



ANÁLISE DA CONDIÇÃO DE CONSERVAÇÃO DE VIADUTOS NA CIDADE DE CURITIBA

CURITIBA
2020



GIOVANE ANTONIO BONTORIN SILVA

HENRIQUE TUMA MARQUETTI

MATEUS EDUARDO VIEIRA

ANÁLISE DA CONDIÇÃO DE CONSERVAÇÃO DE VIADUTOS NA CIDADE DE CURITIBA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Engenharia de Avaliações e Perícias, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Engenharia de Avaliações e Perícias

Orientador: Mauricio Bianchini, M.Sc.

CURITIBA
2020

AGRADECIMENTOS

Aos familiares pela paciência e suporte durante toda a jornada.

Ao nosso orientador Mauricio Bianchini, pelo acompanhamento e auxílio valiosos.

Aos mestres que guiaram nosso caminho desde a graduação.

RESUMO

O presente trabalho avalia a condição de conservação dos viadutos localizados na malha viária da cidade de Curitiba. Dessa forma, objetiva analisar o estado atual de uma amostra de viadutos que represente o comportamento da população. Para tanto, utiliza o procedimento metodológico de levantamento de campo, englobando a análise da literatura para embasamento, a escolha e vistoria dos viadutos e, por fim, a análise dos resultados obtidos. As vistorias foram realizadas visualmente, utilizando uma ficha padrão para classificar a seriedade dos casos encontrados. Dentre os resultados, evidencia as manifestações patológicas mais encontradas (infiltração e lixiviação e eflorescência), seu grau de seriedade e o registro fotográfico das mesmas. Conclui que a falta de manutenção preditiva acarreta um aparecimento maior de manifestações patológicas, em grande parte causado pela influência de percolação de água. Recomenda-se, em trabalhos futuros, a expansão da amostra e continuidade das análises, bem como um aprofundamento das medidas corretivas que podem ser empregadas.

Palavras chave: viaduto, manifestação patológica, corrosão, lixiviação, infiltração, vistoria, levantamento de campo, manutenção preditiva, obra de arte.

ABSTRACT

The following paper evaluates the conservation condition of the viaducts located in the city of Curitiba. In doing so, aims to analyse the current state of conservation of a sample of viaducts that represents the behaviour of the population. For such, utilize the methodological procedures known as 'field survey', covering from the analysis of the relevant literature needed for the analysis, as well as the choice of viaduct studied and the results obtained. The surveys were visual, with the help of a standardized form to classify the severeness of the cases encountered. Amongst the results, measure the frequency of the pathological manifestations encountered, their severity and the photographic evidence. Concludes that the lack of predictive maintenance causes in an increase of pathological manifestations, most due to the percolation of water. Recommends, in future papers, the expansion of the sample studied and continuity of analysis, as well as a deeper consideration of the possible corrective measures that can be employed.

Key words: viaduct, pathologic manifestation, corrosion, leaching, infiltration, survey, field survey, predictive maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Partes fundamentais (Fonte: VITÓRIO, 2015)	23
Figura 2. Seção transversal de uma ponte em laje maciça (VITÓRIO, 2015)	27
Figura 3. Pontes em viga (VITÓRIO, 2015)	28
Figura 4. Seção transversal de uma ponte em tabuleiro celular (VITÓRIO, 2015)	29
Figura 5. Pontes em pórticos: a) biengastados; b) biarticulados; c) biarticulados com montantes inclinados (VITÓRIO, 2015).....	29
Figura 6. Ponte em arco: a) tabuleiro superior; b) tabuleiro inferior; c) tabuleiro intermediário (VITÓRIO, 2015).....	30
Figura 7. Componente de uma ponte pênsil: 1) viga metálica; 2) cabo portante; 3) pendurais de suspensão; 4) torres de apoio (VITÓRIO 2015).....	31
Figura 8. Modelo de ponte estaiada (VITÓRIO, 2015).....	32
Figura 9. Corte longitudinal de uma ponte em balanços sucessivos (Fonte: VITÓRIO, 2015).....	32
Figura 10. Distribuição relativa da incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto aparente. (HELENE, 1992).....	33
Figura 11. Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis. (GRUNAU, 1981 apud HELENE, 1992)	34
Figura 12. Lei de evolução de custos - "Lei dos cinco". (SITTER, 1984 apud HELENE, 1992).....	36
Figura 13. Ponte do Derby - Recife – PE (DIÁRIO DE PERNAMBUCO, 2019)	40
Figura 14. Sistema trinário. (URBS, 2020)	57
Figura 15. Localização dos viadutos vistoriados. (Os Autores, 2020)	61
Figura 16. Ficha de inspeção utilizada em campo. (Os Autores, 2020)	63
Figura 17 Distribuição geral das manifestações patológicas encontradas nos viadutos (Os Autores, 2020)	64
Figura 18 - Porcentagem de viadutos que apresentaram cada classe de manifestação patológica (Os Autores, 2020).....	65

Figura 19 - Corrosão de armadura: Quantidade observada X Gravidade (Os Autores, 2020)	66
Figura 20. Detalhe do rompimento de armadura na laje do Viaduto nº11 - Av. Vitor Ferreira do Amaral x Av. Nossa Senhora da Luz (Os Autores, 2020)	66
Figura 21. Grave processo de corrosão de armadura e deslocamento do concreto nos pilares do viaduto nº12 - Av. Vitor Ferreira do Amaral X Linha Verde (Os Autores, 2020)	67
Figura 22. Corrosão de armadura branda (Os Autores, 2020).....	68
Figura 23 - Infiltração: Quantidade observada X Gravidade (Os Autores, 2020)	68
Figura 24 - Lixiviação e Eflorescência: Quantidade observada X Gravidade (Os Autores, 2020)	69
Figura 25. Infiltrações e eflorescências observadas nas lajes do viaduto nº 1 - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado x Rua João Falarz (Os Autores, 2020).	69
Figura 26 - Fissuração: Quantidade observada X Gravidade (Os Autores, 2020)	70
Figura 27. Fissura observada na laje do viaduto nº4 - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado X Rua Luiza Mazetto Baggio	70
Figura 28 - Vazios de concretagem: Quantidade observada X Gravidade (Os Autores, 2020)	71
Figura 29. Vazios de concretagem observados no viaduto nº13 - Av. Pres. Affonso Camargo x Linha Verde (Os Autores, 2020).....	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Instruções para atribuição de notas de avaliação (DNIT, 2004).....	52
Quadro 2. Classificação da condição da OAE segundo parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade (NBR 9452:2019).....	55

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE QUADROS.....	10
SUMÁRIO	11
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	14
1.2. OBJETIVOS.....	14
1.2.1. Objetivo Geral	14
1.2.2. Objetivos Específicos	14
1.3. HIPÓTESE	15
1.4. JUSTIFICATIVAS.....	15
1.4.1. Tecnológicas.....	15
1.4.2. Econômicas.....	16
1.4.3. Sociais.....	16
1.4.4. Ecológicas.....	17
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	18
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1. TIPOS E COMPONENTES DE VIADUTOS	21
2.1.1. Nomenclatura e importância.....	21
2.1.2. Viadutos - componentes estruturais.....	23
2.1.3. Classificação	26
2.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO CONCRETO	32
2.2.1. Causas e consequências	35
2.2.2. Corrosão de armadura.....	37
2.2.3. Infiltração.....	40
2.2.4. Lixiviação e Eflorescência.....	42
2.2.5. Fissuração	44

2.2.6. Vazios de concretagem	48
2.3. NORMAS E METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO.....	49
2.3.1. Norma DNIT 010/2004 – PRO – Inspeção em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento	49
2.3.2. NBR 9452:2019 – Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento	53
3. MATERIAIS E MÉTODOS	56
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS	64
4.1. Análise do quadro patológico	72
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
APÊNDICE 1 – FOTOS E FICHAS DE INSPEÇÃO DOS VIADUTOS VISTORIADOS	78

1. INTRODUÇÃO

Viadutos urbanos são obras de arte cuja importância é fundamental, pois consistem em parte do sistema infra estrutural de uma cidade, que oferece suporte ao abastecimento elétrico, de comunicações e de água, bem como ao sistema de mobilidade urbana de pessoas e produtos. Em suma, a infraestrutura urbana se refere às estruturas públicas que permitem o funcionamento de uma cidade e sua manutenção no dia a dia dos moradores, comerciantes e a população em geral. Por conseguinte, englobam os serviços públicos de abastecimento de energia e de água e o sistema de esgotos, como também o sistema de vias públicas - vias, praças, terminais, passarelas e viadutos. É importante frisar que esta infra estrutura precisa ser considerada não apenas em sua confecção, planejamento e implementação, mas também a parte de manutenção, aprimoramento e conservação (MENDONÇA, 2012).

Os viadutos urbanos especificamente geram áreas com características específicas para políticas urbanas que trazem desafios no que tange gestão pública. A parte inferior deste tipo de estrutura é caracterizada por uma dificuldade maior de passagem de pedestres, devido ao alto fluxo de veículos, como também pelo conflito que gera para atividades do entorno, visto que os ruídos e fluxo constante nesse tipo de local afeta o funcionamento destas áreas. Ainda, muitas vezes consistem em áreas com iluminação precária e frequente ponto de abrigo para moradores de rua.

Olhando brevemente para o histórico do avanço das cidades no Brasil, nota-se uma desconsideração do espaço entorno de viadutos que, atrelado ao crescimento rápido das cidades e a ineficácia da administração pública de exercer um controle urbano eficiente, transformou estas áreas em um atrativo para a população composta pelos grupos mais pobres, permitindo os assentamentos informais. Dentre as características que atraem esse tipo de situação, vale citar a proteção das intempéries, presença de áreas baldias adjacentes, presença próxima dos sistemas básicos de água, abastecimento elétrico e esgoto e baixo risco geológico (CONTI et al., 2004).

Com isso exposto, fica evidente que os viadutos urbanos possuem uma grande importância para o crescimento das cidades e sua implantação deve ser feita de forma planejada e garantindo uma administração pública eficiente. Sua conservação deve ser realizada de forma a evitar a necessidade de intervenções de reparo, que podem ser custosas quando não se atenta para a necessidade de cuidados preventivos. As estruturas dos viadutos ficam expostas às intempéries do tempo, entre elas a exposição ao sol, chuva e vento. Devido ao assentamento irregular muitas vezes presente, as estruturas podem ser submetidas também à ação de temperaturas e gases trazidos por fogueiras, precisando também levar em conta a passagem constante de veículos, que liberam gases que podem prejudicar a estrutura.

Assim, buscou-se um levantamento e análise da condição de conservação de viadutos na cidade de Curitiba.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Qual o atual estado de conservação dos viadutos presentes na malha viária de Curitiba?

1.2. OBJETIVOS

Neste item apresentam-se os objetivos gerais e específicos da pesquisa desenvolvida.

1.2.1. Objetivo Geral

Levantar a condição atual de conservação dos viadutos presentes na malha viária da cidade de Curitiba.

1.2.2. Objetivos Específicos

Mapear as manifestações patológicas presentes nos viadutos na cidade de Curitiba;

Verificar a existência de manutenção preventiva e/ou corretiva nos viadutos na cidade de Curitiba;

Quantificar a presença das manifestações patológicas presentes nos viadutos na cidade de Curitiba;

Apontar os locais mais críticos quanto a necessidade de manutenção.

1.3. HIPÓTESE

Pressupõe-se que os viadutos presentes na malha viária de Curitiba apresentam uma quantidade significativa de manifestações patológicas, decorrentes da falta de manutenção preventiva.

1.4. JUSTIFICATIVAS

Abaixo, são trazidos os panoramas que justificaram a elaboração do presente trabalho, levando em conta aspectos tecnológicos, econômicos, sociais e ecológicos.

1.4.1. Tecnológicas

O panorama da construção civil no Brasil ainda é conservador no que tange a adoção de novas tecnologias construtivas, sendo muito comum observar resistência para sair do modelo tradicional do concreto armado. Com isso, vê-se necessária a análise de como essas estruturas se mantêm com o tempo.

Dentre os sistemas construtivos conhecidos e utilizados no Brasil, o sistema do concreto armado é, indubitavelmente, o mais amplamente difundido e utilizado. Grande parte das obras nas áreas urbanas são construídas dessa forma, comportamento que se manteve desde a introdução do concreto no início do século XX. (SANTOS, 2008)

Em Curitiba, comparada com outras capitais e grandes cidades do país, observa-se uma quantidade baixa de viadutos urbanos, porém eles estão presente em diversos

pontos na cidade. É importante identificar as principais manifestações patológicas que existem e verificar se estão em boa condição geral de conservação e manutenção.

1.4.2. Econômicas

Quando se observa a necessidade de reparos estruturais em um viaduto, muitas vezes o custo atrelado é extremamente alto. A possibilidade de minimizar o aparecimento de manifestações patológicas graves está atrelada a uma boa execução da obra e a realização de manutenção preventiva.

Em 2018, a Prefeitura de Curitiba fechou por 20 dias a ponte do parque Tingui para reparos, que custaram R\$200 mil para os cofres públicos. Da mesma forma, reparos em viadutos acarretam quantias significativas, podendo ser evitadas com manutenção preventiva.

Dessa forma, torna-se imperativo levantar a condição atual dos viadutos, visando evidenciar o estado atual e evitar o surgimento ou aparecimento destas manifestações, dessa forma reduzindo consideravelmente gastos futuros por parte da administração pública.

1.4.3. Sociais

Atrelado ao quesito anterior, valores economizados podem ser revertidos em benefícios para a sociedade. Ainda, é importante ter a visão do panorama de conservação como um todo, pois os viadutos urbanos fazem parte da infraestrutura da cidade que é oferecida para a população pelo governo.

No final de 2019, foi publicado no jornal Tribuna um levantamento com algumas estruturas em estados preocupantes, entre elas o viaduto da Rua Vicente Michelotto, o viaduto da Av. Prefeito Maurício Fruet e o viaduto do Tarumã. Essas estruturas englobam um tráfego médio entre 48,7 mil até 120 mil veículos por dia. Fica evidente que o reparo, além de trazer impactos significativos para as despesas públicas, afetam o deslocamento da população em casos de fechamento.

