se a noção da ordem de grandeza do trabalho da prefeitura do município, frente a necessidade de manutenção e/ou reparação dessas estruturas.

Portanto será feita, a partir das visitas de inspeção às Obras de Artes Especiais (OAE's), a identificação das patologias presentes nessas obras, suas características, localização na estrutura e gravidade da anomalia, além da caracterização do tráfego presente gerando assim, uma análise de possíveis causas originárias dos processos de degradação e recomendações às futuras recuperações dessas Obras de Artes. Tais visitas contam com o acompanhamento do Professor de estruturas Drº Rodrigo Gustavo Delalibera (FECIV), coordenador do programa de extensão acima citado.

2 OBJETIVOS

Este trabalho de conclusão de curso tem por finalidade a identificação de patologias e possíveis irregularidades instaladas nas diversas estruturas de pontes, passarelas e viadutos de maior ou menor relevância, situadas e catalogadas em Uberlândia-MG, caracterizando suas tipologias e níveis de gravidade.

Propõe-se, portanto, através de investigação estritamente visual, em servir como uma ferramenta de auxílio e/ou aprendizagem aos órgãos públicos e empresas privadas responsáveis pela manutenção e restauração das OAE's e também aos demais interessados acerca do assunto. Tudo isso através da concepção de uma análise e diagnóstico prévio das OAE's do município.

3 ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA

Para que o entendimento desse trabalho de conclusão de curso se faça facilitado e fluído e para que possa servir como um objeto de estudo tanto para o público especializado, quanto para o público leigo em torno do assunto, foi realizado uma análise bibliográfica resumindo os principais pontos e conceitos a serem sabidos como pré-requisito.

3.1 Caracterização dos principais materiais constituintes de pontes, viadutos e passarelas

A seguir serão apresentados e caracterizados os principais materiais de construção integrantes das OAE's, mais especificamente pontes, viadutos e passarelas:

- **Concreto de Cimento Portland:**
Segundo a ABNT NBR 12655:2006 concreto de cimento Portland é o material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, metacaulim

ou sílica ativa), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água).

“O concreto de cimento Portland é o material tradicionalmente usado em reparos e reforços. Na grande maioria das vezes requer um traço especialmente formulado que altere melhor algumas de suas características naturais. Pode ser necessário obter altas resistências iniciais, ausência de retração de secagem, leves e controladas expansões, elevada aderência ao substrato, baixa permeabilidade e outras propriedades normalmente obtidas à custa do emprego de aditivos e adições, tais como, plastificantes, redutores de água, impermeabilizantes, escória de alto forno, cinza volante, microssílica e, via de regra, baixa relação água/cimento.” HELENE, 1992

- Armadura:

A armadura pode ser entendida como o elemento estrutural formado pela associação de diversas peças de aço, presentes em uma estrutura de concreto armado. A armadura é um conjunto de barras, cordoalhas, vergalhões e estribos que são alocados dentro do concreto aumentando assim sua rigidez e resistência à tração. A armadura é constituída de uma liga metálica de ferro e carbono, ela pode ser uma armadura passiva (sem protensão) ou uma armadura ativa (com protensão), pré ou pós-tensionada.

- Concreto Armado:

O concreto armado é a junção do concreto e armadura, com o envolvimento do concreto sobre a armadura e a união desses dois elementos se dando de forma aderente.

Segundo BASTOS, 2006 “com esse material composto (concreto e armadura – barras de aço), surge então o chamado “concreto armado”, onde as barras da armadura absorvem as tensões de tração e o concreto absorve as tensões de compressão, no que pode ser auxiliado também por barras de aço (caso típico de pilares, por exemplo). No entanto, o conceito de concreto armado envolve ainda o fenômeno da aderência, que é essencial e deve obrigatoriamente existir entre o concreto e a armadura, pois não basta apenas juntar os dois materiais para se ter o concreto armado. Para a existência do concreto armado é imprescindível que haja real solidariedade entre

ambos, o concreto e o aço, e que o trabalho seja realizado de forma conjunta. Em resumo, pode-se definir o concreto armado como a união do concreto simples e de um material resistente à tração (envolvido pelo concreto) de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes. De forma esquemática pode-se indicar que concreto armado é: Concreto armado = concreto simples + armadura + aderência.”

- Graute:

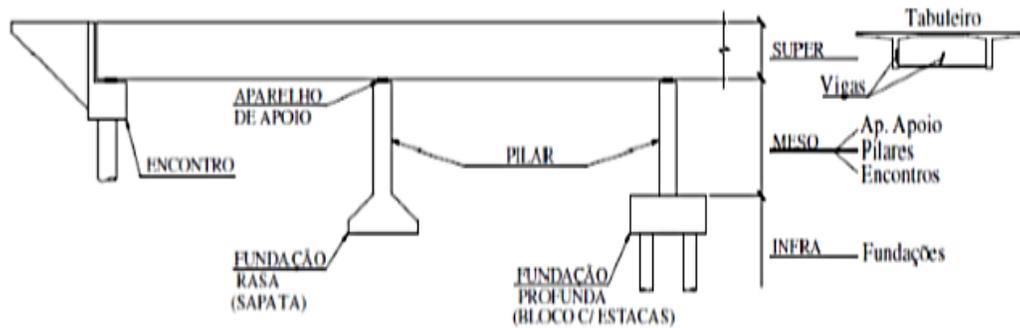
O graute é uma espécie de concreto ou argamassa de alta resistência, que serve para preencher vazios de concretagem.

“O graute é um material fluido e auto adensável no estado recém misturado, formulado para preencher cavidades e subsequentemente tornar-se aderente, resistente e sem retração no estado endurecido. Um graute de base de cimento é constituído por cimento Portland comum (classe 32 ou 40), composto (classe 32 ou 40) ou de Alta Resistência Inicial (CP V – ARI), agregados de granulometria adequada, aditivos expansores e aditivos superplastificantes. Por suas características de fluidez, boa aderência, baixa retração e alta impermeabilidade, este tipo de graute é conveniente para reparos em locais de acesso difícil ou em casos de seções densamente armadas.” HELENE, 1992

3.2 Elementos construtivos presentes em OAE's

Elementos construtivos são as partes componentes de uma estrutura ou obra. Aqui será tratado sobre os elementos construtivos referentes, especificamente, às passarelas, pontes e viadutos em concreto armado. Na Figura 1 estão representados os principais elementos construtivos constituintes de todas, ou quase todas, essas estruturas.

Figura 1 – Elementos construtivos gerais de uma OAE



Fonte: Autor desconhecido

A superestrutura é composta pelas vigas e tabuleiro. As vigas podem ser de dois tipos: as longarinas, no sentido longitudinal do tabuleiro e/ou as transversinas, no sentido transversal ao tabuleiro. O tabuleiro recebe a ação direta das cargas e as transmite para as vigas. A superestrutura é responsável por vencer os vãos livres. A meso estrutura é composta pelos aparelhos de apoio, pilares e encontros. O aparelho de apoio recebe e transmite as reações de apoio para os pilares e permite certos deslocamentos da superestrutura. Por sua vez os pilares recebem as reações transmitidas pelos aparelhos de apoio e dão sustentação e suporte à superestrutura. Já os encontros, localizados nas extremidades das OAE's com os aterros da via, são responsáveis pela contenção e arrimo do solo. Por fim a infraestrutura, que consiste na fundação, recebe toda carga e reação de apoio da meso e superestrutura e assim as transmite para o solo.

A Figura 1 não apresenta o guarda corpo (elemento responsável por garantir a segurança dos pedestres que transitam pela OAE, impedindo possíveis quedas) portanto, na Figura 2, está contemplado esse elemento construtivo, contornado em vermelho para destaque.

Figura 2 – Guarda-corpo



Fonte: Autor (2019)

3.3 Patologias nas estruturas

Aqui serão tratadas as principais patologias e irregularidades que acometem as estruturas de concreto armado e que serão frequentemente encontradas nas OAE's estudadas.

- Corrosão e oxidação

Em linhas gerais, corrosão e oxidação é a perda progressiva de massa e seção do metal por meio de reações químicas. Como consequência desse processo, o aço pode chegar a perder suas propriedades de resistência e sua principal função, que é resistir aos esforços de tração.

A diferença básica entre esses dois processos é que a corrosão ocorre em meio aquoso e a oxidação em meio seco. No meio seco por meio do contato com o oxigênio e no meio aquoso por meio do contato com a água e sais minerais, sendo este último mais significativo, pois apresenta maior perda de material (mais corrosão).

Segundo ANDRADE, 1992, o revestimento de concreto é uma barreira física que protege a armadura, mas, também, a elevada alcalinidade do concreto desenvolve sobre o aço uma camada passiva que o mantém inalterado por um tempo indefinido. Estas substâncias situam o pH da fase aquosa contida nos poros em valores entre 12,6 e 14. Nesses valores de pH e em presença de uma certa quantidade de oxigênio, o aço das armaduras encontra-se passivado. Mas ainda que o revestimento das armaduras seja uma barreira física, esta proteção é permeável e, em certa medida, e permite o acesso de elementos agressivos até o aço.

- Carbonatação

Entre as patologias que podem acometer as estruturas de concreto armado, a carbonatação é uma das mais estudadas e preocupantes. O problema, que resulta em mudanças na microestrutura e na diminuição do pH do concreto, é capaz de reduzir a proteção passiva das armaduras, aumentando a vulnerabilidade à corrosão e comprometendo a durabilidade da estrutura.

A carbonatação é um fenômeno lento que é ocasionado pelas reações químicas resultantes da interação entre componentes como o CO₂ (gás carbônico), presentes na

atmosfera, com os produtos da hidratação do cimento, formando um composto chamado ácido carbônico (H_2CO_3). Ao reagir com a pasta de cimento hidratada, esse ácido resulta em carbonato de cálcio (CaCO_3) e água, dando origem à carbonatação. A primeira consequência dessa reação é a redução do pH do concreto de valores ideais entre 12,6 e 13,5 para números próximos de 8,5. Os danos causados são vários, como fissuração do concreto, destacamento do cobrimento do aço, redução da seção da armadura e perda de aderência do aço com o concreto.

A carbonatação manifesta-se inicialmente por depósitos brancos na superfície do concreto e fica mais evidente quando surgem fissuras na peça e deslocamento da camada de concreto de recobrimento. A profundidade e a velocidade do fenômeno dependem de características do próprio concreto, como o teor de concreto e o pH. Também dependem das condições de exposição, como alta concentração de gás carbônico e umidade relativa do ar.