Como mencionado anteriormente no presente trabalho, viadutos também podem gerar áreas de ocupação e assentamentos irregulares pelos membros mais pobres da sociedade, então sua conservação e de seu entorno é de interesse social e função da administração pública.

Segundo um levantamento feito pela Prefeitura de São Paulo e publicado no portal de notícias G1 em 2019 cerca de 1.500 famílias viviam embaixo de viadutos e pontes na capital paulista, com casos de ocupações que já ultrapassavam 10 anos. Um panorama semelhante existe não apenas na maior cidade do país, mas em todas as capitais como um todo.

1.4.4. Ecológicas

A realização de manutenção preventiva em viadutos urbanos acarreta um uso muito menor de materiais do que as manutenções corretivas. Com isso, os rejeitos de construção gerados são significativamente menores. Em uma década marcada pela visão sustentável e correta destinação do lixo e dos resíduos, qualquer ação visando a redução dessa geração é benéfica para a sociedade.

Isso se torna mais evidente quando consideramos que a indústria da construção civil produz aproximadamente 50% dos resíduos do Brasil. Quando trazemos a visão para Curitiba, segundo o site da Prefeitura da capital paranaense, temos aproximadamente 2 milhões de toneladas por ano de resíduos gerados pela construção civil.

Ainda, segundo a ABRECON (Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição), em seu site, estima que metade dos recursos materiais que são extraídos da natureza estão diretamente relacionados com a atividade da construção civil.

Segundo a resolução 307 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) é de responsabilidade dos municípios a elaboração de um Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, devido ao impacto que causam para o meio ambiente. Fica exposto, portanto, a importância de reduzir a quantidade de

resíduos e, uma forma de fazê-lo é através da manutenção preventiva, descartando a necessidade de intervenções maiores nas estruturas.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o presente trabalho, será utilizada a metodologia de ‘Levantamento de campo’.

Consiste em iniciar-se por uma pesquisa de fundamentação teórica relevante para o presente trabalho, seguido de uma pesquisa dos viadutos presentes na malha viária de Curitiba, com o intuito de selecionar os casos mais apropriados para a pesquisa. A etapa seguinte é o planejamento e realização das visitas aos locais selecionados, realizando as vistorias, identificando manifestações patológicas e realizando os devidos registros fotográficos e a compilação dos dados de campo. Por fim, termina-se na análise dos dados coletados, com seu respectivo tratamento e conclusão.

Portanto, iniciou-se com a construção de toda a fundamentação teórica base para o entendimento do presente trabalho, seguido do levantamento de 15 viadutos presentes na malha viária de Curitiba, escolhidos para serem vistorias pelos autores e terem suas manifestações patológicas levantadas e analisadas. As vistorias foram realizadas na semana de 19/06/2020, na qual os autores fizeram as análises visuais das estruturas e o levantamento fotográfico das manifestações patológicas existentes.

Para a uniformização do método de análise, foi criada uma ficha de avaliação que teve seu preenchimento no momento da vistoria, para cada um dos viadutos. Dessa forma, foi possível classificar a severidade da manifestação patológica em uma escala de 5 a 1, sendo 5 casos menos críticos e 1 aqueles casos mais sérios. Ainda, foi relacionada a manifestação patológica com seu local de aparecimento, podendo ser na superestrutura ou na mesoestrutura.

Todos os detalhes da escolha dos viadutos, condições durante as vistorias, metodologia detalha e considerações feitas estão presentes no Capítulo 3.

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O Capítulo 1 apresenta uma introdução do tema, mostrando sua relevância para o funcionamento das cidades e, mais especificamente, sua importância na cidade de Curitiba. Ainda, são apresentados os objetivos do trabalho e suas justificativas, no que tange aspectos tecnológicos, econômicos, sociais e ecológicos. Por fim, é abordado um resumo dos procedimentos metodológicos escolhido pelos autores para a realização do estudo.

O Capítulo 2 trata da revisão bibliográfica relevante, abordando, mais especificamente, os tipos e componentes de viadutos, trazendo sua nomenclatura e importância. Na sequência, traz os tipos de classificações de viadutos – quanto aos materiais, à finalidade e ao sistema estrutural. É abordado neste capítulo algumas das manifestações patológicas do concreto armado, trazendo as diferentes frequências de aparecimento e suas origens. Os tipos de manifestações patológicas mais comuns são trazidos em maiores detalhes, entre eles: corrosão de armaduras, infiltração, lixiviação e eflorescência, fissuração e vazios de concretagem. Ainda, o capítulo aborda as normas existentes e metodologias de avaliação, sendo elas a norma DNIT 010/2004 que trata sobre o procedimento de inspeção em pontes e viadutos de concreto armado e pretendido e a norma NBR 9452 (ABNT, 2019) que trata do procedimento de inspeção de pontes viadutos e passarelas de concreto.

O Capítulo 3 apresenta as etapas e processos de vistoria do presente trabalho. Apresenta os viadutos vistoriados e o motivo de sua escolha, trazendo também o as características e fatores considerados e o detalhamento da metodologia de inspeção. Ainda, explana o modo de avaliação dos viadutos e apresenta as fichas utilizadas e as escalas criadas para análise.

O Capítulo 4 analisa os resultados obtidos. Aqui é feito o levantamento e a construção da análise gráfica do panorama geral dos viadutos vistoriados, bem como todas as considerações recorrentes e interpretações necessárias, descrevendo as manifestações patológicas mais frequentes encontradas, sua seriedade e localização.

O Capítulo 5 apresenta a conclusão do trabalho, considerações finais acerca do estudo de campo realizado e recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo apresentar uma breve descrição dos tipos e componentes da estrutura de um viaduto. Na sequência, aborda algumas das manifestações patológicas mais comuns em viadutos de concreto. Por fim, traz ainda um compilado de duas normas utilizadas no Brasil para a fiscalização de Obras de Arte Especiais.

2.1. TIPOS E COMPONENTES DE VIADUTOS

Os viadutos diferem entre si de várias maneiras, dentre elas o material de que são feitos, a finalidade para que foi construído e o sistema estrutural utilizado. Este tópico apresenta essas classificações, além de noções de nomenclatura e componentes estruturais.

2.1.1. Nomenclatura e importância

Pfeil (1983) denominou todas as obras presentes em uma estrada, sejam elas pontes, viadutos, bueiros ou muros, de obras de arte. A origem da denominação vem de tempos passados, quando eram construídas por artífices. Dentro do conceito de obras de arte temos as chamadas obras de arte especiais (OAE), englobando aquelas que tem como objetivo a transposição de acidentes geográficos ou viários.

Para definir o conceito de viaduto, primeiro é preciso olhar de forma global para o aspecto macro: as pontes. Estas são definidas como obras que possuem o intuito de atravessar obstáculos ao fluxo de uma via. Ao se caracterizar esses obstáculos em vales ou outras vias é que temos as obras chamadas ‘viadutos’. (PFEIL, 1979). A NBR 9452 (ABNT, 2019) também traz definições para ambos os termos, classificando ponte como: “Estrutura destinada à transposição de

obstáculo à continuidade do leito normal de uma via, e cujo obstáculo deve ser constituído por canal aquífero, como rio, mar, lago, córrego e outros” (ABNT, 2019), já os viadutos são definidos por:

Estrutura destinada à transposição de obstáculo à continuidade do leito normal de uma via, e cujo obstáculo é constituído por rodovia, ferrovia, vale, grota, contorno de encosta. Esta estrutura destina-se também à substituição de aterros. (ABNT, 2019)

De acordo com a NBR 7188 (ABNT, 2013), viadutos são estruturas para transpor um obstáculo artificial.

Ainda, não obstante essa função principal apresentada acima, Agostini, Cajado e Teixeira (2005) afirmam que “Eles (viadutos urbanos) propiciam, através de suas características espaciais e construtivas, o surgimento de áreas intersticiais e marginais livres”. Continuam explanando que, ao não se considerar o planejamento funcional, em muitos casos, esses locais se tornam ocupações informais e, em grande parte, de forma precária. O fator social pode, inclusive, acelerar processos de degradação da estrutura devido à construção de fogueiras próximas aos elementos do viaduto e outras formas irregulares de uso.

Além da importância estrutural de definição do escoamento das vias e melhoria da mobilidade urbana, os viadutos possuem uma grande relevância no âmbito socioeconômico, visto que são responsáveis por articular cruzamentos em grandes avenidas, encurtar caminhos e compensar acidentes geográficos presentes nas localidades. Ainda, é importante frisar que a falta de viadutos nas cidades geraria uma necessidade de expandir a malha viária de forma a contornar esses obstáculos, causando uma maior dificuldade de gestão e espraiamento das cidades, muitas vezes impossibilitado pelo crescimento já existente na região (PINHEIRO et al., 2018).

De acordo com Laner (2001), obras-de-arte em geral são consideradas estruturas de alto custo para implementação, reparo e recuperação. Considerando a importância já citada anteriormente destas estruturas na malha viária das cidades, qualquer necessidade de intervenção gera um impacto significativo no entorno, atrelado ainda aos altos custos e tempo necessário para implementar as correções.

Pensando nisso, torna-se primordial o olhar às ações preventivas e boas práticas construtivas.

Ao se analisar os impactos aos quais esse tipo de obras especiais estão sujeitas, é inevitável considerar a ação de fatores externos como agentes de degradação física e química, como variação de temperatura, exposição ao clima e a agentes nocivos, e desgaste por cargas móveis devido à passagem de veículos. Dessa forma, a degradação e o desgaste de viadutos é de se esperar, mas pode ser minimizada se forem observadas as boas práticas construtivas e a constante manutenção preditiva. Em casos de uso inadequado, problemas construtivos e falta de inspeção e manutenção, observa-se uma aceleração nos processos de degradação. (PINHEIRO et al., 2018)

2.1.2. Viadutos - componentes estruturais

Müller (1986) segmenta pontes e viadutos em três partes fundamentais: Superestrutura, Mesoestrutura e Infraestrutura. Na sequência será abordado cada uma dessas partes com maior detalhe. Na Figura 1, encontra-se visualmente essas três partes.

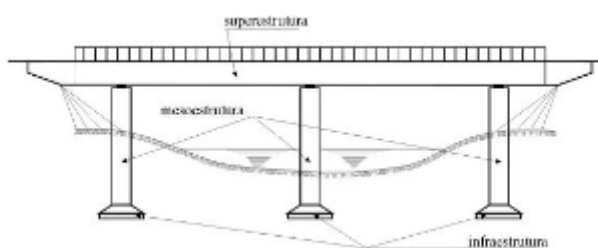


Figura 1. Partes fundamentais (Fonte: VITÓRIO, 2015)

2.1.2.1. Infraestrutura

Responsável por fazer a transferência de cargas da estrutura ao solo, comumente conhecida como a fundação da obra (PFEIL, 1983). Pode ser profunda (estacas/tubulões) ou direta (sapatas). (VITÓRIO, 2015)

Ainda, um estudo das características do terreno deve ser feito para que se possa determinar adequadamente qual o tipo de fundação a ser adotada em um projeto. (WIDOMSKI, 2015)

O Manual de inspeção de pontes rodoviárias (DNIT, 2004) engloba encontros e pilares como parte básica da infraestrutura, descrevendo os encontros como “elementos que suportam as extremidades das pontes, ao mesmo tempo que arrimam os acessos rodoviários” e definindo os pilares como apoios intermediários. De maneira distinta, a NBR 9452 (ABNT, 2019) caracteriza esse segmento estrutural como sendo o responsável pela transferência de carga diretamente ao substrato, citando como possíveis elementos viga de travamento de blocos de fundação, viga-alavanca, tubulão, sapata, estaca, bloco sobre estacas e bloco de transição.

2.1.2.2. Mesoestrutura

A mesoestrutura objetiva fazer a transferências das cargas da Superestrutura para a Infraestrutura (PFEIL, 1983).

Os elementos que a compõem são: os pilares, os encontros, os aparelhos de apoio e o sistema de drenagem.

Os pilares podem ser divididos em pilares parede e pilares comuns. Os pilares parede são utilizados em casos de vigas em caixão ou pontes fluviais e caracterizam-se por se estenderem por toda a largura da superestrutura. Usualmente, são pilares de concreto simples, maciços armados ou vazados. (LEONHARDT, 1979)

Já os pilares comuns, segundo Leonhardt (1979), podem ser únicos, no entanto, é costumeiro encontrá-los em pares ou trios bem espaçados transversalmente. Estes são mais econômicos que aqueles, além do fato de não

exercerem nenhuma obstrução de visibilidade e darem a ponte um aspecto mais leve.

Os encontros, por sua vez, consistem no elemento de transição entre a ponte e o aterro, dimensionados de forma a suportar os esforços horizontais causados pela frenagem dos veículos. São feitos de concreto armado, mas, antigamente, eram feitos de alvenaria de pedra. (GRECA; SOUZA; SMYKALUK, 2011).

Ainda segundo Leonhardt (2015), aparelhos de apoio fazem a transmissão da Superestrutura para a Infraestrutura das reações verticais. Para isso, o material mais utilizado é o Neoprene, cuja composição é de camadas intercaladas de borracha e chapas de aço. Este material possibilita deslocamentos horizontais e certa rotação, sendo amplamente adotado atualmente.

Por ser constituída de elementos que fazem a transição entre a superestrutura e a infraestrutura, possuem uma função dupla, visto que além de oferecer suporte e transmissão de cargas, servem, ainda, de proteção ao aterro contra erosões causadas pela ação de intempéries. (WIDOMSKI, 2015)

No que tange o sistema de drenagem, de acordo com Greca, Souza e Smykaluk (2011), o dimensionamento deve ser feito considerando folgas e aberturas para inspeção e limpeza devem ser previstos. Uma drenagem efetiva e eficiente ocorre quando a superfície do tabuleiro seja plano, com declividade mínima de 2%. O material dos drenos pode ser de ferro fundido ou de PVC rígido.