A obrigatoriedade da presença de gás carbônico para a carbonatação ocorrer faz com que o fenômeno tenha maior incidência em grandes centros urbanos e em solos de garagem. Em contrapartida, em aplicações submersas, a patologia não acontece, já que a água preenche completamente os poros do concreto. Como as reações de carbonatação dependem da presença de água e de oxigênio, o fenômeno tende a avançar mais rapidamente quando os poros são parcialmente ocupados por ar e por água.

A carbonatação avança de fora para dentro no concreto, por meio de uma frente carbonatada. Quando atinge a profundidade das armaduras, provoca desestabilização da camada passiva protetora, propiciando, assim, o início da corrosão.

Para que a carbonatação aconteça, três fatores precisam estar dentro do concreto. São eles: umidade, gás carbônico e oxigênio. A seguir, veja todas as etapas do processo de carbonatação do concreto:

1. H_2O entra nos poros do concreto pelas fissuras;
2. Forma-se uma fina camada de água;
3. A água dissolve o Ca formando $\text{Ca}(\text{OH})_2$;
4. CO_2 entra no poro pelas fissuras;
5. CO_2 reage com H_2O , formando H_2CO_3 (ácido carbônico);
6. H_2CO_3 reage com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$ formando CaCO_3 (cristais);

7. O consumo de Ca diminui o pH do concreto, deixando o aço exposto à corrosão.

Além do processo corrosivo que as ferragens do concreto sofrerão, com o passar dos anos, ocorrerá uma expansão volumétrica do ponto afetado, aumentando o tamanho da trinca, gretagem ou “bicheira”, o que contribuirá para a degradação do concreto.

Quando pensamos em peso molecular, temos:



Isto quer dizer que quando o hidróxido de cálcio reage com o gás carbônico, pela reação de carbonatação, tendo como resultado o carbonato de cálcio, podemos notar um aumento de mais de 35% de massa e, conseqüentemente, no volume.

Como dois corpos não ocupam ao mesmo tempo o mesmo lugar no espaço, ocorrerão sucessivas micro expansões no concreto neste local, levando à degradação do sistema.

- Segregação

“Ao método de concretagem estão relacionadas, entre outras, as falhas no transporte, no lançamento e no adensamento do concreto, que podem provocar, por exemplo, a segregação entre o agregado graúdo e a argamassa, além da formação de ninhos de concretagem e de cavidades no concreto. Se uma nova quantidade de massa é lançada sobre uma superfície que já completou o processo de endurecimento, pode acontecer a segregação dos seus diversos componentes (efeito de ricochete). O lançamento em plano inclinado pode levar ao acúmulo de água exsudada, o que ocasionará a segregação entre o agregado graúdo e a nata de cimento ou a argamassa, fazendo com que surjam pontos frágeis na estrutura, facilitando, assim, a ocorrência de focos de corrosão. A vibração e o adensamento do concreto são outras tarefas que, se não forem corretamente realizadas, podem levar à formação de vazios na massa (ninhos e cavidades).” SOUZA e RIPPER, 1998

- Fissuras, trincas e rachaduras

Trincas e rachaduras podem se enquadrar dentro do termo técnico fissura, mas para uma melhor separação dos termos, será definido fissura como sendo aberturas finas

e alongadas na superfície do concreto não maior que 1mm, trincas como sendo aberturas mais profundas e acentuadas, entre 1mm e 3mm, separando o elemento em partes e rachaduras (as mais graves) como sendo aberturas grandes, profundas e pronunciadas, maiores que 3mm e fáceis de serem notadas.

“As fissuras podem ser consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto, sendo mesmo o dano de ocorrência mais comum e aquele que, a par das deformações muito acentuadas, mais chama a atenção dos leigos, proprietários e usuários aí incluídos, para o fato de que algo de anormal está a acontecer.

É interessante observar que, no entanto, a caracterização da fissuração como deficiência estrutural dependerá, sempre, da origem, intensidade e magnitude do quadro de fissuração existente, posto que o concreto, por ser material com baixa resistência à tração, fissurará por natureza, sempre que as tensões trativas, que podem ser instaladas pelos mais diversos motivos, superarem a sua resistência última à tração.

Portanto, ao se analisar uma estrutura de concreto que esteja fissurada, os primeiros passos a serem dados consistem na elaboração do mapeamento das fissuras e em sua classificação, que vem a ser a definição da atividade ou não das mesmas (uma fissura é dita ativa, ou viva, quando a causa responsável por sua geração ainda atua sobre a estrutura, sendo inativa, ou estável, sempre que sua causa se tenha feito sentir durante um certo tempo e, a partir de então, deixado de existir).” SOUZA e RIPPER, 1998

- Disgregação (desplacamento ou esfoliação)

Segundo PIANCASTELLI a “disgregação, deslocamento ou esfoliação caracteriza-se pela ruptura e destacamento do concreto superficial, principalmente das partes salientes da peça. O fenômeno ocorre em função do surgimento de tensões de tração acima da resistência do concreto. É importante notar que o concreto disgregado é um concreto são. A disgregação é normalmente provocada:

1. pela expansão provocada pela corrosão das armaduras;
2. pelas deformações provocadas por cargas excessivas, normalmente pontuais;
3. pelo congelamento de águas retidas;

4. por desagregações internas (como na reação álcali-agregado \Rightarrow expansão do agregado-caso perigoso);
5. impactos;
6. cavitação;
7. expansão resultante da reação álcali-agregado”

- Vegetação Patológica

“As ações biológicas, embora possam desempenhar papel particularmente importante como agentes de deterioração em pontes e em construções rurais, também atuam de maneira grave em edifícios localizados nos grandes centros urbanos. Alguns desses agentes causadores da deterioração e da desagregação do concreto são o crescimento de vegetação - cujas raízes penetram principalmente através de pequenas falhas de concretagem, ou pelas fissuras e juntas de dilatação -, em certas partes da estrutura. Ao penetrarem no concreto e acharem o ambiente próprio ao seu desenvolvimento, vêm a ocupar o espaço dentro de uma massa estrutural, gerando tensões internas e fraturando o concreto.” SOUZA e RIPPER, 1998

- Manchas

Segundo PIANCASTELLI, as manchas são diferenciações de cor ou tonalidade na superfície dos concretos. As principais causas das manchas são:

1. umidade (infiltrações);
2. ação de cloretos;
3. presença de fungos;
4. incrustação de fuligem;
5. aditivos mal diluídos ou mal misturados.
6. lixiviação de óxidos de ferro de armaduras oxidadas.
7. partículas de solo carregadas pela água de percolação, ou nela dissolvidas.

- Umidade

A umidade em si não é uma patologia, mas ela pode desencadear uma série de outras patologias. A presença de umidade nas estruturas pode ser de origem interna, por exemplo uma tubulação hidráulica que se rompe, ou externa, como por exemplo umidade advinda do solo ou do ar somado a uma impermeabilização ineficiente. Dentre as patologias que a umidade pode desencadear, as principais são: bolhas, mofos ou bolores, manchas, lixiviação seguida de eflorescência, apodrecimento e o mais grave, corrosão das armaduras.

- Eflorescência

Eflorescência são manchas esbranquiçadas e com aspecto escorrido nas superfícies. De uma maneira simplificada, as eflorescências são depósitos cristalinos de sais de cor esbranquiçada que surgem na superfície do revestimento através de reações químicas de recristalização dos sais solúveis. Então, a condição inicial para que a eflorescência apareça é a existência de sal solúvel e ela é encontrada sempre que há a presença de cristais de sais solúveis e umidade. Assim, quando os cristais de sais solúveis entram em contato com a água, seja ela proveniente de chuvas, seja de empoçamentos, lavagens ou quaisquer outras fontes, ocorre a sua dissolução. Essa solução, por conta de diferentes níveis de concentração do sal, migra, através de processo osmótico, para a superfície e a evaporação da água resulta na formação dos depósitos salinos esbranquiçados, a chamada eflorescência.

Quando a recristalização ocorre na porção interna do material, em função da tipologia dos poros e do caminhamento (fluxo) entre estes, quer em alvenaria, quer em concreto, por exemplo, a quantidade da solução salina não consegue chegar à superfície e, conseqüentemente secar, criando assim, zonas de secagem e recristalização no interior ou na interface entre o elemento construtivo e seu revestimento, determinando assim, formações de novos cristais de sal. Estas formações (recristalizações) determinam aumento de volume interno nestas regiões, gerando pressões internas e os conseqüentes empoçamentos e deslocamentos superficiais, fenômeno este que chamamos de criptoflorescência.

Segundo GUTERRES, 2016 “os sais eflorescentes que contaminam as construções apresentam, geralmente, origem química alcalina, donde são identificados sulfatos e carbonatos terrosos alcalinos, além de cloretos. Os sais mais comuns encontrados em eflorescências são compostos por sulfatos e carbonatos de sódio, potássio, cálcio, magnésio e alumínio. Também podem ocorrer cloretos nas eflorescências.” Ainda segundo GUTERRES, 2016, “os cimentos utilizados como aglomerante de algumas argamassas possuem álcalis solúveis em água, donde os mais vulgares são o sódio e o potássio. Por outro lado, os sulfatos contidos nos cimentos contribuem para constituir a suspeita de que estes elementos podem ser tão significativos como os teores de álcalis para a manifestação de eflorescência. Com efeito, os processos modernos de fabricação de cimento induzem ao acréscimo de largas quantidades de sulfatos na manufatura deste produto.” A Tabela 1 de GUTERRES, 2016 traz os principais sais presentes nas eflorescências.

Tabela 1 - Características mais importantes das eflorescências

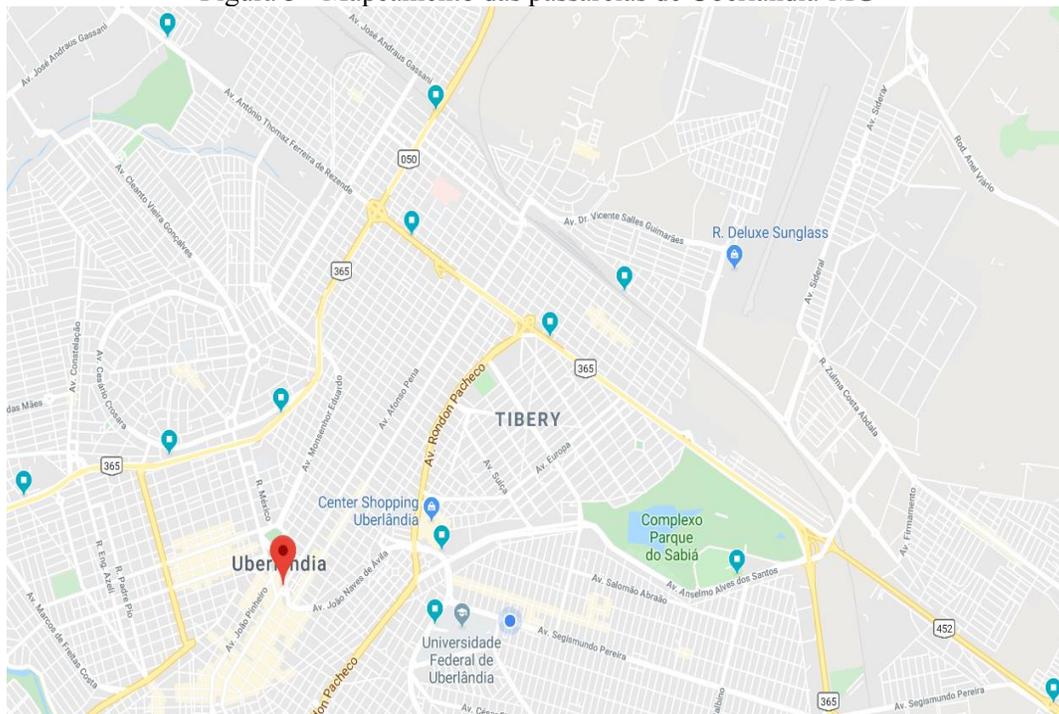
Natureza química das eflorescências			
Composição química	Fórmula química	Solubilidade em água	Provável fonte
Carbonato de cálcio	CaCO ₃	Pouco Solúvel	Carbonatação da cal lixiviada da argamassa e da argamassa de cal não carbonatada
Carbonato de magnésio	MgCO ₃		
Carbonato de potássio	K ₂ CO ₃	Muito Solúvel	Carbonatação dos hidróxidos alcalinos de cimento de elevado teor de álcalis
Carbonato de sódio	Na ₂ CO ₃		
Hidróxido de cálcio	Ca(OH) ₂	Solúvel	Cal liberada na hidratação do cimento
Sulfato de cálcio bi-hidratado	CaSO ₄ .2H ₂ O	Parcialmente solúvel	Hidratação do sulfato de cálcio do tijolo
Sulfato de magnésio	MgSO ₄	Solúvel	Tijolo e água de amassamento
Sulfato de cálcio	CaSO ₄	Parcialmente solúvel	
Sulfato de potássio	K ₂ SO ₄	Muito Solúvel	Reação tijolo-cimento-agregados / água de amassamento
Sulfato de sódio	Na ₂ SO ₄		
Cloreto de cálcio	CaCl ₂		Água de amassamento
Cloreto de magnésio	MgCl ₂		
Nitrato de potássio	KNO ₃		Solo adubado e/ou contaminado
Nitrato de sódio	NaNO ₃		
Nitrato de amônia	NH ₄ NO ₃		
Sais mais frequentes			

Fonte: GUTERRES (2016)

4 METODOLOGIA

Inicialmente foi realizado um mapeamento, buscando catalogar todas as OAE's de Uberlândia-MG. A Figura 3 apresenta o mapeamento das passarelas em azul, com destaque para a passarela eleita (Passarela Corina Junqueira Rezende) para compor o estudo, em vermelho.

Figura 3 - Mapeamento das passarelas de Uberlândia-MG



Fonte: Autor, 2019

A Figura 4 apresenta a passarela eleita para compor o estudo (Passarela Corina Junqueira Rezende) mais aproximada, em vermelho.

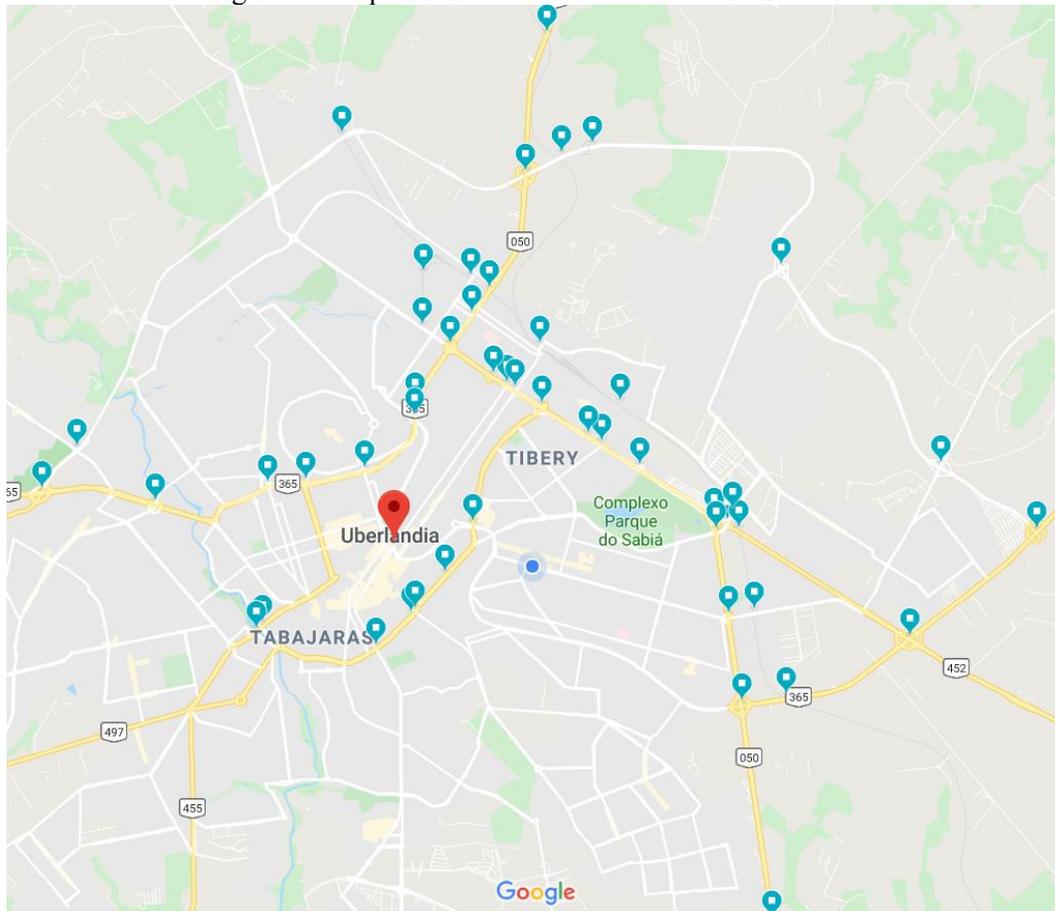
Figura 4 - Mapeamento: Passarela Corina Junqueira Rezende



Fonte: Autor, 2019

A Figura 5 apresenta o mapeamento dos viadutos em azul, com destaque para o viaduto eleito (Viaduto Alexandrino Garcia) para compor o estudo, em vermelho.

Figura 5 - Mapeamento dos viadutos de Uberlândia-MG



Fonte: Autor, 2019

A Figura 6 apresenta o viaduto eleito para compor o estudo (Viaduto Alexandrino Garcia) mais aproximado, em vermelho.

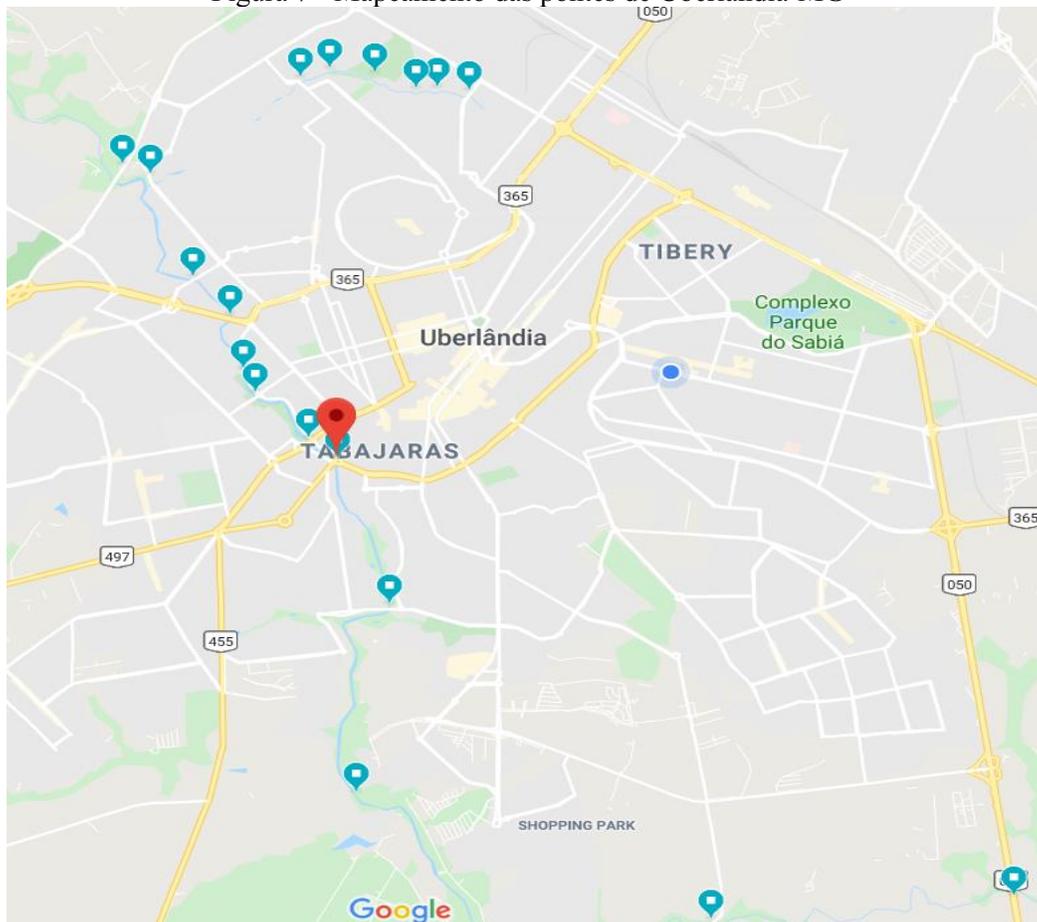
Figura 6 - Mapeamento: Viaduto Alexandrino Garcia



Fonte: Autor, 2019

A Figura 7 apresenta o mapeamento das pontes em azul, com destaque para a ponte eleita (Ponte do Praia) para compor o estudo, em vermelho.