2.1.2.3. Superestrutura

De acordo com o manual de inspeção de obras de arte (EGR, 2018) a superestrutura é constituída por elementos que recebem e transferem as cargas, sendo elas permanentes ou acidentais, para a mesoestrutura ou diretamente para a infraestrutura.

Responsável por permitir o vencimento do vão da ponte, a Superestrutura é composta pelo tabuleiro e pelo vigamento principal. (PFEIL, 1983)

Segundo Wolff (2013), a transmissão dos esforços para os apoios pode acontecer de algumas formas diferentes: tração, compressão, flexão ou uma combinação destas.

A superestrutura é composta por tabuleiro e vigamento principal, que pode ser feito através de pontes em viga T ou vigas caixão.

O tabuleiro, ou estrado, é o componente que recebe as cargas aplicadas diretamente. É responsável pelo apoio a elementos como as vias férreas, passeios e pistas. De forma geral, é o elemento de suporte da pista de rolamento, podendo ser de concreto feito in loco ou de elementos pré-moldados. (GRECA; SOUZA; SMYKALUK, 2011).

As pontes em viga T, por sua vez, são mais econômicas para pontes retas devido à sua seção transversal, usualmente empregadas em projetos que não apresentam uma presença grande de cargas móveis. (MÜLLER, 1986)

Por fim, Pfeil (1983) afirma que as vigas caixão são as vigas principais e possuem forma de caixa fechada. Muito usadas para transpor grandes vãos e/ou estruturas curvas (em planta), devido à grande resistência e rigidez à torção.

Possuem, ainda, uma maior facilidade de manutenção e permite a passagem de tubulações pelo seu interior. Sua área externa é composta por superfícies planas e sem saliências, facilitando a limpeza. (GRECA; SOUZA; SMYKALUK, 2011).

Como a superestrutura está em contato com a pista de rolamento, é muitas vezes denominada como a parte útil da obra. (WIDOMSKI, 2015)

2.1.3. Classificação

De acordo com Vitório (2015), pontes (e viadutos) podem ser classificados de acordo com os seguintes critérios:

2.1.3.1. Quanto aos materiais

- Pontes de concreto (armado e/ou protendido);
- Pontes de pedra;

- Pontes de madeira;
- Pontes metálicas;
- Pontes mistas (aço/concreto, aço madeira, etc.).

2.1.3.2. Quanto à finalidade

- Rodoviária - destinada ao tráfego rodoviário;
- Ferroviária - destinada ao tráfego ferroviário;
- Rodoferroviária - destinada ao tráfego misto
- Passarela - destinada ao tráfego de pedestres e ciclistas exclusivamente;
- Aeroviária - destinada ao tráfego de aeronaves.

2.1.3.3. Quanto ao sistema estrutural

2.1.3.3.1. Pontes em laje

Aplicadas em casos de vãos pequenos, com no máximo 15 metros, cujos tabuleiros são feitos apenas por laje, sem a utilização de nenhum tipo de viga. A Figura 2 mostra a seção transversal de uma ponte em laje.

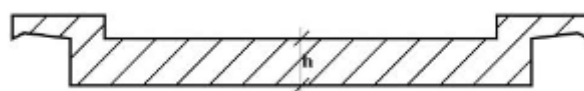


Figura 2. Seção transversal de uma ponte em laje maciça (VITÓRIO, 2015)

2.1.3.3.2. Pontes em viga

São constituídas por duas ou mais vigas no sentido longitudinal (chamadas de vigas principais ou longarinas) e vigas transversais (também chamadas transversinas). Ainda, uma laje superior na qual se encontram as pistas de rolamento está presente neste tipo de sistema estrutural. A Figura 3 detalha esse tipo de estrutura. (VITÓRIO, 2015)

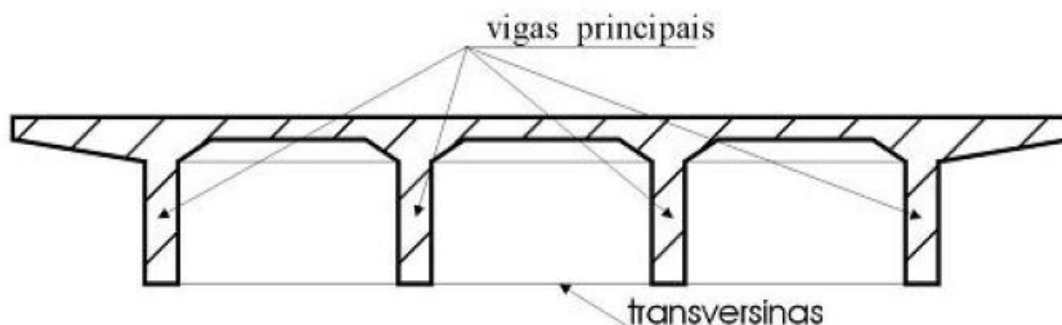


Figura 3. Pontes em viga (VITÓRIO, 2015)

Para este tipo de construção, pode-se optar por concreto armada ou protendido. Segundo DNIT (2004), o primeiro caso costuma ser composto de placas na laje, vigas retangulares para as transversinas, e vigas T, vigas-caixão e vigas calha. Quando opta-se pela protensão, os elementos mais comuns são as vigas I e T, lajes alveoladas e vigas caixão.

2.1.3.3.3. Pontes em tabuleiro celular

Para Vitório (2015) a grande vantagem deste sistema é a sua alta rigidez à torção, sendo, por esse motivo, indicada para pontes curvas. Consiste em um tabuleiro formado por duas lajes, superior e inferior, que são interligadas por vigas longitudinais e transversais. A Figura 4 mostra um exemplo da seção transversal deste tipo de ponte.

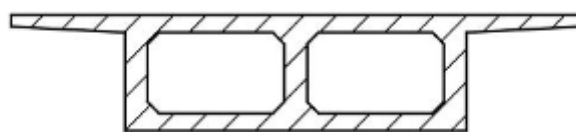


Figura 4. Seção transversal de uma ponte em tabuleiro celular (VITÓRIO, 2015)

Para construções em concreto armado, é utilizada em vãos acima de 25m, e para concreto protendido em vãos maiores que 35m. Em sua composição é possível identificar vigas longitudinais, laje superior e inferior, transversinas de apoio, transversinas externas e transversina central (vãos maiores que 40m). (DNIT, 2004)

2.1.3.3.4. Pontes em pórticos

Vitório (2015) afirma que neste sistema, em detrimento das articulações, existem ligações das vigas com os pilares ou paredes de encontro, tornando o elemento como contínuo. Neste tipo de estrutura, podemos classificá-las, ainda, de acordo com como elas estão apoiadas no solo, como mostra a **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

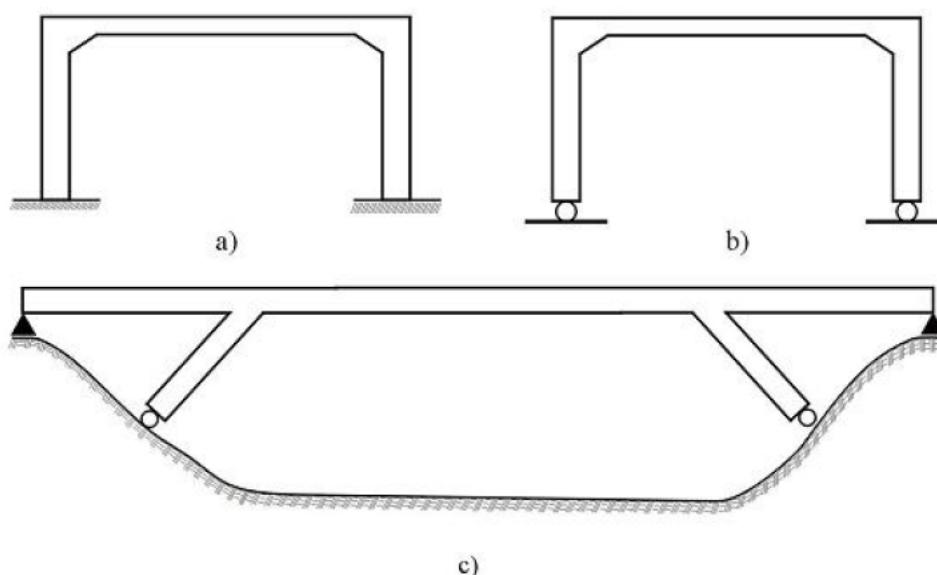


Figura 5. Pontes em pórticos: a) biengastados; b) biarticulados; c) biarticulados com montantes inclinados (VITÓRIO, 2015)

Consideradas estruturas monolíticas, por não ter diferenciação nítida entre superestrutura e mesoestrutura, podem apresentar apenas um ou vários vãos (DNIT, 2004).

2.1.3.3.5. Pontes em arco

Uma das melhores alternativas para se transpor grandes vãos. Este sistema construtivo gera predominância de esforços de compressão, demandando pequenas seções de armadura na estrutura.

As pontes em arco podem possuir o seu tabuleiro superior ao arco, inferior ou intermediário, como mostra a Figura 6.

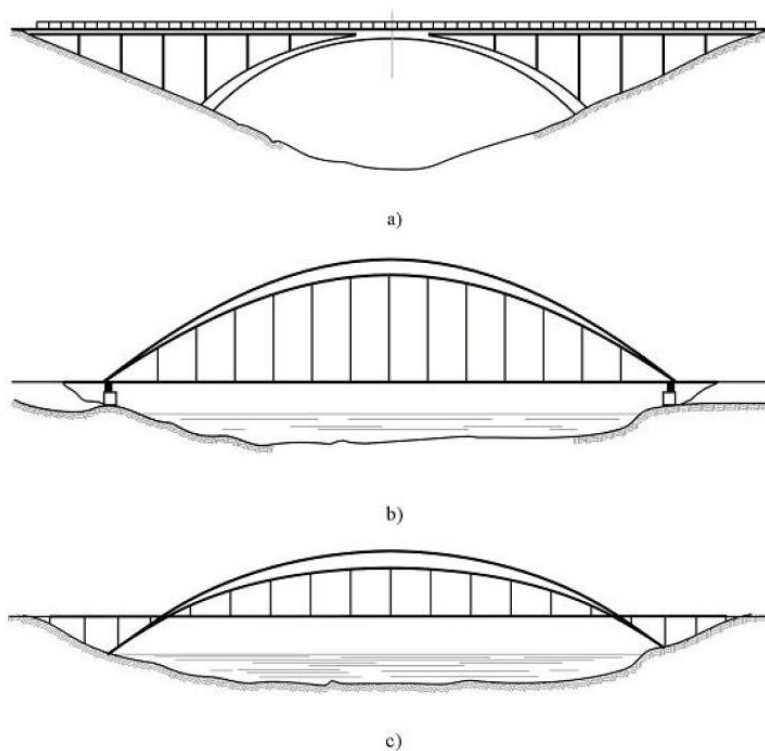


Figura 6. Ponte em arco: a) tabuleiro superior; b) tabuleiro inferior; c) tabuleiro intermediário (VITÓRIO, 2015)

Neste tipo de construção, os estrados costumam ser compostos de lajes simples ou vigas T, pilares suportados pelos arcos, transversinas nos topos dos

pilares e vigas de contraventamento ligando pilares mais altos. As solicitações nos arcos costumam ser predominantemente de compressão (DNIT, 2004)

2.1.3.3.6. Pontes pênséis

São estruturas compostas por cabos dispostos parabolicamente, nos quais se apoia o tabuleiro. Esse tipo de estrutura deve ter uma alta rigidez à flexão, para minimizar impactos de vibrações que podem ocasionar no desconforto dos usuários. São pontes que conseguem vencer grandes vãos. A maior ponte pênsil do mundo se encontra no Japão, com mais de 1.990 metros de comprimento. O esquema de uma ponte pênsil pode ser encontrado na Figura 7.

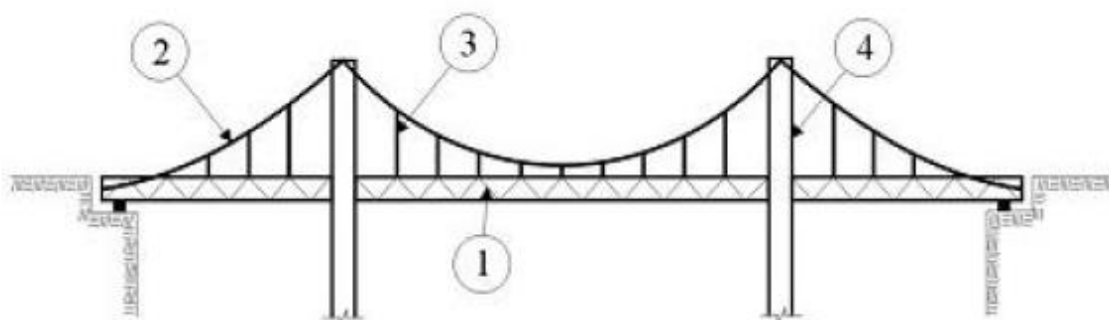


Figura 7. Componente de uma ponte pênsil: 1) viga metálica; 2) cabo portante; 3) pendurais de suspensão; 4) torres de apoio (VITÓRIO 2015)

Suportada por tirantes e cabos com a forma de catenária, as pontes pênséis possuem cabos em toda a sua extensão, passando por torres dos apoios intermediários e ancorados nos encontros (DNIT, 2004)

2.1.3.3.7. Pontes estaiadas

Consistem em um tabuleiro suspenso através de cabos fixados em torres ao longo da estrutura. Novamente, assim como em pontes pênséis, deve ser uma estrutura com grande rigidez à torção. Usual para vão com mais de 200 metros, podendo atingir vãos maiores que 800 metros quando se utiliza tabuleiros de

concreto protendido. Um modelo de ponte estaiada é apresenta a seguir na Figura 8.