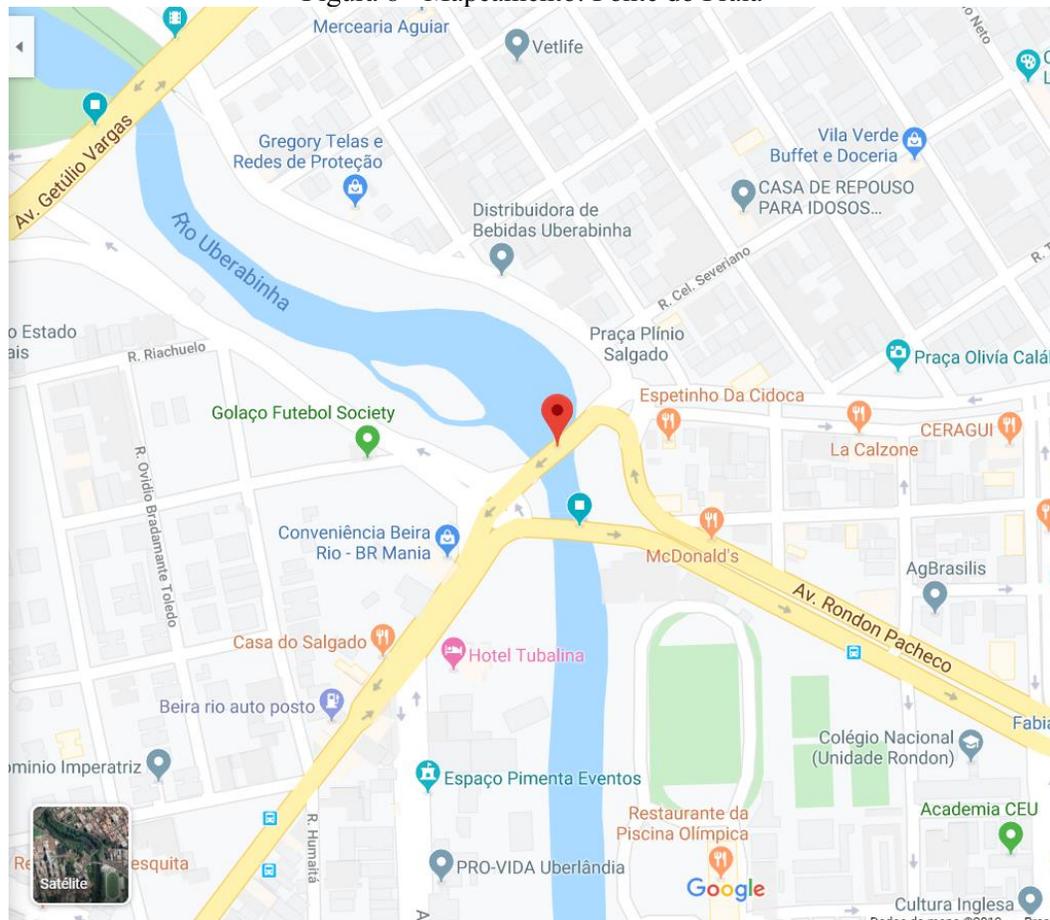
Figura 7 - Mapeamento das pontes de Uberlândia-MG



Fonte: Autor, 2019

A Figura 8 apresenta a ponte eleita para compor o estudo (Ponte do Praia) mais aproximada, em vermelho.

Figura 8 - Mapeamento: Ponte do Praia



Fonte: Autor, 2019

Após a eleição das OAE's, foram realizadas visitas de inspeção de 23/04/2019 à 08/09/2019 à 18 dessas OAE's. Ao longo dessas visitas, foi desenvolvida a coleta de dados: tanto na forma de *checklists*, quanto na forma de registros fotográficos.

Foi então selecionado uma estrutura de cada tipologia, uma passarela, um viaduto e uma ponte, todas em concreto armado, para compor o presente estudo. As OAE's eleitas, foram as que apresentaram anomalias no estado mais grave.

As patologias encontradas nessas estruturas foram identificadas, classificadas e constatadas conforme seu grau de desenvolvimento, então foram correlacionadas com as possíveis causas originárias, condições de uso e tráfego. Por fim, foi feita uma proposta de soluções para as patologias encontradas, de modo que fossem viáveis economicamente, exequíveis e apresentassem resultados satisfatórios.

5 ANÁLISE DA PASSARELA CORINA JUNQUEIRA REZENDE

A passarela Corina Junqueira Rezende (Figura 9) é localizada sobre a Avenida Afonso Pena, ao lado do Terminal Central, servindo como entrada e saída do mesmo. O entorno da passarela é caracterizado por tráfego intenso e de veículos pesados (visto que está situada ao lado de um terminal de ônibus) principalmente nos horários de pico (11:30 – 13:30 e 17:30 – 19:30). A Avenida Afonso Pena, é uma avenida importante para o fluxo na cidade e, portanto, também caracterizada por forte tráfego.

Por ser uma estrutura concebida para o trânsito de pedestres, ela, usualmente, não recebe cargas variáveis relevantes, atuando, em si, praticamente as cargas permanentes da própria passarela.

A estrutura da passarela é em concreto armado. A passarela possui guarda corpo de 1,2m, passeio em concreto com presença de algumas fissuras, possui cortina de concreto como estrutura de contenção, juntas de dilatação e aparelhos de apoio em boas condições.

Figura 9 - Passarela Corina Junqueira Rezende



Fonte: Autor (2019)

5.1 Patologias encontradas, causas, efeitos e diagnóstico

A passarela Corina Junqueira apresentou várias patologias de nível grave. É possível inferir, inicialmente, com apenas uma análise superficial do conjunto do levantamento fotográfico,

que as principais causas das patologias encontradas nessa passarela, são advindas da inexistência de um sistema de drenagem eficiente donde, conseqüentemente, a forte presença de umidade em seu interior, as falhas de concretagem e a grande proximidade entre as barras de aço longitudinais, são os principais fatores determinadores de anomalias.

Nas Figuras 10 à 13 estão representadas as faces inferior e lateral do tabuleiro, nelas nota-se a forte presença de umidades, sujidades diversas, marcas de colisões (impactos acidentais), eflorescências, carbonatação, empolamentos, deslocamentos, oxidação e corrosão da armadura estrutural. Como é possível observar na Figura 10 a patologia de grau mais grave e, facilmente identificada, são as barras de aço expostas, sendo possível visualizar nichos de concretagem e barras sem cobertura de concreto.

Figura 10 - Patologias na face inferior do tabuleiro



Fonte: Autor (2019)

A partir desses registros é possível inferir algumas coisas: é possível afirmar que durante a vida útil dessa passarela houve forte presença de umidade em seu interior estrutural e que isso, provavelmente, ainda exista. Uma possível causa para a presença de umidade no interior estrutural da passarela é a falha ou a inexistência de drenagem e sistema impermeabilizante na parte superior do tabuleiro, assim a água ao longo do tempo foi penetrando na estrutura através da porosidade do concreto, das falhas executivas da estrutura, das solicitações do ambiente e, também, por fissuras nas faces laterais, cáries, vícios construtivos e possíveis

acidentes (choques) sofridos pela estrutura, advindos dos veículos que trafegam abaixo da mesma.

Dessa forma é muito provável que essa umidade juntamente com os choques e impactos dos veículos tenham causado micro fissuras, fissuras e, conseqüentemente, pela penetração de águas e sujidades, por reações posteriores, a oxidação e o deslocamento do concreto. A presença de materiais orgânicos, como limo e sujidade só confirmam a forte presença de água e as reações advindas das suas várias combinações na estrutura as quais podem determinar mais zonas de deslocamento na massa do concreto. A Figura 11, mostra com mais detalhe um ninho de concretagem com deslocamento, segregações, limo (porção verde) e sujidade (manchas escuras).

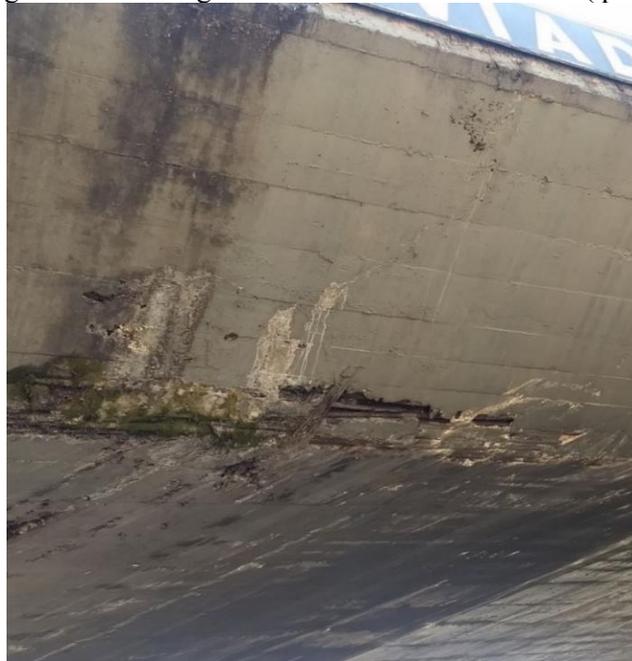
Figura 11 - Patologias na face inferior do tabuleiro (quina)



Fonte: Autor (2019)

Na Figura 12 está apresentado a mesma porção do tabuleiro, porém em outro ângulo e com mais ênfase às eflorescências e/ou carbonatações, que são as manchas esbranquiçadas e escorridas.

Figura 12 – Patologias na face inferior do tabuleiro (quina)



Fonte: Autor (2019)

Nota-se na Figura 13 a presença de uma barra rompida ou solta, provavelmente como resultado de uma colisão veicular e é possível visualizar em maior detalhe a oxidação das barras de aço. Além disso as barras de aço estão demasiadamente próximas umas as outras e não pareciam ter cobertura suficiente de concreto, podendo esses dois fatos serem oriundos de erro de projeto ou de execução (mais provável).