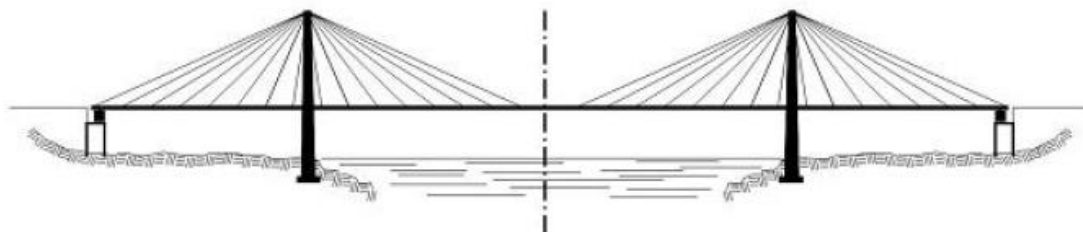


Figura 8. Modelo de ponte estaiada (VITÓRIO, 2015)

Ancorada nos encontros extremos, essa estrutura é suportada por estais que transmitem cargas para as torres dos apoios intermediários (DNIT, 2004).

2.1.3.3.8. Pontes em balanços sucessivos

São pontes utilizadas quando se precisa vencer vãos maiores que pontes convencionais e menores que as estaiadas. Este sistema foi desenvolvido pelo brasileiro Emílio Baumgart em 1930. A montagem desse tipo de estrutura é feita em módulos, como mostra a Figura 9.

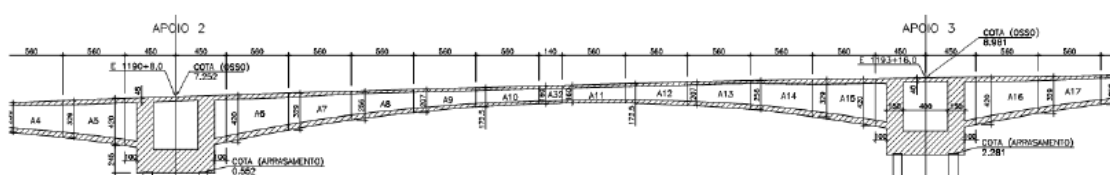


Figura 9. Corte longitudinal de uma ponte em balanços sucessivos (Fonte: VITÓRIO, 2015)

2.2. MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO CONCRETO

Na engenharia civil, entende-se por patologia o campo que estuda as origens, formas de manifestação, consequências e os mecanismos de ocorrência

das falhas e dos sistemas de degradação das edificações. Diversos fatores, desde as limitações científicas e tecnológicas dos processos e materiais, até falhas involuntárias ou casos de imperícia, acabam por afetar negativamente o desempenho das edificações, o que resulta na sua deterioração (SOUZA E RIPPER, 2009).

Os problemas patológicos, para Helene (1992) geralmente apresentam manifestações externas características, possibilitando a dedução acerca da natureza, origem e mecanismos dos fenômenos envolvidos, bem como as prováveis consequências. Os sintomas mais comuns observados nas estruturas de concreto são as fissuras, as eflorescências, as flechas excessivas, as manchas, a corrosão de armaduras e os ninhos de concretagem, seguindo a proporção apresentada na Figura 10.

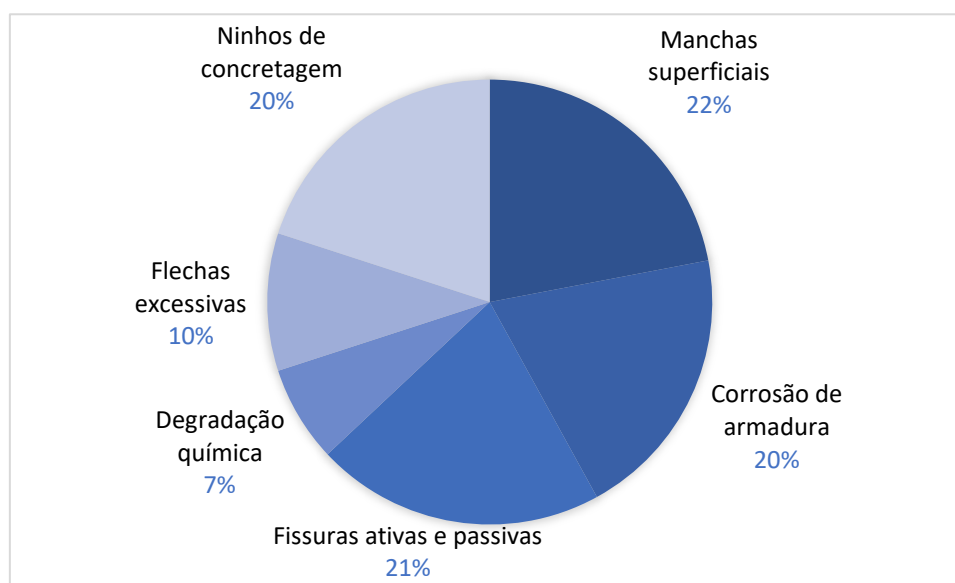


Figura 10. Distribuição relativa da incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto aparente. (HELENE, 1992)

Com relação aos mecanismos, Helene (1992) alerta sobre a importância de se conhecer os responsáveis pelo aparecimento das manifestações patológicas, para que se aplique uma terapêutica adequada. É imprescindível, por exemplo, saber que devem ser limitadas as sobrecargas, ou reforçadas as vigas, quando há fissuras que são consequência de momento fletor, caso contrário, se apenas fossem

reparadas, estas reapareceriam no mesmo lugar ou muito próximo das fissuras original.

As manifestações patológicas podem ser originadas em qualquer das fases da construção e uso das edificações. Grunau (1981, apud Helene, 1992) divide em cinco grandes etapas e indica no gráfico, apresentado na Figura 11, como se distribuí a origem destes problemas.

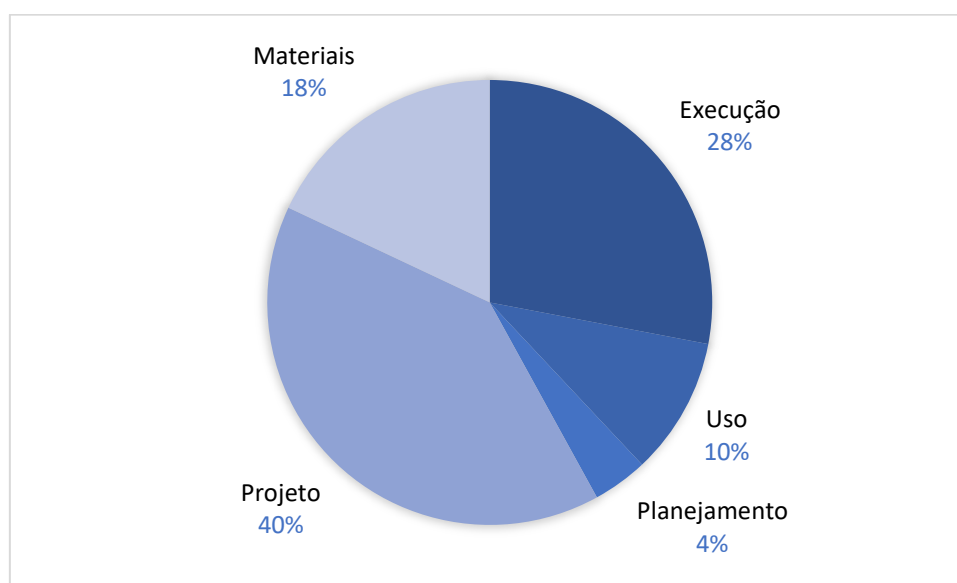


Figura 11. Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis. (GRUNAU, 1981 apud HELENE, 1992)

Em suas definições, a NBR 16747 (ABNT, 2020) apresenta a manifestação patológica como fruto de um mecanismo ou processo de degradação que age reduzindo o desempenho do concreto.

Um agente que costuma ser o principal fator para os problemas de durabilidade no concreto é água, seja por processos físicos em sólidos porosos ou por processos químicos pelo transporte de íons agressivos. Ressalta ainda que a maior parte do conhecimento sobre os processos físico-químicos de degradação do concreto provém de estudos em campo, visto a dificuldade de reprodução laboratorial das condições reais as quais as estruturas são submetidas. Destaca-se ainda que as causas de deterioração, geralmente, estão “interligadas e mutuamente se reforçando”, dificultando a separação das causas e seus efeitos, não se devendo

negligenciar as interações decorrentes de fenômenos simultâneos (MEHTA et al., 2008).

2.2.1. Causas e consequências

Para Souza e Ripper (2009), é indispensável o conhecimento da causa das manifestações patológicas, não somente para proceder com os reparos necessários, mas principalmente para garantir que eles sejam eficientes e duradouros. Cargas, variações de umidade, variações térmicas, agentes biológicos, incompatibilidade de materiais e agentes atmosféricos, são algumas dessas causas, ressaltando ainda, a importância de se diferenciar causa e origem: em um caso de fissura por momento fletor, por exemplo, a carga é a causa da fissura, mesmo quando a origem do problema seja um erro no projeto ou execução (HELENE, 1992).

As consequências de situações patológicas nas estruturas são divididas em dois grandes grupos: as relativas à segurança da estrutura e as que comprometem à higiene e estética. De forma geral, um quadro patológico pode levar a outro, ou seja, flechas excessivas em vigas ou lajes podem gerar fissuras, que, por sua vez, podem desencadear corrosão de armadura, e assim por diante. Nesse sentido, quanto antes um problema for identificado, mais durável, efetivo, fácil de executar e barato será o reparo, corroborando com a “Lei dos cinco”, de Sitter (1984), apresentada na Figura 12. Lei de evolução de custos - "Lei dos cinco". (SITTER, 1984 apud HELENE, 1992).

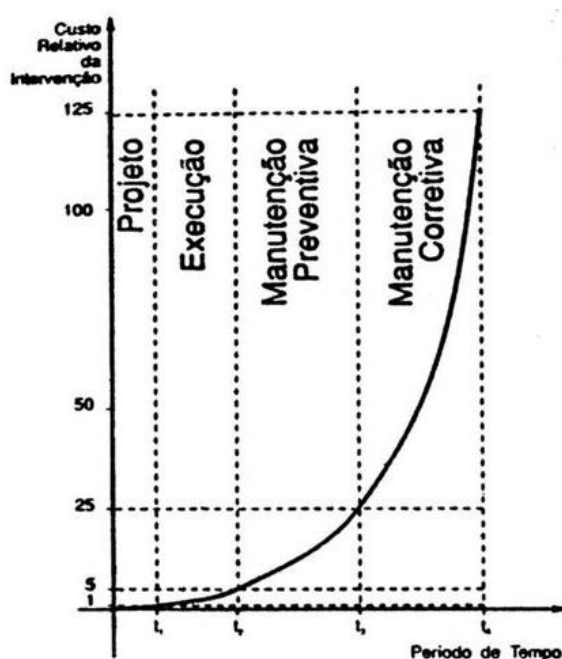


Figura 12. Lei de evolução de custos - "Lei dos cinco". (SITTER, 1984 apud HELENE, 1992)

Da mesma forma, as causas também podem ser classificadas em dois grupos: intrínsecas ou extrínsecas. Quando falamos de causas intrínsecas, está se referindo as deteriorações ligadas à própria estrutura. Dessa maneira, aqui englobam-se aquelas cuja origem está nos materiais e peças durante a fase executiva da obra, geradas pelas pessoas através de uso indevido ou aplicação de técnicas inadequadas. Nesta categoria estamos falando de problemas de concretagem (transporte, adensamento, cura, entre outros), problemas na construção de formas, problemas nas armaduras (posicionamento errado, cobrimento insuficiente, emendas mal executadas, entre outros), utilização inapropriada de materiais de construção, falta de manutenção, e outros. Quando falamos de causas extrínsecas, falamos das que não dependem da estrutura, podem ser chamadas de causas externas à estrutura. Aqui temos falhas de projeto, falhas humanas durante a utilização e ações físicas, químicas, biológicas ou mecânicas. (CARDOSO, 2018)

2.2.2. Corrosão de armadura

Como mostrado anteriormente, corrosão de armadura junto com fissuras e manchas representam mais de 60% das manifestações patológicas em estruturas de concreto. A não identificação deste problema pode levar a colapso de estruturas e perda de vidas, sendo fundamental compreender como ela ocorre de maneira geral e como ela afeta pontes e viadutos, objeto de estudo do presente trabalho.

2.2.2.1. Definição geral

Pode-se definir a corrosão como a deterioração de um material por ação química ou eletroquímica do meio ambiente, aliada ou não a esforços mecânicos. No caso do aço, a corrosão se dá por meio da oxidação, que pode ser entendida como o inverso do processo metalúrgico. O processo metalúrgico é responsável por extrair o metal de seus minérios, e o produto da oxidação deste metal é muito semelhante ao minério do qual foi extraído, isto é, o metal tendendo a retornar a sua condição de estabilidade (GENTIL, 1996).

Para Mehta e Monteiro (2008), a corrosão do aço no concreto é um processo eletroquímico podendo ser gerado ou pela composição de dois metais distintos embutidos no concreto, devendo eles apresentar características superficiais distintas, ou pela diferença de concentração de íons dissolvidos em regiões vizinhas às armaduras. Com o preenchimento dessas condições, forma-se uma região anódica e uma catódica, ocorrendo então a corrosão eletroquímica. O resultado dessa reação acarreta um aumento de volume no ferro, podendo levar a expansão e fissuração do concreto.

Corrosão é o produto de uma interação destrutiva de um material com o meio ambiente, fruto de reações químicas ou eletroquímicas, podendo ainda estar associadas ou não a ações físicas ou mecânicas de deterioração. No concreto, a corrosão da armadura se manifesta por manchas na superfície, fissuras, destacamento da camada de cobrimento, redução da seção resistente da armadura,

perda de aderência, comprometendo a segurança estrutural ao longo do tempo (RIBEIRO; CUNHA; HELENE, 2015).

Segundo Helene (1993), os produtos de corrosão variam sua coloração e propriedades, conforme o acesso de oxigênio na reação:

$2\text{Fe}^{2+} + 4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_2$ (hidróxido ferroso, fracamente solúvel, marrom)

$2\text{Fe}^{2+} + 4\text{OH}^- \rightarrow 2\text{FeO} \cdot \text{H}_2\text{O}$ (óxido ferroso hidratado, expansivo, marrom)

$4\text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3$ (hidróxido férrico, expansivo, avermelhado)

$3\text{Fe} + 8\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{e}^- + 4\text{H}_2\text{O}^{34}$ (óxido férrico, preto)

$4\text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (óxido férrico hidratado, expansivo)

Helene (1993) indica ainda que, para ocorrer a corrosão, três condições devem ser atendidas:

- Deve existir um eletrólito

No caso do concreto, na maioria das vezes, existe água em quantidade suficiente para atuar como eletrólito, principalmente nas regiões expostas à intempérie em climas úmidos. A umidade de equilíbrio nos poros do concreto comum varia entre 70 e 140 litros de água/m³, sendo suficiente para constituir-se num eletrólito transportando os íons necessários às reações de corrosão eletroquímica.

- Deve existir uma diferença de potencial de eletrodo

Diferenças de umidade, de aeração, de concentração salina, de tensão no aço ou no concreto, ou eventuais correntes de fuga ou pares galvânicos, são capazes de causar diferenças de potencial entre dois pontos da barra, desencadeando pilhas de corrosão eletroquímica.

- Deve existir oxigênio

Em concretos secos, não haverá corrosão, por falta de eletrólito, assim como em concretos totalmente saturados, visto que estes não terão acesso do oxigênio. Isso ocorre quando o concreto está submerso sob uma coluna de água superior a 1,5 metro (0,015 Mpa), superando a pressão parcial do oxigênio na atmosfera, impedindo que este se difunda no concreto. Em tais condições, a corrosão ocorrerá somente quando a corrente de corrosão for suficiente para promover a eletrólise da água, gerando volumes extras de oxigênio.

2.2.2.2. Corrosão de armadura em pontes e viadutos

Em estruturas de grande porte, como pontes e viadutos, as manifestações patológicas causadas pela corrosão de armaduras são frequentes. As manchas de corrosão e deslocamento de cobrimento são os principais sintomas causados pelo mecanismo da corrosão. (HELENE, 1992)

Segundo Sartori (2008), a ferrugem é um material não resistente e, na imensa maioria das vezes, expansivo, ocupando um volume maior que o da armadura original. Esta variação no volume gera um estado de tensões de tração, fissurando o concreto e podendo até desintegrá-lo, expondo as armaduras por deslocamento do concreto. Ao mesmo tempo, a corrosão traz perda de seção para o aço, podendo, em grau avançado, levar a estrutura à ruína.

A Figura 13 apresenta um exemplo de corrosão severa, e consequente deslocamento de concreto, na estrutura de uma ponte em Recife – PE



Figura 13. Ponte do Derby - Recife – PE (DIÁRIO DE PERNAMBUCO, 2019)

2.2.3. Infiltração

A água, em qualquer dos seus estados, é um dos maiores causadores de manifestações patológicas, seja como agente de degradação ou como meio para ação de outros agentes (QUERUZ, 2007 apud RIGHI, 2009).

Polisseni (1985), lista as principais fontes de umidade nas edificações:

- Umidade ascensional proveniente do solo;

Segundo Polisseni (1985), a água vem do solo por capilaridade, ou seja, através dos interstícios microscópicos existentes nos materiais, em que as forças capilares são inversamente proporcionais ao diâmetro dos poros. Esta umidade entra em contato com a fundação e, em paredes de tijolos, alcança em média 80 cm, podendo chegar até 1,5 m, como afirma Seele (2000).

- Absorção e penetração de água da chuva;

A água passa das áreas externas para as internas por pequenas trincas, por falhas em elementos construtivos, e até mesmo pela propriedade de absorção dos materiais, situação que é agravada quando a chuva é combinada com vento, aumentando a pressão de infiltração. (RIGHI, 2009)

- Umidade de condensação;

O alto grau de umidade do ar, combinado com a existência de superfícies que estejam com temperatura abaixo do ponto de orvalho, resultam no aparecimento da umidade condensada. Feilden (2003 apud QUERUZ, 2007) ressalta que este tipo de umidade, se em grande quantidade, tende a ser mais danoso que a própria água da chuva, pois o vapor de água carrega partículas em suspensão, como moléculas de carbono, sulfato de cálcio e óxidos de ferro.

- Umidade incorporada durante o processo de construção;

Conforme Lersch (2003), este tipo de umidade é o resta presente na edificação após o término das atividades da obra, e tende a desaparecer gradualmente. Usa como exemplo desse tipo de situação a umidade contida nas argamassas de reboco, onde o seu excesso é transferido para a parte interna das alvenarias, demandando um tempo maior do que a própria cura do reboco para entrar em equilíbrio com o ambiente interno (RIGHI, 2009).

- Umidade accidental.

Este tipo de umidade é proveniente de falhas nos sistemas hidráulicos, como águas pluviais, esgoto e água potável (RIGHI, 2009). Lersch (2003) aponta que este tipo de umidade ocorre muitas das vezes por imperícia e negligência na

administração das águas servidas, como vazamentos não consertados e águas paradas.

2.2.3.1. Efeitos da presença de umidade nas edificações

Segundo Pinto (1996, apud Righi, 2009), as principais manifestações patológicas decorrentes da umidade são:

- Carbonatação;
- Corrosão de armadura
- Degradação do concreto, argamassa, gesso e demais materiais hidrossolúveis presentes na edificação
- Eflorescências
- Gotejamento de água;

Umidade excessiva do ar que ao encontrar uma superfície com temperatura inferior ao ponto de orvalho, condensa e precipita ao atingir determinado volume.

- Manchas de umidade;
Muitas vezes relacionadas à fungos que surgem mediante a condições de umidade e Ph, e que prejudicam não somente a estética, mas principalmente podem desencadear alergias e doenças respiratórias.
- Vesículas;
Refere-se às bolhas na pintura, que apresentam em seu interior cores branca, preta e vermelho acastanhado.

2.2.4. Lixiviação e Eflorescência

Pela NBR 6118 (2014), que discorre sobre o projeto de estruturas de concreto armado, o processo de lixiviação ocorre por ação de águas puras,

carbônicas agressivas ou ácidas, dissolvendo e carreando os compostos hidratados da pasta de cimento.

Pode ser descrita como uma manifestação patológica decorrente da percolação de água em concretos fissurados ou com alta permeabilidade, acarretando um processo químico de remoção de compostos hidratados da pasta de cimento, reduzindo então o pH do concreto (HELENE, 1997).

A incidência da lixiviação leva ainda a um aumento da porosidade no concreto, a diminuição de íons OH^- nos poros, fazendo com que a permeabilidade de água aumente e o processo se acelere. O efeito traz como consequência a redução da resistência do concreto, com o aumento de vazios, e o aumento da chance de corrosão da armadura, devido a redução do pH. (EKSTRÖM, 2001).

Um estudo realizado por Ahmed Al-Ostaz (2004) apontou que a eflorescência decorrente da hidrólise dos componentes da pasta de cimento é o sinal mais comum de deterioração em pontes e viadutos no Mississippi. Ressalta que a água utilizada para o preparo do concreto contém cloretos, sulfatos e bicarbonatos de magnésio e cálcio, que não atacam os componentes da pasta de cimento Portland. Já águas de chuva, condensação ou de degelo costumam ser pobres em íons de cálcio, e quando adentram a mistura de concreto, tendem a hidrolisar ou dissolver o cálcio da mistura, abandonando géis de sílica ou alumínio com pouca ou nenhuma resistência.

Segundo Mehta et al (2008), um dos constituintes da pasta de cimento Portland hidratada com mais susceptibilidade à hidrólise é o hidróxido de cálcio, em função da sua solubilidade em água pura (1230mg/L), continuando a hidrólise até que a maior parte do hidróxido de cálcio tenha sido eliminado por lixiviação. Isso leva ao problema da eflorescência, fruto da interação do produto lixiviado com o CO_2 presente no ar, formando uma crosta esbranquiçada de carbonato de cálcio na superfície.

Duchesne et al (2013) aponta que a dissolução dos hidratos durante a lixiviação está diretamente ligado com as suas propriedades de solubilidade, sendo que a portlandita começa a se dissolver quando a concentração íons de cálcio no poro é inferior a 22 mmol/L. Em valores de pH inferiores a 12,5, a portlandita é a

primeira ser dissolvido, seguido pela etringita (10,6), C-S-H (aproximadamente 10,5) e finalmente os sulfoaluminatos de cálcio, deixando como resíduo gel de sílica. Como resultado, temos o aumento da permeabilidade e porosidade, levando a redução da alcalinidade, perda de massa, aumento dos processos de deterioração e perda de resistência e rigidez do concreto.

Sobre a velocidade do lixiviamento, evidencia que o pH da água tem forte influência e que a solubilidade da portlandita aumenta com a presença de sais alcalinos, acelerando o processo (DUCHESNE et al., 2013).

Garcia (1999) caracteriza a eflorescência como o depósito de sais por cristalização na superfície exterior dos elementos, sendo que a água leva essas partículas do interior do concreto, depositando-os na superfície e então evaporando. As aparições mais recorrentes nesses casos são as do sulfato de cálcio (Ca_2SO_4) e a do carbonato de cálcio (CaCO_3).

2.2.5. Fissuração

Para Laner (2001), uma das manifestações patológicas mais comumente encontradas, a fissuração é característica de estruturas de concreto, ocorrendo por diversos motivos diferentes e tendo como consequência desde um mal estar visual até impactos estruturais. Para identificar o que está causando o aparecimento e/ou aumento de uma fissura em uma estrutura, é possível olhar para diversas características, como: abertura da fissura, trajetória, espaçamento, entre outros.

Segundo o Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos: “As trincas e fissuras são de diversos tipos e podem ter diferentes causas; a importância destas patologias depende do tipo de estrutura, de sua localização e se suas aberturas e comprimento são influenciados pelo tempo e pelo carregamento” (DNIT, 2010).

Cardoso (2018) ressalta que por ser um material com baixa resistência a tração, fissurações no concreto são comuns e até esperadas, porém é importante determinar qual a origem, intensidade e magnitude da mesma.

A fissura pode ser classificada como ativa ou passiva, sendo o termo referente à progressão do aumento com o tempo. Uma fissura ativa está em crescimento durante um período de tempo, já as fissuras passivas tiveram seu crescimento interrompido. (LANER, 2001).

Ainda, de acordo com a NBR 9575 (ABNT, 2003) as fissuras podem ser classificadas de acordo com sua abertura. Considera-se fissura as ocorrências com abertura igual ou menor que 0,5 mm, microfissuras quando a abertura é igual ou inferior a 0,05 mm e trincas quando alcançam valores superiores a 0,5 mm e inferiores a 1 mm.

Segundo Laner (2001), por mais que, em casos extremos, possa existir dano estrutural causado por fissuras, o maior perigo reside na abertura da superfície do concreto para ataques de fora. Uma fissura, por menor que seja, permite a entrada de agentes nocivo, sendo uma das principais responsáveis pelo surgimento a aceleração de casos de corrosão de armadura.

Para entender como evitar o surgimento de fissuras, é importante estudar as diversas causas que podem acarretar no aparecimento deste tipo de manifestação patológica. Podemos dividir as fissuras em dois grandes grupos: fissuras causadas durante o estado fresco do concreto e fissuras causadas no estado endurecido. Na sequência vamos abordar esses dois casos.

2.2.5.1. Fissuras no estado fresco

São caracterizadas por ocorrer antes do endurecimento do concreto, nos momentos posteriores ao lançamento, que pode variar de uma até doze horas, dependendo da temperatura do local da concretagem, da umidade do concreto e do ar e do uso, ou não, de aditivos e adições. (DAL MOLIN, 1988)

A primeira causa de fissuras, gerada no estado fresco, é a dessecação superficial. Caracterizada pela perda de água de amassamento em excesso, que pode ser ocasionado por evaporação excessiva, absorção do líquido pelos agregados da composição ou pela forma. (LANER, 2001)

De acordo com Dal Molin (1988), quanto maior a superfície exposta da peça a ser concretada e menor sua espessura, maior a probabilidade de se ocorrer a dessecação superficial. Algumas ações podem ser tomadas para prevenir o aparecimento deste tipo de fissuração, como:

- Molhagem dos agregados secos, sub-base e fôrmas;
- Reduzir a temperatura do concreto fresco, através do resfriamento do agregado;
- Barrar a área concretada de forma que se impeça a ação do vento no local, para diminuir a velocidade de evaporação;
- Evitar demoras no lançamento do concreto;
- Fazer a cura correta do concreto, evitando a evaporação excessiva da água de amassamento.

A segunda causa de fissuras, gerada no estado fresco do concreto, é o assentamento plástico, também chamado de sedimentação. Costuma ocorrer nas primeiras horas após o lançamento, ocasionado pela sedimentação dos compostos sólidos da mistura e pela ascensão do ar e da água para a superfície. (LANER, 2001)

Essa movimentação dos sólidos da mistura e a subida dos líquidos e gases gera uma maior evaporação de água e saída de ar, gerando uma diminuição no volume, ainda no estado fresco, que pode vir a ocasionar no aparecimento de fissuras.

Para evitar esse acontecimento, algumas medidas podem ser tomadas, como:

- Garantir a boa dosagem do concreto, pois, caso contrário, pode interferir na velocidade e quantidade de exsudação;

- Evitar a utilização de vibradores de forma excessiva, pois pode provocar o fenômeno da segregação descrito anteriormente;
- Garantir a estanqueidade e boa montagem das fôrmas.

A terceira causa geradora de fissuras em um concreto, ainda no estado fresco, é a movimentação dos escoramentos e fôrmas da estrutura. Quando executadas de forma incorreta, o peso do concreto pode ocasionar na movimentação das estruturas de suporte, provocando a abertura dos mesmos. Essas movimentações, mesmo pequenas, podem ocasionar no surgimento de fissuras durante o processo de endurecimento do concreto. (LANER, 2001)

2.2.5.2. Fissuras no estado endurecido

Na sequência, vamos entrar nas causas de fissuras considerando o estado endurecido do concreto. Para esse tipo de fissuração, vale notar que seu aparecimento pode se dar nos primeiros meses da estrutura ou após anos da concretagem.