Figura 13 - Patologias na face inferior do tabuleiro (quina)



Fonte: Autor (2019)

Por conta disso, ocorreu, em um primeiro momento, a segregação do concreto (separação da pasta de cimento com os agregados) em diferentes pontos do tabuleiro, mas principalmente nas quinas, pois o pouco espaçamento entre as barras pode ter impedido a penetração dos agregados mais graúdos, permitindo apenas o preenchimento pelos agregados miúdos e a pasta de cimento. Essa segregação inicial, com a ajuda da umidade e dos impactos, evoluiu para uma esfoliação e depois deslocamento. Também é possível que essa segregação tenha ocorrido por falhas de traço do concreto, dosagem, mal adensamento e/ou, até mesmo, falhas na montagem das formas, de modo que esta última permitisse ou favorecesse o escoamento da pasta de cimento através da má calafetação das formas, o que pode servir de explicativo, juntamente com as colisões para a exposição das barras de aço nas quinas do tabuleiro ser mais frequente.

Por conta da umidade e forte presença de gás carbônico no ambiente, há também formações de zonas de carbonatação na estrutura do concreto, como visto nas Figuras 12 e 13 com detalhe e também nas Figuras 14 e 15. Também é possível, pelo transporte de soluções salinas, a identificação de eflorescências, devido a presença de sais solúveis, quer no sistema construtivo e/ou por contaminações exteriores, quer ambientais, quer pelo uso da própria estrutura peatonal. Na Figura 14 está representado um dos encontros da passarela com a presença de segregações, carbonatações e eflorescências, manchas e algumas fissuras.

Figura 14 – Segregação, calcinação, eflorescências e fissuras



Fonte: Autor (2019)

Na Figura 15 está apresentado a face inferior do tabuleiro com ninhos de concretagem, barras oxidadas, segregação do concreto, fissuras, eflorescência e/ou carbonatação.

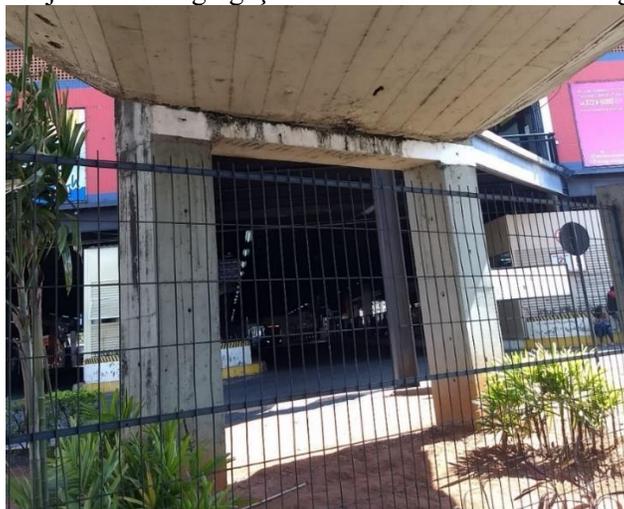
Figura 15 - Patologias diversas na face inferior do tabuleiro



Fonte: Autor (2019)

A Figura 16 mostra a presença de sujidades e um pouco de disgregação do concreto no encontro de uma viga de apoio (console) com tabuleiro.

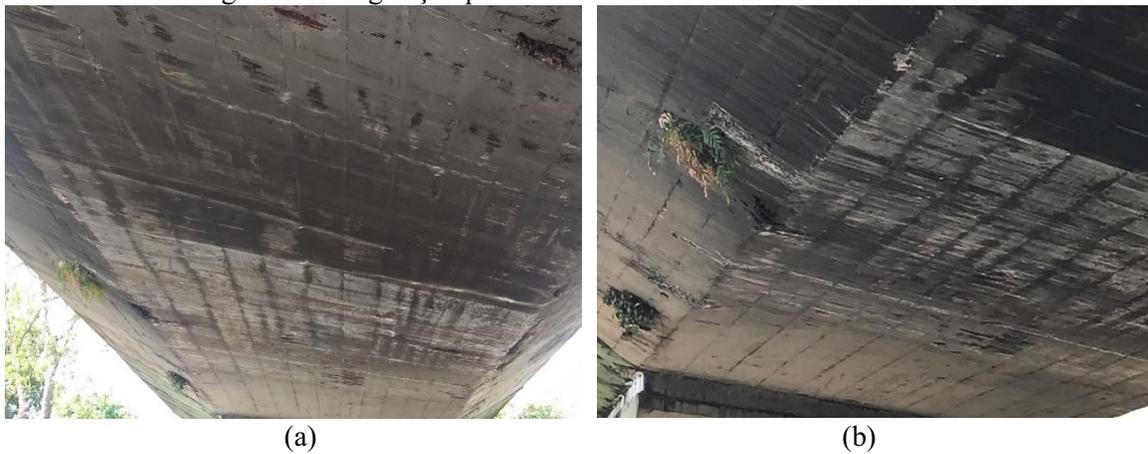
Figura 16 - Sujidades e disgregação do concreto no encontro viga-tabuleiro



Fonte: Autor (2019)

A Figura 17 evidencia as mossas de colisões de veículos e a presença de vegetação parasitária que confirma ainda mais a presença de umidade no interior do tabuleiro. Ainda que a altura real do greide (4,03m), medida com trena eletrônica, fosse maior do que o indicado na placa da Figura 18, os veículos mais altos se chocaram com a estrutura do tabuleiro.

Figura 17 - Vegetação parasitária e mossas de colisão de veículos



Fonte: Autor (2019)

Figura 18 - Placa de sinalização de altura



Fonte: Autor (2019)

A Figura 19 mostra o passeio com poucas, mas importantes fissurações.

Figura 19 - Passeio com alguma fissuração



Fonte: Autor (2019)

A Figura 20 apresenta uma proteção metálica na junta de dilatação. Ambos os pontos, tanto a junta quanto o passeio com as fissuras, favoráveis a penetração de umidades diversas, o que pode contribuir às patologias identificadas na face inferior da passarela.

Figura 20 – Junta de dilatação com cobrimento metálico



Fonte: Autor (2019)

6 ANÁLISE DA VIADUTO ALEXANDRINO GARCIA

O viaduto Alexandrino Garcia (Figura 21) está localizado na Avenida Américo Salvador Tangari sobre a Avenida Afonso Pena, avenida essa já mencionada e caracterizada anteriormente. O entorno do viaduto e o próprio viaduto em si são, consideravelmente, movimentados, possuem tráfego intenso e de veículos pesados e apresentam picos nos horários de *rush*.

A estrutura do viaduto é concebida em concreto armado, possui passeio para pedestres em concreto, guarda corpo metálico com 1,1m, não possui defensas, possui 6 faixas de rolamento asfáltico (3 em cada sentido), cortina de concreto como estrutura de contenção e encontros, juntas de dilatação e aparelho de apoio, ambos em boas condições.

Figura 21 - Viaduto Alexandrino Garcia



Fonte: Autor (2019)

6.1 Patologias encontradas, causas, efeitos e diagnóstico

Como podemos constatar na Figura 22, as faixas de rolamento e o passeio encontram-se em bom estado de conservação.

Figura 22- Condição das faixas de rolamento e passeio



Fonte: Autor (2019)

Porém ao analisar a parte inferior do viaduto, foi possível encontrar diversas patologias de níveis médios e graves no tabuleiro, mas principalmente nos pilares de sustentação e nos pilares que compõem a cortina de concreto dos encontros. É possível notar na Figura 23 perdas da superfície do concreto na face inferior do tabuleiro, com a exposição e oxidação das armaduras, carbonatação do concreto, eflorescência, algumas fissuras e mossas de impactos de veículos pesados com o tabuleiro.

Figura 23 - Patologias diversas na face inferior do tabuleiro



Fonte: Autor (2019)

Numa análise mais aprofundada, é possível concluir que: a presença de infiltrações de águas diversas e de gás carbônico dos veículos tiveram sua contribuição na formação de calcinações, determinando algum deslocamento na face inferior do tabuleiro porém, a principal causa da perda de massa do concreto deveu-se a colisão de veículos grandes e pesados, como ônibus e caminhões. Isto se deve ao fato de que diferentemente da Passarela Corina Junqueira Rezende, anteriormente analisada, esses buracos na quina do tabuleiro não estão espalhados em vários lugares diferentes e a umidade neste viaduto não é tão presente quanto na passarela, visto a redução drástica de sujidades e vegetação parasitária. Mas ainda, como na passarela, este viaduto também apresenta espaçamento pequeno entre as barras de aço e tem um cobrimento de armadura insuficiente, prejudicando assim o envolvimento do concreto com a armadura.

Como descrito anteriormente, estas falhas podem ter sido provenientes tanto do projeto quanto da execução, mas o fato é que o adensamento do concreto e a cobertura da armadura, ficam prejudicados como já mencionado.

Um outro fator que pode ser contribuinte para a existência dessas falhas na massa de concreto é a questão das formas, também já discutidas quando da passarela antes apresentada. Já que esses deslocamentos e nichos estão mais agravados nas quinas do tabuleiro, é provável que

falhas na montagem das formas possam ter deixado escoar, pelas discontinuidades, a nata do concreto.

Já na Figura 24 nota-se, também na face inferior do tabuleiro, mais algumas fissuras, segregação e deslocamento do concreto, exposição de alguns estribos por insuficiência na camada de cobertura da estrutura e alguma carbonatação. É provável que o cobrimento insuficiente somado a um mal adensamento do concreto causou alguma segregação e isso tudo, somado a presença de umidade, resultou em carbonatação e/ou eflorescências (através da solubilização, transporte e recristalização de sais solúveis), pode ter ocorrido, também, expansões dentro do concreto, quer por reações álcali-agregado, quer por expansão advinda da reação de corrosão das armaduras, que culminam em deslocamentos na superfície do concreto.

Figura 24 - Patologias diversas na face inferior do tabuleiro



Fonte: Autor (2019)

Além desses fatores, a falta de sinalização indicando a altura do greide é outro agravante. Com a ajuda de uma trena eletrônica mediou-se o greide, que resultou em 4,30m. A falta de uma placa avisando a altura da OAE, pode fazer com que mais colisões aconteçam.

A Figura 25 mostra segregação e deslocamento do concreto, exposição e oxidação da armadura na base de um dos pilares.

Figura 25 - Segregação, corrosão e deslocamentos na base de um pilar



(a)

(b)

Fonte: Autor (2019)

Muito provável que a segregação do concreto, advinda de falhas executivas (adensamento inadequado e/ou escoamento da nata do cimento) tornou a região segregada e mais frágil. Ao mesmo tempo, facilitou a entrada de umidades proveniente de chuva, empoçamento na base do pilar, umidade ascensional advinda do solo e/ou urina humana e de animais, sendo estas duas últimas, carregadas de sais solúveis formadores de eflorescências e/ou criptoflorescências, fortemente danosas à massa do concreto e à armadura. Além dessas anomalias, as reações de carbonatação (região mais esbranquiçada) derivada da cal livre do cimento e de corrosão por oxidação da armadura, também reações expansivas, determinam o deslocamento do concreto massa, donde a perda da camada superficial ocorrida determina o agravamento, por retroalimentação, de todo o ciclo deteriorativo

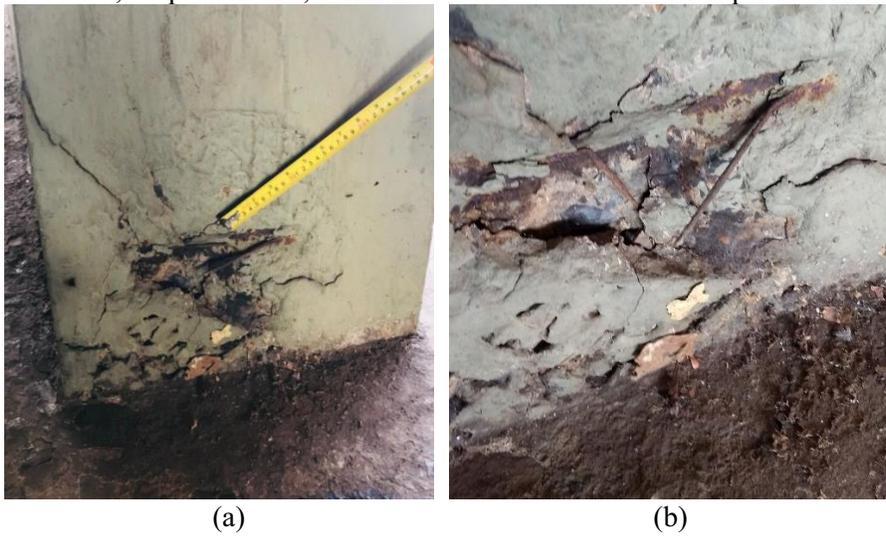
As Figuras 26 a 29, trazem exemplos de mais alguns pilares com patologias na base, junto ao solo, similares às descritas anteriormente, tendo causas e efeitos de mesmo grau e importância.

Figura 26 - Deslocamento, exposição e corrosão da armadura na base de um pilar



Fonte: Autor (2019)

Figura 27 - Fissuras, deslocamento, corrosão da armadura e estribo rompido na base de um pilar



Fonte: Autor (2019)

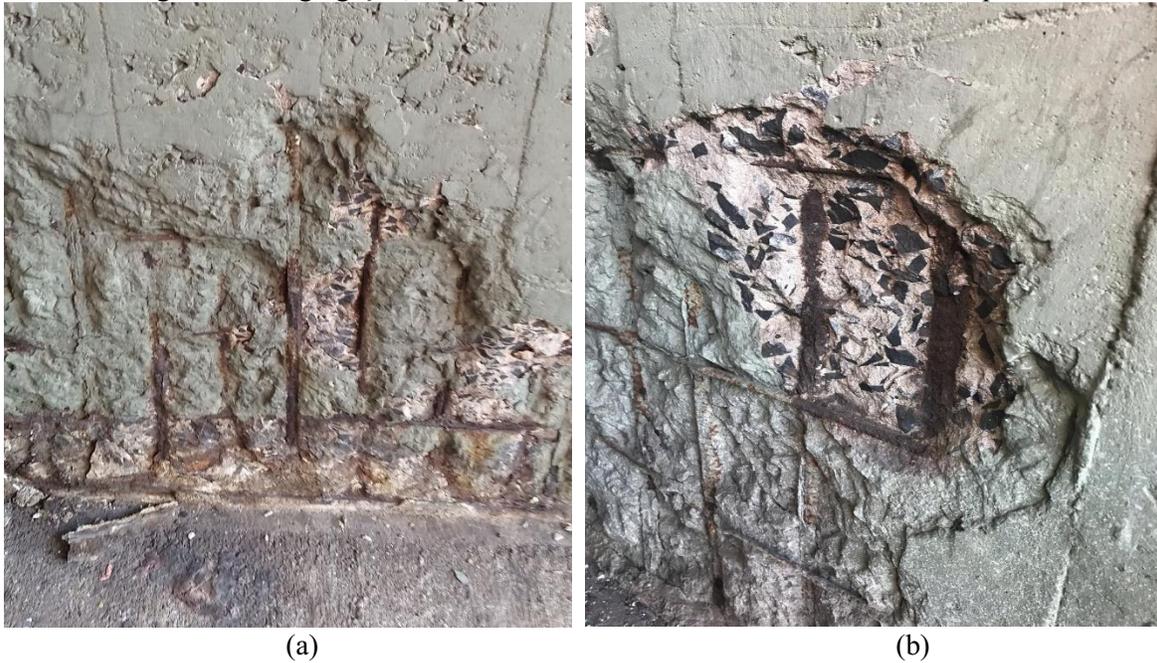
Figura 28 - Segregação, deslocamento com exposição e corrosão da armadura na base de um pilar



Fonte: Autor (2019)

Na Figura 29 está apresentado a base de um pilar com segregação e deslocamento do concreto e exposição e corrosão das armaduras. Na Figura 29 (b) é possível ver que parte da barra de aço (parte mais escura) foi tão agredida pela oxidação que já apresenta perda de massa no diâmetro da área de aço, inviabilizando a sua seção ativa.

Figura 29 - Segregação, deslocamento e corrosão severa na base de um pilar



Fonte: Autor (2019)

As Figuras 30 e 31, mostram um mesmo pilar que apresenta patologias graves, do mesmo modo que os pilares anteriores. A Figura 30 mostra a face de menor dimensão desse. A Figura 30(a) chama a atenção para uma linha de cisalhamento a 45° na face do pilar. Reforçando a possibilidade de um impacto lateral localizado, o que determinou um rápido ou abrupto deslocamento e as agressões subsequentes.

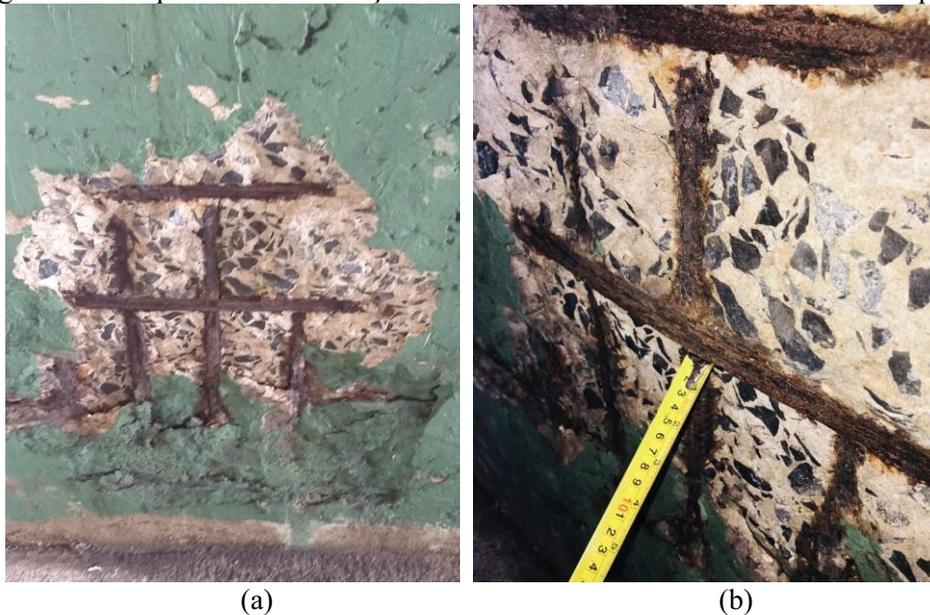
Figura 30 - Deslocamento à 45°, exposição e corrosão da armadura na base de um pilar



Fonte: Autor (2019)

A Figura 31 mostra a face de maior dimensão do mesmo pilar. Na Figura 31(b) é possível ver mais barras de aço reduzidas a minério de ferro, consequência de oxidação e corrosão agressivas.

Figura 31 - Deslocamento e redução da armadura à minério de ferro na base do pilar



Fonte: Autor (2019)

As Figuras 32 e 33 apresentam um pilar componente da estrutura de contenção dos encontros (cortina de concreto), com patologias na base. Esta patologia é advinda do processo

construtivo inadequado, o qual não observou o pouco espaçamento deixado à camada de cobertura das ferragens, determinando assim, a inexistência da proteção e a exposição das armaduras.

Figura 32 - Patologias diversas na base de um pilar pertencente à cortina de concreto dos encontros do viaduto



Fonte: Autor (2019)

Ocorreu, também, o vício construtivo da não observância ao pleno preenchimento da massa de concreto na base do pilar, determinando as chamadas “bicheiras”. Além do mais, a presença de um ressalto construído na base dos pilares, facilitou a ocorrência de empoçamentos sempre que houvesse chuva ou umidades diversas.

Figura 33 - Patologias diversas na base de um pilar pertencente à cortina de concreto dos encontros do viaduto (em detalhe)



Fonte: Autor (2019)

É bem provável que todos ou a maioria dos elementos estruturais mostrados, tenham sofrido, em algum nível, o processo de carbonatação, pelo fato de ser muito frequente a presença de gás carbônico e umidade na OAE's.

A Figura 34, mostra a cortina de concreto do encontro e a face inferior do tabuleiro com um conjunto de carbonatação e/ou eflorescências.