Segundo Laner (2001), a primeira dessas causas é a movimentação térmica, que pode ser influenciada por causas internas ou externas. Quando estamos falando de influência interna, ocorre quando temos um grande aumento na temperatura interna da massa, devido às reações exotérmicas geradas pela hidratação do concreto. Durante o endurecimento, as áreas mais superficiais da peça perdem temperatura mais rapidamente do que o interior, ocasionando em fissurações. Esse tipo de ocorrência pode ser esperado se a diferença da temperatura da área externa para a área interna da massa de concreto for superior a 20°C. Já as fissuras externas ocorrem pela variação térmica exterior que causa o surgimento de esforços de tração no concreto.

A segunda causa de fissuração do concreto no estado endurecido é a movimentação hidráulica, cujo surgimento é acarretado pela saída de água dos poros do concreto, ocasionando no surgimento de esforços de tração no concreto.

Caso o elemento esteja impedido de se deformar, esse tipo de esforço vai levar o concreto a se fissurar ou trincar.

Na sequência temos as sobrecargas como causadoras de fissuração no concreto no estado endurecido. Caso os esforços alcancem valores superiores aos previstos em projeto, o concreto vai, inevitavelmente, vir a fissurar. Além de esforços não previstos, as fissuras podem ser ocasionadas por armadura e ancoragem insuficientes, concreto com resistência insuficiente ou posicionamento incorreto das armaduras. (LANER, 2001)

De acordo com Cardoso (2018), as sobrecargas podem ter origem de diferentes tipos de esforços, que por sua vez geram um tipo específico de fissura. Temos fissuras de tração causadas pelo esforço de flexão, fissuras de compressão, fissuras causadas pelo esforço cortante e fissuras causadas por torção.

Por fim, temos as fissuras causadas por problemas de fundação. Usualmente, este tipo de manifestação patológica é decorrente de recalques diferenciais no solo, que por sua vez pode ser causado por rupturas nas camadas de solo, erro de projeto, falhas de concretagem, entre outros.

2.2.6. Vazios de concretagem

Vazios de concretagem, também chamados de bicheiras, são manifestações patológicas provenientes do uso inadequado das fôrmas, como também sua montagem incorreta e erros no momento da concretagem em si, como velocidade de despejo e falha de dosagem. Seja pela falta de projeto ou pela inadequação do mesmo, ou, ainda, da execução incorreta e adensamentos não apropriado, podem acarretar no surgimento de vazios dentro da peça de concreto. (TAKATA, 2009)

A existência desses vazios pode causar na exposição da armadura, facilitando a entrada de agentes agressivos que podem exponencialmente reduzir o tempo de vida útil da estrutura e necessitar de gastos de reparo que poderiam ser evitados com alguns cuidados. Afetam, portanto, a durabilidade e resistência, sendo, ainda, visualmente desagradáveis.

Segunda Takata (2009), uma das causas mais comuns é o excesso de armadura no dimensionamento, que dificulta a utilização de equipamentos de adensamento, impedindo a passagem do agregado. Ainda, um concreto com uma mistura de agregados sem muita variação de diâmetro pode auxiliar no surgimento de vazios. Em casos de obras com grande quantidade de aço, uma forma de se minimizar as chances da criação de vazios é a utilização de concreto auto adensável, que dispensa a utilização de equipamentos para garantir o correto adensamento do concreto.

Outra causa possível é a vibração excessiva do concreto no estado fresco, pois isso pode causar em uma maior segregação dos agregados presentes na mistura. É necessário também verificar a altura de lançamento do concreto, que, segundo a NBR 14931 (ABNT, 2003), não deve ser superior a 2 metros.

2.3. NORMAS E METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO

A base de dados do DNIT consta com 8373 obras de arte especiais cadastradas em seu sistema (DNIT VGeo, 2020). É fundamental que exista um monitoramento dessas estruturas para que elas possam desempenhar a sua função sem causar risco à sociedade.

Abordaremos então duas metodologias de inspeção em OAEs, uma elaborada pelo DNIT em 2004 e outra pela ABNT, atualizada em 2019.

2.3.1. Norma DNIT 010/2004 – PRO – Inspeção em pontes e viadutos de concreto armado e protendido – Procedimento

Essa normativa versa sobre as condições necessárias para a realização de inspeção em pontes e viadutos de concreto armado e protendido, trazendo também o planejamento e o procedimento para a realização de inspeções, explicando os seus tipos e frequência de realização.

Existem 5 tipos de inspeção apresentados pela norma:

- Cadastral;
- Rotineira;
- Extraordinária;
- Especial;
- Intermediária.

A inspeção cadastral é a primeira inspeção a ser realizada em uma ponte, devendo ocorrer logo após a conclusão da obra, sendo possível conferir os elementos de projeto e relatórios de fiscalização ou supervisão, contendo os informes construtivos. Esse tipo de inspeção também deve ser realizado na ocorrência de modificações na configuração estrutural da ponte. Por ser fartamente documentada, servirá de base para as inspeções seguintes.

A inspeção rotineira tem uma periodicidade de dois anos, verificando-se visualmente eventuais falhas, reparos, reforços e qualquer modificação de projeto que eventualmente tenha sido realizado.

Inspeções extraordinárias não são programadas e devem ocorrer quando houver algum dano estrutural excepcional, causado pelo homem ou pela natureza.

A inspeção especial deve ser realizada em intervalo não superior a cinco anos, sendo uma avaliação visual rica em detalhes. Quando necessário, instrumentos de precisão devem ser utilizados para medição de flechas e deformações. Deve ser realizada, ainda, quando detectado em outra inspeção algum defeito grave ou crítico na estrutura da obra, em pontes que se distinguem por sua complexidade e antes e durante a passagem de cargas excepcionais.

A inspeção intermediária ocorre quando é necessário monitorar uma deficiência suspeitada ou já detectada, como recalque de fundação, ou o estado de um determinado elemento estrutural.

Nos Anexos A e B da norma existem fichas modelo para preenchimento dos resultados obtidos em inspeções do tipo Cadastral e Rotineira. Já as instruções para atribuição de notas está presente no Anexo C, apresentado aqui no Quadro 1. As demais inspeções devem seguir as diretrizes das fichas de inspeções rotineiras.

Notas variando de 1 a 5 refletem a maior ou menor gravidade dos problemas existentes nos elementos da ponte, sendo que a nota final corresponde a menor dentre as notas recebidas pelos seus elementos com função estrutural

NOTA	DANOS NO ELEMENTO / INSUFICIÊNCIA ESTRUTURAL	AÇÃO CORRETIVA	CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE	CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DA PONTE
5	Não há danos nem insuficiência na estrutura	Nada a fazer	Boa	Obra sem problemas
4	Há alguns danos, mas não há sinais de que estejam gerando insuficiência estrutural	Nada a fazer; apenas serviços de manutenção	Boa	Obra sem problemas importantes
3	Há danos gerando alguma insuficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra	A recuperação da obra pode ser postergada, devendo-se, porém, neste caso, colocar-se o problema em observação sistemática	Boa aparentemente	Obra Potencialmente Problemática Recomenda-se acompanhar a evolução dos problemas através das inspeções rotineiras para detectar, em tempo hábil, um eventual agravamento da insuficiência estrutural
2	Há danos gerando significativa insuficiência estrutural na ponte, porém não há ainda, aparentemente, um risco tangível de colapso estrutural	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) da obra deve ser feita no curto prazo.	Sofrível	Obra problemática Postergar demais a recuperação da obra pode levá-la a um estado crítico, implicando também sério comprometimento da vida útil da estrutura. Inspeções intermediárias são recomendáveis para monitorar os problemas.
1	Há danos gerando grave insuficiência estrutural na ponte; o elemento em questão encontra-se em estado crítico, havendo um risco tangível de colapso estrutural.	A recuperação (geralmente com reforço estrutural) - ou em alguns casos, substituição da obra - deve ser feita sem tardar	Precária	Obra crítica Em alguns casos, pode configurar uma situação de emergência, podendo a recuperação da obra ser acompanhada de medidas preventivas especiais, tais como: restrição de carga na ponte, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramentos provisórios, instrumentação com leituras contínuas de deslocamentos e deformações etc.

Quadro 1. Instruções para atribuição de notas de avaliação (DNIT, 2004)

2.3.2. NBR 9452:2019 – Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento

Esta norma traz os requisitos para realização de inspeções em pontes, viadutos e passarelas de concreto, podendo classificar a OAE quanto parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade. Apresenta como definição de inspeção de estruturas de concreto o conjunto de procedimentos que compreendem a coleta de dados e a formulação de um diagnóstico e prognóstico da estrutura (NBR 9452:2019)

A NBR 9452 (ABNT, 2019) classifica os tipos de inspeções em 4, sendo eles:

- Cadastral
- Rotineira
- Especial
- Extraordinária

A inspeção cadastral é a primeira a ser realizada, devendo ocorrer logo após a conclusão da obra, instalação ou quando houver alguma alteração na OAE, sendo juntada as documentações e informes construtivos, feito um levantamento cadastral com características estruturais e funcionais e detecção de anomalias da estrutura, aparelhos de apoio e entorno, pistas e entorno, juntas de dilatação, e obras ferroviárias, se for o caso.

A vistoria rotineira é destinada a manter o cadastro da obra atualizado, com recorrência não superior a um ano. Com a sua realização é possível identificar eventuais anomalias já relatadas em inspeções anteriores bem como a novas ocorrências e reparos realizados no período. Apesar de conseguir detectar as manifestações patológicas, nessa etapa não se pode identificar precisamente o seu real estado de conservação

O tipo especial, com periodicidade de 5 anos, visa um mapeamento completo das manifestações patológicas, sendo necessário o uso de equipamentos

especiais para a sua realização. Com ela realizada, é possível ter um diagnóstico completo da estrutura da OAE e então indicar as corretas manutenções.

A inspeção extraordinária não é programada, devendo ocorrer mediante a necessidade decorrente de

- Identificação de anomalias em vistorias anteriores;
- Impacto de veículo, trem ou embarcação;
- Ocorrência de eventos da natureza, como inundação, vendaval, sismo e outros.

Com a inspeção realizada, é possível classificar a OAE segundo parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade. Quanto ao aspecto estrutural, destaca-se a importância da estabilidade e capacidade portante, atendendo os critérios de estados limites último e de utilização, conforme NBR 6118 (ABNT, 2014). Já os parâmetros funcionais abordam os fins em que a OAE se destina, atendendo requisitos geométricos, e de conforto e segurança de seus usuários. Os parâmetros de durabilidade referem-se a características de vida útil, diretamente vinculada à resistência da estrutura contra ataques de agentes ambientais agressivos, abordando a ausência de cobrimento de armadura, corrosão, fissuração, entre outras.

Para a classificação da OAE, a NBR 9452 (ABNT, 2019) apresenta uma tabela com notas variando de 1 a 5, refletindo a maior ou menor gravidade dos problemas detectados, demonstrado aqui no Quadro 2. Analisa-se então a super estrutura, a meso estrutura, a infraestrutura, elementos complementares e a pista. A nota final deve ser a menor nota atribuída ao parâmetro analisado

Nota de Classificação	Condição	Caracterização estrutural	Caracterização funcional	Caracterização de durabilidade
5	Excelente	A estrutura apresenta-se em condições satisfatórias, apresentando defeitos irrelevantes e isolados.	A OAE apresenta segurança e conforto aos usuários	A OAE apresenta-se em perfeitas condições, devendo ser prevista manutenção de rotina.
4	Boa	A estrutura apresenta danos pequenos e em áreas, sem comprometer a segurança estrutural.	A OAE apresenta pequenos danos que não chegam a causar desconforto ou insegurança ao usuário.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa agressividade ambiental
3	Regular	Há danos que podem vir a gerar alguma deficiência estrutural, mas não há sinais de comprometimento da estabilidade da obra. Recomenda-se acompanhamento dos problemas. Intervenções podem ser necessárias a médio prazo	A OAE apresenta funcionalidade visivelmente comprometida, com risco de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo.	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometam sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental
2	Ruim	Há danos que comprometem a segurança estrutural da OAE, sem risco iminente. Sua evolução pode levar ao colapso estrutural. A OAE necessita de intervenções significativas a curto prazo	A OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com risco de segurança ao usuário, requerendo intervenções de curto prazo	A OAE apresenta anomalias moderadas a abundantes, que comprometem sua vida útil, em região de alta agressividade ambiental
1	Crítica	Há danos que geram grave insuficiência estrutural na OAE. Há elementos estruturais em estado crítico, com risco tangível de colapso estrutural. A OAE necessita intervenção imediata, podendo ser necessária restrição de carga, interdição total ou parcial ao tráfego, escoramento provisório e associada instrumentação, ou não	A OAE não apresenta condições funcionais de utilização	A OAE encontra-se em elevado grau de deterioração, apontando problemas de risco estrutural e/ou funcional.

Quadro 2. Classificação da condição da OAE segundo parâmetros estrutural, funcional e de durabilidade (NBR 9452:2019)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo visa elucidar e esclarecer as etapas do processo de vistoria realizado pelos autores, bem como trazer algumas considerações relevantes sobre a escolha dos viadutos vistoriados e desafios encontrados em campo.

No total, foram escolhidos 15 viadutos da cidade de Curitiba, com o intuito de trazer uma amostra representativa e cujo comportamento representa a população total de viadutos da capital paranaense.

A vistoria foi realizada pelos autores durante a terceira semana de julho (19/06/2020 até 25/06/2020). Durante as vistorias, o clima da cidade de Curitiba estava quente, com poucas chuvas no período. Todas as fotos das vistorias presentes neste trabalho foram tiradas pelos autores com seus aparelhos celulares.

Para a realização das visitas, foi tomado um cuidado especial devido ao panorama global e a situação de quarentena na qual a cidade se encontrava. Por isso, foram realizadas as visitas fora dos horários de pico e em horários com menos tráfego de automóveis e pedestres.