Figura 34 - Carbonatação e/ou eflorescências na cortina de concreto e face inferior do tabuleiro



Fonte: Autor (2019)

7 ANÁLISE DA PONTE DO RIO UBERABINHA (PONTE DO PRAIA)

A Ponte do Rio Uberabinha (Figura 35), popularmente conhecida como Ponte do Praia, está localizada na Avenida Geraldo Motta Batista, sobre o Rio Uberabinha. Das três OAE's que integram esse trabalho a Ponte do Praia foi a que menos apresentou identificação de patologias graves.

O entorno e a ponte em si são bem movimentados; possuindo tráfego intenso e de veículos pesados, principalmente nos horários de pico. Frequentemente o trecho da ponte sofre com engarrafamentos, pois seu acesso se dá pelo encontro de três outras vias, sendo uma delas a Avenida Rondon Pacheco.

Sua estrutura é em concreto armado, possui guarda corpo de 75cm, não possui defensas, possui 4 faixas de rolamento em concreto com algumas fissuras, deslocamentos e sem sinalização horizontal. Possui passeio também com fissuras, guarda corpo com armadura exposta (alguns com ruptura), juntas de dilatação necessitando reparo, aparelho de apoio em Neoprene necessitando substituição. Por fim possui como estrutura de contenção cortina de concreto e muro de arrimo, apresentando deslocamento do maciço de concreto.

Figura 35 - Ponte do Praia



Fonte: Autor (2019)

7.1 Patologias encontradas, causas, efeitos e diagnóstico

Nas Figuras 36 e 37 é possível ver, na face inferior do tabuleiro, eflorescências, exposição e oxidação/corrosão das ferragens.

Figura 36 - Eflorescência, carbonatação, deslocamento com exposição e corrosão dos estribos na face inferior do tabuleiro



Fonte: Autor (2019)

Na Figura 37 há um “furo” de drenagem improvisado, onde permanece uma barra da ferragem dentro da seção do furo.

Figura 37 - Eflorescência, carbonatação, manchas de ferrugem e tubo de drenagem com interferência de armadura



Fonte: Autor (2019)

Já a Figura 38, mostra mais carbonatação e/ou eflorescência na face inferior do tabuleiro.

Figura 38 - Eflorescência e carbonatação na face inferior do tabuleiro



Fonte: Autor (2019)

Como se trata de uma ponte, naturalmente a umidade presente na face inferior do tabuleiro, por ter o leito d'água muito próximo, é maior do que a umidade presente no ambiente de um viaduto ou passarela. Além disso os dutos de drenagem que serão mostrados mais a frente, apresentam obstrução severa tornando o sistema de drenagem falho, contribuindo mais ainda para que haja mais umidade penetrando no interior estrutural. É possível ver vários pequenos furos espalhados no concreto, esses furos são oriundos do próprio sistema de formas. Portanto, juntando-se a ação desses fatores (umidade + furos/microfissuras) tem-se como resultado a grande quantidade do conjunto carbonatação e/ou eflorescência presente nessa estrutura. Talvez não tenha sido feita uma impermeabilização adequada ou se ocorreu, já perdeu sua estanqueidade, determinando assim as anomalias identificadas.

A carbonatação e a eflorescência (essa determinada pela solubilização dos sais solúveis), enfraquecem o concreto e, juntamente com a umidade, causam a corrosão das armaduras e os consequentes deslocamentos, determinando uma maior exposição e corrosão da armadura.

A Figura 39, mostra o deslocamento do maciço de concreto em um dos encontros da ponte, conforme citado anteriormente. Nota-se segregações do concreto e alguns deslocamentos. É provável que a principal causa desse deslocamento seja proveniente de recalques

diferenciais da fundação e acomodação do solo, quer do solo que envolve a contenção, quer do solo contido.

Figura 39 - Deslocamento do maciço de concreto da estrutura de contenção em um dos encontros da ponte



(b)

Fonte: Autor (2019)

A Figura 40 mostra o estado do aparelho de apoio em Neoprene. Bastante degradado, desgastado e deformado. Ao tocá-lo pode-se constatar uma consistência mais dura do que o normal, mais plástica que elástica, um pouco árido, indicando a falência de sua função amortecedora. Aparelhos de apoio têm sua vida útil reduzida em relação à vida útil de uma OAE como um todo, portanto requerem substituição de tempos em tempos.

Figura 40 - Estado do aparelho de apoio da ponte



Fonte: Autor (2019)

As Figuras 41 mostra as juntas de dilatação obstruídas com sujidades e detritos que vão se acumulando ao longo do tempo e se compactando. Portanto, necessitam da substituição por novos cordões de mastique.

Figura 41 - Junta de dilatação na faixa de rolamento de concreto



Fonte: Autor (2019)

A Figura 42 um tubo de drenagem 100% obstruído com lixos, folhas e sujeiras diversas. Portanto, necessitam limpeza.

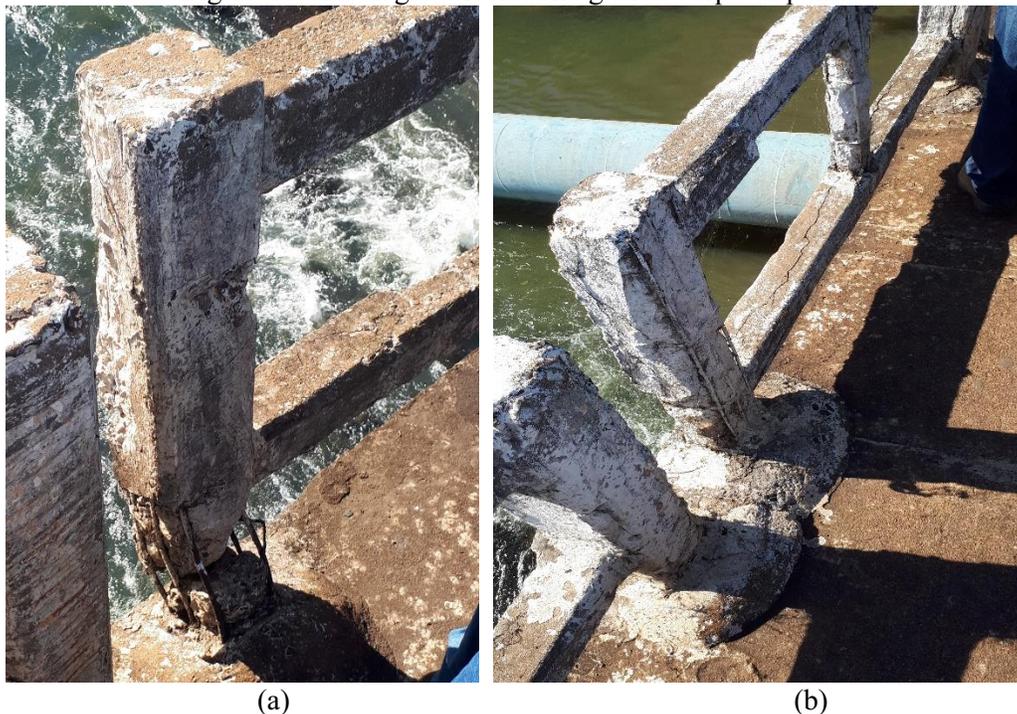
Figura 42 - Tubo de drenagem obstruído



Fonte: Autor (2019)

Por fim a Figura 43 mostra a situação do guarda-corpo de concreto da ponte. Alguns quebrados, outros com a armadura completamente exposta, cheio de fissuras e deslocamentos. É possível que alguns tenham sofrido colisão de veículos, como o da Figura 43(a) mas, no geral a umidade foi um fator presente em toda a extensão do guarda-corpo para que as patologias evoluíssem. Também é provável que esses guarda-corpos tenham sofrido carbonatação, por conta da alta presença de gás carbônico dos veículos que frequentemente se engarrafam nessa ponte. A situação em que se encontram esses guarda-corpos comprometem, fortemente, a segurança dos pedestres. Além disso sua altura (75cm) é baixa e está em desacordo com as normas técnicas de segurança.

Figura 43 - Patologias diversas no guarda-corpo da ponte



Fonte: Autor (2019)

8 SOLUÇÕES RECOMENDADAS PARA TRATAR AS ANOMALIAS

As soluções aqui propostas serão em torno das patologias mais graves ou mais recorrentes no presente estudo. De forma rápida e simples serão abordadas as possíveis soluções de terapia entorno das anomalias identificadas e suas possíveis causas.

Ao longo deste estudo foi possível perceber que as principais inconformidades e problemas encontrados nas OAE's, tiveram como fatores causadores mais relevantes a forte presença de umidade, a não estanqueidade do sistema estrutural e as falhas observadas, provavelmente, construtivas de espaçamento indevido entre as armaduras, mal adensamento e cobrimento insuficiente, como pôde ser notado ao longo da investigação.

Portanto, as principais e mais graves patologias presentes nas OAE's abordadas, foram: segregação do concreto acompanhada de alguma exposição de armadura e ninhos de concretagem, eflorescência e carbonatação do concreto, oxidação e corrosão das armaduras, fissuração do concreto e, conseqüentemente, derivado dessas anomalias, deslocamentos. Por fim com menor relevância, tem-se as manchas e vegetações patológicas (plantas parasitárias e sujidades). A Tabela 2 indica quais são as patologias presentes em cada OAE.

Tabela 2 – Patologias presentes em cada OAE

PATOLOGIAS	OBRAS DE ARTES ESPECIAIS		
	Passarela Corina Junqueira	Viaduto Alexandrino Garcia	Ponte Rio Uberabinha
Mesoestrutura			
Corrosão e Oxidação	-	X	-
Carbonatação e Eflorescência	X	X	X
Segregação	X	X	X
Fissuras, trincas e rachaduras	-	X	X
Deslocamento	-	X	-
Vegetação parasitária	-	-	-
Manchas	X	X	X
Umidade	X	X	-
Aparelho de apoio (inadequado)	-	-	X
Superestrutura			
Corrosão e Oxidação	X	X	X
Carbonatação e Eflorescência	X	X	X
Segregação	X	X	-
Fissuras, trincas e rachaduras	X	X	X
Deslocamento	X	X	X
Vegetação parasitária	X	-	-
Manchas	X	X	X
Umidade	X	-	X
Juntas de dilatação (inadequado)	-	-	X
PATOLOGIAS APRESENTADAS NA OAE	80%	70%	90%

Fonte: Autor (2019)

8.1 Segregação, ninhos de concretagem e deslocamentos

Em alguns casos mais brandos, como reparos superficiais, é necessário, segundo HELENE, remover o concreto segregado até atingir o concreto em bom estado, limpar bem as superfícies e fazer reparos com argamassas de reparação (polimérica, base epóxi e base poliéster). Como é o caso das Figuras 14 e 25. Já para casos de reparos mais profundos, é necessário utilizar grautes à base de cimento, concreto ou argamassa polimérica à base de cimento; como, por exemplo o pilar da Figura 33.