As inspeções foram feitas visualmente, sem o uso de nenhum equipamento ou ensaio específico. Foi analisado primeiramente o panorama da estrutura como um todo e, na sequência, foram levantadas as manifestações patológicas presentes, sua localização na estrutura e seu grau de severidade. Esses detalhes e a forma de classificação será trazida ao fim desta seção, junto com o modelo de ficha utilizada pelos autores para as vistorias.

A escolha dos 15 viadutos levou em consideração localização, materiais construtivos e idade. Procurou-se trazer uma boa distribuição em áreas mais residenciais, áreas centrais e áreas na parte externa da cidade, com o intuito de identificar possíveis similaridades entre os viadutos de cada tipo de local. Ainda, focou-se em estruturas de concreto armado, cuja construção não aconteceu nos últimos anos. Comparada com outras cidades e capitais do país, a cidade de Curitiba não possui um volume muito grande de viadutos urbanos.

Antes do início das visitas, os autores presumiram que iriam encontrar algumas estruturas em um estado maior de deterioração, no entanto verificou-se que, em geral, o estado de conservação dos viadutos estava bom. Notou-se, ainda, que existe um trabalho constante da prefeitura da cidade para manter as estruturas pintadas e bem conservadas. Os resultados e análises encontrados estão expostos na próxima seção do presente trabalho.

Os viadutos de 1 a 6 estão dispostos no decorrer de uma mesma rua, em uma região residencial da cidade, caracterizada pela existência de prédios altos (mais de 15 andares). A Rua Deputado Heitor Alencar Furtado faz parte de um dos eixos estruturantes do sistema viário de Curitiba. Dessa forma, consiste em uma via central e duas vias estruturais, conhecido como sistema trinário de vias, mostrado na Figura 14. A via central possui uma canaleta destinada exclusivamente ao transporte coletivo e duas vias lentas para circulação normal, as quais possuem sentidos únicos e opostos. As vias estruturais servem de suporte e estão localizadas nos dois lados da via central, a uma distância de uma quadra do eixo. Possuem trânsito rápido e são vias de sentidos únicos e opostos.



Figura 14. Sistema trinário. (URBS, 2020)

A função dos eixos estruturantes é ligar o centro da cidade aos bairros. Curitiba possui 5 grandes eixos (norte, leste, oeste, sul e boqueirão), sendo a Rua Deputado Heitor Alencar Furtado parte do eixo oeste.

Isso faz com que os viadutos nela presente estejam inseridos em uma área com tráfego intenso de ônibus e circulação constante de veículos, entrando e saindo dos diversos prédios da região.

O viaduto número 7 encontra-se mais ao centro, porém ainda não está localizado na parte central da cidade. Encontra-se próximo ao cruzamento da Rua Euclides da Cunha com a Rua Padre Anchieta (também uma das vias constituintes do eixo Oeste).

Na região central, os viadutos 8, 9 e 10 são caracterizados por serem exclusivamente para a passagem de veículos, ou seja, não possuem espaço para a circulação de pedestres. Ainda, não possuem pilares de concreto, como mostram as imagens presentes no Anexo X. São viadutos que possibilitam o cruzamento de ruas em níveis diferentes no espaço apertado do centro da cidade.

O viaduto 11 encontra-se no início da Avenida Victor Ferreira do Amaral, principal via de acesso a cidade de Piraquara, na região metropolitana de Curitiba. É um viaduto duplo, em cuja parte superior passa a Avenida Nossa Senhora da Luz. Está próximo do Hospital das Nações e, por todos estes motivos, também é um local de tráfego intenso de veículos, durante todo o decorrer do dia.

Os viadutos 12 e 13 localizam-se na Linha Verde, sendo que o primeiro está no cruzamento com a Avenida Victor Ferreira do Amaral e o segundo no cruzamento com a Avenida Presidente Affonso Camargo.

Os autores já haviam vistoriado o viaduto 13 em uma aula prática realizada com a turma do curso de especialização em Engenharia de Avaliações e Perícia. Conforme será aprofundado na análise dos resultados, este foi um dos viadutos que mostrou o pior estado de conservação e o maior número de manifestações patológicas.

Por fim, os viadutos 14 e 15 também se localizam em um cruzamento contendo a Linha Verde, sendo o primeiro com a BRR-277, em seu início sentido

litoral, e o segundo com a Avenida Comendador Franco, principal via de acesso ao Aeroporto Internacional Afonso Pena, na cidade de São José dos Pinhais.

Os autores consideraram a vistoria de mais 2 viadutos, porém foram descartados por motivos de segurança. O viaduto do Capanema e o viaduto do colorado, dois viadutos próximos localizados no bairro Jardim Botânico, estão em regiões perigosas da cidade e, por este motivo, não foram vistoriados, sendo o número de 15 viadutos totais vistoriados satisfatórios para o objetivo do presente trabalho.

Com exceção dos viadutos 8, 9 e 10, os demais tiveram suas vistorias feitas com os autores a pé, inspecionados as diversas partes das estruturas. Para os 3 aqui mencionados, por não possuírem local para circulação de pedestres, os autores fizeram diversas passagens de carro pelas estruturas, tirando as fotos presentes neste trabalho e avaliando as condições de conservação das estruturas.

Para as inspeções, os autores confeccionaram uma ficha padrão para preenchimento. As fichas preenchidas encontram-se no APÊNDICE 1 do presente trabalho.

Abaixo temos os viadutos em análise neste trabalho, sendo que a Figura 15 mostra a localização geográfica de cada um deles.

1. Rua Deputado Heitor Alencar Furtado x Rua João Falarz
2. Rua Deputado Heitor Alencar Furtado x Rua Oscar Borges de Macedo Ribas
3. Rua Deputado Heitor Alencar Furtado x Rua Dr. Brassílio Vicente de Castro
4. Rua Deputado Heitor Alencar Furtado x Rua Luiza Mazzetto Baggio
5. Rua Deputado Heitor Alencar Furtado x Rua Geraldo Lipka
6. Rua Deputado Heitor Alencar Furtado x Rua Paulo Gorski
7. Rua Euclides da Cunha x Rua Padre Anchieta
8. Rua Martin Affonso x Rua Jaime Reis
9. Rua Inácio Lustosa x Rua Jaime Reis
10. Rua Augusto Stelfeld x Al. Dr. Muricy
11. Av. Victor Ferreira do Amaral x Av. Nossa Senhora da Luz
12. Av. Victor Ferreira do Amaral x Linha Verde
13. Av. Pres. Affonso Camargo x Linha Verde

14. BR-277 x Linha Verde

15. Av. Comendador Franco X Linha Verde



Figura 15. Localização dos viadutos vistoriados. (Os Autores, 2020)

As estruturas foram analisadas para os 5 tipos de manifestações patológicas mais comum de serem encontradas em viadutos: corrosão de armadura, infiltração, lixiviação (e consequentemente, eflorescência), fissuração e vazios de concretagem.

Para cada uma das ocorrências, foi estipulado um grau de 5 a 1, sendo 5 os casos menos críticos e 1 os casos mais críticos. Ainda, foi considerado o local em que as manifestações estavam presentes, da seguinte maneira:

- Superestrutura
 - Lajes;
 - Vigas.
- Mesoestrutura
 - Aparelhos de apoio;
 - Juntas de dilatação;
 - Encontros;
 - Outros elementos.

Por fim, a ficha (Figura 16) contém, ainda, um espaço para informações complementares.

Parte I - Informações gerais																									
Data da inspeção:																									
Localização:																									
Parte II - Registro de manifestações patológicas																									
Manifestação Patológica	Corrosão de armadura					Infiltração					Lixiviação e Eflorescência					Fissuração					Vazios de concretagem				
Grau	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
Superestrutura:																									
Lajes:																									
Vigas:																									
Mesoestrutura:																									
Aparelhos de apoio:																									
Juntas de dilatação:																									
Encontros:																									
Outros elementos:																									
Total																									
Informações Complementares:	*																								

Figura 16. Ficha de inspeção utilizada em campo. (Os Autores, 2020)

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Tendo em mãos os dados coletados durante as vistorias, partiu-se para a análise. Inicialmente, verificou-se a distribuição de todos os casos encontrados, demonstrados na Figura 17.

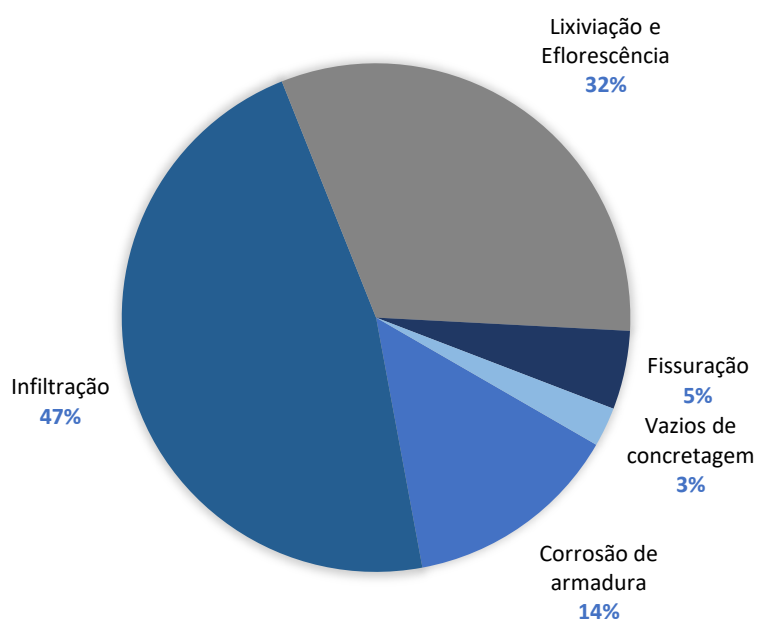


Figura 17 Distribuição geral das manifestações patológicas encontradas nos viadutos (Os Autores, 2020)

Primeiramente, nota-se que quase 80% dos problemas encontrados são gerados diretamente pela umidade, sendo estes as infiltrações e as lixiviações e eflorescências, mesmo deixando de somar os casos de corrosão e fissuração, que também podem ter suas causas atreladas à umidade. Nesse contexto, verificou-se durante as vistorias uma relação direta entre as condições observadas nos viadutos e a insolação à que estes estão expostos, sendo que quanto maior a exposição ao sol, menor a quantidade de manifestações encontradas.

No que se refere à corrosão de armadura, apesar de ter uma incidência relativamente baixa, deve-se tomar muito cuidado, pois quando este fenômeno pode ser observado por uma inspeção visual, entende-se que o processo está avançado, exigindo que medidas sejam tomadas com certa urgência.

Na Figura 18 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, abordou-se o aparecimento de cada classe de manifestação patológica em cada viaduto.

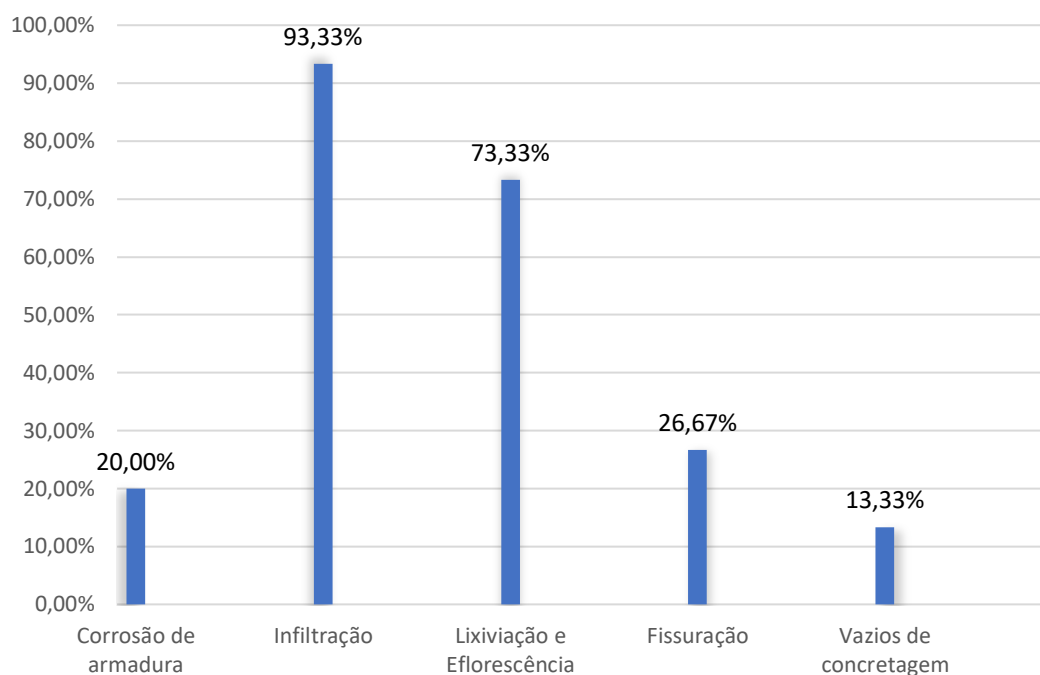


Figura 18 - Porcentagem de viadutos que apresentaram cada classe de manifestação patológica (Os Autores, 2020)

Como se esperava analisando a Figura 17 Distribuição geral das manifestações patológicas encontradas nos viadutos (Os Autores, 2020), a esmagadora maioria dos viadutos apresentou problemas de infiltração e grande parte deles apresentando também situações de lixiviação e eflorescência. Verificou-se ainda que em todos os viadutos foi observado ao menos uma manifestação patológica.

Analisou-se também a gravidade de cada problema visualizado numa escala de 1(um) a 5(cinco), do pior estado para o mais brando, começando com a corrosão de armadura, na Figura 19.