Já para as “bicheiras” encontradas nos tabuleiros do Viaduto e da Passarela, a intervenção é mais complexa e carece de um estudo mais elaborado, pois se faz necessário corrigir mais regiões da estrutura, que não apresentaram ninhos de concretagem, mas que estão sofrendo com a falha de solidarização entre a armadura e o concreto, devido ao espaçamento e ao cobrimento inadequados das barras de aço. Talvez o mais aplicável seja um projeto de reforço para o tabuleiro em ambas Obras de Arte. Além disso deveria ser feita uma intervenção nas sinalizações verticais nas faixas de rolamento que dão acesso às avenidas que passam sob essas OAE's, indicando a altura limite do greide com antecedência, evitando assim, mais impactos de veículos nessas estruturas.

8.2 Umidade e vegetação parasitária

As anomalias referente à umidade poderiam ser evitadas com a aplicação de medidas simples, tais como: a instalação de pingadeiras nas beiradas inferiores dos tabuleiros (Figuras 10, 18 e 21) para evitar o escoamento de água de chuva e qualquer outro tipo de umidade pelas faces laterais dos tabuleiros, dar manutenção e limpeza nos dutos de drenagem, quando existentes, impedindo-os de ficarem obstruídos (Figura 42). Já quando não existirem os referidos dutos de drenagem, analisar a viabilidade de implantação dos mesmos, como no passeio do viaduto apresentado na Figura 19. Dar inspeções periódicas nos passeios e faixas de rolamento de modo a prevenir e/ou corrigir fissuras, trincas e rachaduras de modo a evitar a penetração de umidades para o interior estrutural do tabuleiro. Além disso, pode ser preciso aplicar camadas de revestimento de proteção na base dos pilares apresentados, para evitar a penetração de água de empoçamentos, de limpeza, urina e demais umidades para dentro dos pilares. Mas

novamente, se faz necessário um estudo mais detalhado para saber se a umidade na base dos pilares não é proveniente também da ascensão de água por capilaridade dos sistema solo-fundação.

Já a respeito das sujidades e vegetações parasitárias, recomenda-se recorrentes inspeções e manutenções rotineiras de limpeza e aparo são suficientes para eliminar tais anomalias. Mas deve ser atentado ao fato de que a presença desse tipo de patologia indica forte presença de água e material orgânico na estrutura, caso contrário seria impossível o surgimento de vegetação. Portanto, por vezes é preciso ir mais a fundo no problema e sanar, também, a questão da não estanqueidade da estrutura e contaminação de impurezas e materiais orgânicos.

8.3 Carbonatação e eflorescência

As eflorescências em pequenas porções do concreto podem ser corrigidas através do lixamento da superfície eflorescida e limpeza com o uso de alguma solução ácida de baixa concentração, testando previamente para não danificar o concreto. Após a limpeza deve-se lavar plenamente a superfície com água.

Quando necessário, impermeabilizar o elemento estrutural, mas antes é preciso se atentar à eliminação de qualquer fonte de umidade no interior do elemento. Em caso de eflorescências mais profundas (criptoflorescências) e generalizadas, com forte desagregação do concreto, pode ser necessário retirar a porção de concreto afetada e substituir por um concreto novo.

Segundo HELENE, 1992 no caso das carbonatações mais profundas, principalmente as que já atingiram as armaduras causando sua despassivação, é preciso remover todo o concreto contaminado, limpar a superfície das armaduras, caso ainda apresentem seção utilizável (ativa), retirando os produtos da corrosão. Existe a possibilidade de se verificar a penetração da carbonatação através do ensaio com solução de fenolftaleína. Após a retirada e limpeza das partes contaminadas e proteção das armaduras por pinturas especiais, é então aplicada alguma argamassa de reparo sobre uma superfície áspera e limpa do concreto e ainda há a possibilidade de se fazer uma ponte de aderência entre o concreto antigo e a argamassa de reparo com o uso de algum látex polimérico ou sistema epóxi.

8.4 Corrosão e oxidação

Segundo HELENE, quando da corrosão de armadura, deve-se remover cuidadosamente o concreto afetado e os produtos da corrosão, limpando as superfícies. Nos casos de corrosão em etapa inicial, sem comprometimento do concreto ou da barra de aço, é recomendado recuperar o concreto mantendo as mesmas dimensões, com o uso de graute, concreto com *fck* superior ao original ou argamassas de reparo. Nos casos mais avançados de corrosão, como na Figura 28, por exemplo, pode ser necessário reforçar o elemento estrutural aumentando sua seção e alocando novas armaduras.

A presença de manchas marrom avermelhadas, como na Figura 37, pode indicar a presença de agentes agressivos do ambiente que foram impregnados na estrutura ou que foram incorporados involuntariamente ao concreto durante o amassamento, por exemplo, cloretos. Nesse caso faz-se a remoção do concreto contaminado, a limpeza dos produtos de corrosão e a proteção da armadura e a aplicação de alguma argamassa de reparo, que pode ser um graute. Mas deve-se atentar, antes da aplicação da argamassa de reparo, para se fazer a correção da armadura com algum *primer* rico em zinco e uma barreira epóxi entre o concreto contaminado e a argamassa de reparo.

Em alguns casos, como na base dos pilares do Viaduto Alexandrino Garcia, é possível ainda aplicar algum revestimento de proteção que impeça a penetração de umidades do meio externo. Porém nada adiantará caso a umidade presente na base desses pilares tiver origem no sistema solo-fundação, que ascende por dentro da estrutura do pilar por capilaridade. Neste caso a aplicação de algum revestimento possivelmente irá piorar a condição desses pilares, por não permitir a secagem superficial e reter, ainda mais, a umidade dentro de sua estrutura. Portanto, o ideal seria realizar um estudo mais aprofundado, para se ter mais certeza acerca da origem da umidade.

8.5 Aparelhos de apoio e juntas de dilatação

Os aparelhos de apoio e juntas de dilatação devem ser inspecionados e passarem por manutenção ou substituição periódica. Como é o caso do aparelho de apoio em Neoprene da

Figura 40, assim como a junta de dilatação da Figura 41 que necessita de manutenção e limpeza para voltar a garantir seu funcionamento pleno. Outra irregularidade encontrada nas juntas de dilatação das OAE's é o total cobrimento da mesma pelo pavimento asfáltico, o que seria facilmente evitado caso houvesse boa fiscalização durante as obras de pavimentações e/ou mais zelo e atenção por parte do encarregado pela obra.

9 CONCLUSÕES

Ao longo das visitas de inspeção realizadas em conjunto com o grupo pertencente ao programa de extensão da FECIV, sob coordenação do Professor Drº Rodrigo Gustavo Delalibera, pôde-se constatar que as demais OAE's de Uberlândia não apresentaram condições tão graves quanto as três estruturas escolhidas para compor esse estudo. Porém, estas OAE's menos degradadas não devem ser consideradas irrelevantes pelos órgãos municipais responsáveis. Já as três OAE's aqui analisadas apresentaram algumas patologias graves que necessitam de intervenção urgente, a fim de se evitar possíveis colapsos da estrutura, impedimentos ao uso pela população e/ou acidentes mais graves.

As principais patologias e irregularidades presentes nas OAE's, tiveram como principais fatores desencadeadores as seguintes falhas identificadas: falhas de projeto e/ou execução (mais provável) prejudicando a solidarização da barra de aço com o concreto e resultando em espaçamento e cobrimento insuficiente nas barras de aço, sistemas de drenagem falhos ou inexistentes determinando forte presença de umidades, materiais orgânicos e sujidades no interior estrutural, colisões diretas de veículos pesados com o tabuleiro das estruturas e por fim falta de inspeção e/ou manutenção preventiva, hábito advindo de uma cultura de trabalho ruim que opta por ajustar o que apresenta defeito ao invés de evitar o problema na origem.

Dessa forma as anomalias mais presentes nessas OAE's, foram os ninhos de concretagem nos tabuleiros, eflorescência e carbonatação generalizadas, mas também, muito frequente nos tabuleiros, deslocamento na base dos pilares e corrosão e oxidação em diversos estágios evolutivos.

Por fim, com base nesses dados de causas e patologias mais recorrentes e nas propostas de soluções dadas é possível que empresas especializadas ou órgãos responsáveis por

recuperarem essas Obras de Artes Especiais, encarem esse presente trabalho como um pré estudo, ferramenta de auxílio e aprendizagem, a servir de ponto de partida para a elaboração de projetos de restauração mais detalhados e mais aprofundados acerca dessas e outras OAE's do município, de modo a otimizar os custos de reparação e melhor servir os utentes dessas Obras de Arte especiais.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. 1ª edição – São Paulo: Pini, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento**. Rio De Janeiro, 2006.

BASTOS, P. S. dos S. **Fundamentos do Concreto Armado**. Curso Estruturas de Concreto I. 2006. Notas de aula. Universidade Estadual Paulista

GUTERRES, P.R.C. **Argamassas de reabilitação: Estudo da sua utilização e do seu comportamento para o tratamento e recuperação de construções afetadas por eflorescências. 3º Ciclo de estudos**. Universidade da Beira Interior (UBI). Covilhã, Portugal, 2016. Tese para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil

HELENE, P. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2ª edição – São Paulo: Pini, 1992.

MAPA DA OBRA. **Carbonatação compromete a durabilidade das estruturas de concreto**. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/carbonatacao-compromete-a-durabilidade-das-estruturas-de-concreto/>>. Acesso em: 08 de nov. de 2019

PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. Disponível em: <<https://patologiaifap.wordpress.com/2014/06/14/corrosao-em-armaduras-para-concreto-armado/>>. Acesso em: 08 de nov. de 2019

PIANCASTELLI, E. M. **Patologia e terapia das estruturas, sintomas e causas das enfermidades**. Curso de graduação em engenharia civil. Notas de aula. Universidade Federal de Minas Gerais

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1ª edição - São Paulo: Pini, 1998