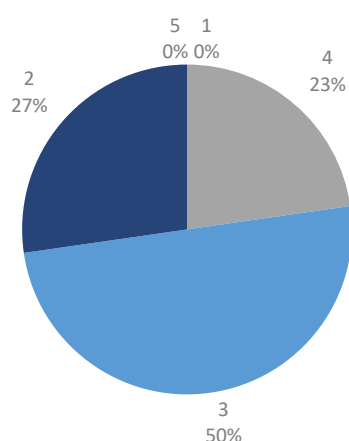


Figura 19 - Corrosão de armadura: Quantidade observada X Gravidade (Os Autores, 2020)

Os casos mais graves envolvendo corrosão de armadura ocorreram nos dois viadutos vistoriados que passam sob a Av. Vitor Ferreira do Amaral (11 e 12) e no viaduto que cruza a Av. Pres. Affonso Camargo (13). Nos três casos foi encontrado deslocamento revelando armaduras com processos de corrosão avançados, havendo clara perda de seção e em alguns casos até o rompimento da barra, como nas Figura 20 e Figura 21, o que indica a necessidade imediata de um diagnóstico mais profundo para posterior reparo e possível reforço.



Figura 20. Detalhe do rompimento de armadura na laje do Viaduto nº11 - Av. Vitor Ferreira do Amaral x Av. Nossa Senhora da Luz (Os Autores, 2020)



Figura 21. Grave processo de corrosão de armadura e deslocamento do concreto nos pilares do viaduto nº12 - Av. Vitor Ferreira do Amaral X Linha Verde (Os Autores, 2020)

Quanto aos problemas mais brandos, o que se notou foram manchas características da presença de corrosão nas armaduras, como ilustrado na Figura 22, não havendo ainda grandes deslocamentos, diminuindo portanto a possibilidade de terem ocorridos perdas significantes de seção ou até mesmo o rompimento de barras.



Figura 22. Corrosão de armadura branda (Os Autores, 2020)

A lixiviação e a eflorescência estão diretamente ligadas à infiltração. Dessa forma, o que se nota de imediato é a presença das eflorescências nos casos onde a infiltração atingiu graus mais severos. A Figura 23 mostra os dados referentes à infiltração.

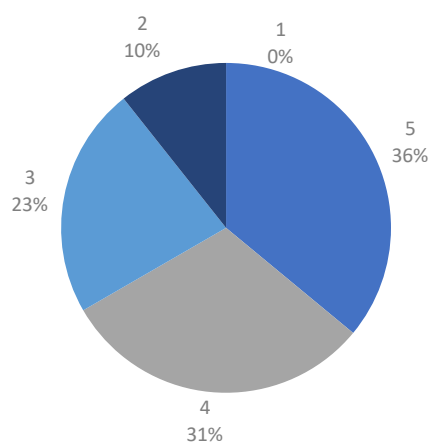


Figura 23 - Infiltração: Quantidade observada X Gravidade (Os Autores, 2020)

Nota-se que a maioria dos casos observados são mais brandos, diminuindo a quantidade conforme há o aumento da gravidade, distribuição muito similar à

observada na Figura 24, que apresenta os dados sobre a lixiviação e eflorescência, reiterando a relação direta entre estas e as infiltrações.

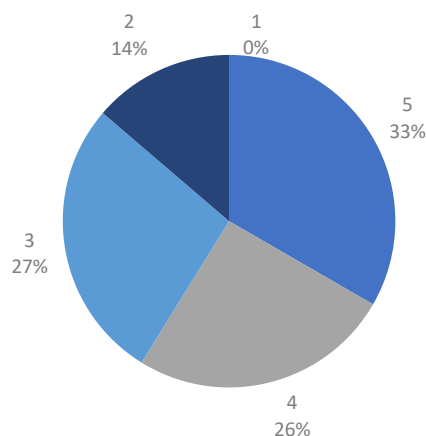


Figura 24 - Lixiviação e Eflorescência: Quantidade observada X Gravidade (Os Autores, 2020)

Não por acaso, o viaduto nº 1 - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado x Rua João Falarz – citado como exemplo no caso da corrosão, foi o que apresentou os casos mais severos de infiltração e eflorescências, corroborando com notável relação direta entre a umidade e os mecanismos de corrosão do aço. A Figura 25 apresenta os vários casos observados no viaduto supracitado.



Figura 25. Infiltrações e eflorescências observadas nas lajes do viaduto nº 1 - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado x Rua João Falarz (Os Autores, 2020).

Partindo para análise dos casos de fissuração, notou-se um panorama muito positivo, tanto em quantidade quanto em gravidade dos problemas, conforme

apresentado na Figura 26. Nenhuma fissura observada indicou sobrecarga ou redistribuição de cargas nas estruturas. Dessa forma, entende-se que as fissuras foram causadas por variação térmica e pelo produto expansivo proveniente da corrosão, em alguns casos.

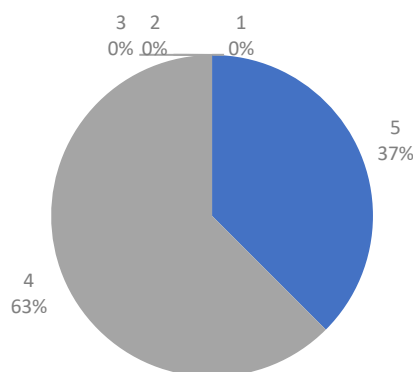


Figura 26 - Fissuração: Quantidade observada X Gravidade (Os Autores, 2020)

O viaduto nº4 - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado X Rua Luiza Mazetto Baggio – foi onde notou-se a maior exposição à insolação, resultando em poucos problemas com infiltração, no entanto apresentando fissuras, como mostrado na Figura 27, que muito provavelmente foram causadas pela variação térmica a que ele está exposto.



Figura 27. Fissura observada na laje do viaduto nº4 - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado X Rua Luiza Mazetto Baggio

Os vazios de concretagem foram os casos com menor ocorrência, muito pelo fato de que este tipo de problema pode ser notado ainda durante a execução da obra, e reparado antes mesmo da sua entrega. Mesmo assim, como observado na Figura 28, houve problemas de grau 2, os quais devem ser tratados com mais atenção.

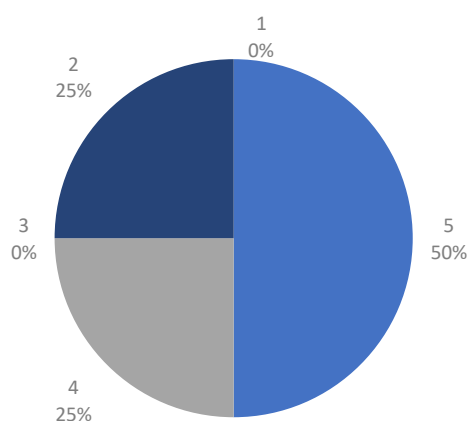


Figura 28 - Vazios de concretagem: Quantidade observada X Gravidade (Os Autores, 2020)

O viaduto nº13 - Av. Pres. Affonso Camargo x Linha Verde – foi onde observou-se os casos mais graves de vazios de concretagem, como mostra a Figura 29.



Figura 29. Vazios de concretagem observados no viaduto nº13 - Av. Pres. Affonso Camargo x Linha Verde (Os Autores, 2020)

Casos como este requerem muita atenção pois deixam as armaduras extremamente vulneráveis aos mecanismos de oxidação, por estas não contarem com a camada passivadora de concreto. Com as armaduras sujeitas a ação direta da oxidação problemas mais sérios tendem a ser gerados a curto e médio prazo.

4.1. ANÁLISE DO QUADRO PATOLÓGICO

A maioria dos problemas encontrados foram causados pela umidade, direta ou indiretamente, o que acende o alerta quanto aos mecanismos de impermeabilização dos viadutos. Nesse sentido, considera-se de extrema importância que se faça a manutenção dos sistemas existentes, ou aplicação onde estes ainda não foram executados. Geralmente, em viadutos, a umidade passa pelas juntas de dilatação, tornando o reparo ou aplicação de impermeabilização um procedimento relativamente simples, mas que, a curto e longo prazo, mitigaria a maioria das manifestações patológicas observadas.

Os casos de corrosão de armadura devem ser analisados com tanta ou mais seriedade que os problemas com umidade. Mesmo sendo muitas das vezes fruto da ação da umidade, a corrosão requer atenção especial, pois uma vez iniciada, tende a crescer de maneira exponencial se não for tratada de forma correta. O procedimento para reparo envolve ensaios para verificar frente de carbonatação, análise de perda de seção e possível reforços, bem como o tratamento da corrosão em si, retirando material expansivo e recuperando a camada passivadora. Todos esses processos tendem a ser mais complicados que a correção da estanqueidade da estrutura, reiterando a importância da manutenção da impermeabilização, e corroborando com a “Lei de Sitter”, que mostra o aumento exponencial dos gastos com reparo, quanto mais tarde o problema for identificado.

As fissuras e os vazios de concretagem tiveram a menor incidência, mas também necessitam de atenção. As fissuras encontradas estão relacionadas à variação térmica e ao material expansivo proveniente da corrosão de armadura, devendo-se verificar a presença das juntas de dilatação e efetivar os reparos na corrosão. No caso dos vazios de concretagem, a principal preocupação se refere ao

fato de as armaduras ficarem extremamente expostas, levando a processos de corrosão.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a realização do presente trabalho notou-se que os viadutos vistoriados, por mais que apresentassem manifestações patológicas, não foi identificado nenhum caso classificado como grau 1, caracterizado por casos críticos que necessitam de intervenção imediata e oferecem um risco à estrutura.

Dentre os viadutos analisados, os 3 presentes na região central (8, 9 e 10) mostraram sinais recentes de pintura, fazendo com que as estruturas aparentassem um melhor estado de conservação e um menor número de manifestações patológicas.

O objetivo definido anteriormente de levantar a condição atual de conservação dos viadutos presentes na malha viária da cidade de Curitiba foi atingido de forma satisfatória, visto que foi considerada uma amostra ampla e diversificada, dessa forma garantindo a aproximação do comportamento da população.

A hipótese deste trabalho de que os viadutos presentes na malha viária de Curitiba apresentam uma quantidade significativa de manifestações patológicas, decorrentes da falta de manutenção preventiva, foi corroborada pelo trabalho de campo. Aqui, porém, é importante frisar que os autores esperavam encontrar casos de gravidade superior ao de fato observado. Em sua grande maioria, as manifestações patológicas encontradas causam desconfortos estéticos e visuais, não causando problemas sérios à estrutura, com algumas exceções. De qualquer forma, comprovou-se que, caso a manutenção preventiva fosse realizada de forma controlada e com frequência maior, evitar-se-ia o aparecimento de grande parte das manifestações patológicas encontradas.

Outro apontamento importante que pode ser reiterado após a análise dos resultados é de que muitos dos casos encontrados foram causados pela ação de água que, ao percolar pela estrutura, causa lixiviação e eflorescências, acelera o processo de corrosão de armaduras e expõe a estrutura às agressões do ambiente. Esses problemas poderiam ser facilmente evitados caso se realizasse manutenção

preventiva visando a correção de tais problemas antes de seu agravamento. Outra forma de evitar o aparecimento de muitas manifestações patológicas é com o planejamento e a execução, ainda na fase de projeto e execução da obra, de um sistema de impermeabilização.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a expansão da amostra, englobando outros viadutos da malha viária de Curitiba, atrelado a análise das medidas corretivas que podem ser empregadas em cada caso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 9452. **Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto - Procedimento**, 2019.
- ABNT. NBR 16747. **Inspeção predial - Diretrizes, conceitos, terminologia e procedimento**, 2020.
- AL-OSTAZ, A. **Diagnostic evaluation and repair of deteriorated concrete bridges**. Mississippi: University of Mississippi, 2004.
- CARDOSO, L. M. **Tudo sobre os Resíduos Sólidos da Construção Civil**. 2017. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/residuos-solidos-da-construcao-civil/>>. Acesso em: 30 set. 2020.
- CONTI, A.; SILVA, M. M. de A.; BORGES NETO, M. A. S.; ALVES, J. M. B.; NAUFEL, M. de P. **VIADUTOS URBANOS, A QUE SERÁ QUE SE DESTINAM?** 2004. X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável, São Paulo, 2004
- DAL MOLIN, D.C.C. **Fissuras em Estruturas de Concreto Armado: Análise das Manifestações Típicas e Levantamento de Casos Ocorridos no Estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Prof. Orientador Paulo Roberto do Lago Helene, Ph.D. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.
- Diário de Pernambuco. **Pontes do Recife serão recuperadas em 2019** –. Disponível em: <<https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2018/12/pontes-terao-obras-iniciadas-em-2019.html>>. Acesso em: 05/05/2020
- DNIT. **Manual de Recuperação de Pontes e Viadutos Rodoviários**. Rio de Janeiro, 2010.
- DNIT VGE0, **Visualizador de Informações Geográficas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes**. Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/vgeo#>>. Acesso em 14/05/2020
- DUCHESNE, J., BERTRON, A. **Leaching of Cementitious Materials by Pure Water and Strong Acids (HCl and HNO₃)**. Dordrecht: Springer, 2013.
- EKSTRÖM, T. **Leaching of concrete: experiments and modelling**. Lund: Lund University, 2001.
- GARCIA, C. C. **Incidências patológicas no subsistema estrutural de edifícios habitacionais na região de São Carlos/SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais). Prof. Orientador Jefferson B. L. Libório, Ph.D. Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999
- GENTIL, V; **Corrosão**. Rio de Janeiro: LTC, 1996
- HELENE, P. R. do L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: PINI, 1992
- HELENE, P. R. do L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993
- HELENE, P. R. do L. **Introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto**. São Paulo: Ambiente construído, v.1, n. 2, p.45-57, 1997.
- LEONHARDT, F. **Construções de concreto: Princípios básicos da construção de pontes de concreto**. Rio de Janeiro: Interciência, 1979.

LERSCH, I. M. **Contribuição para a identificação dos principais fatores de degradação em edificações do patrimônio cultural de Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Prof. Orientador Hélio Adão Greven, Ph.D. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

MENDONÇA, G. K. B. de. **Infraestrutura urbana: Uma investigação sobre pontes em São Paulo**. TFG Graduação (Graduação em Arquitetura e Urbanismo). Prof Orientador Ângelo Bucci, Dr. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.

MÜLLER, O. **Notas de aula da disciplina de pontes da Universidade Federal do Paraná**. Curitiba, 1986.

PFEIL, W. **Pontes de Concreto Armado**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora SA, 1979.

PFEIL, W. **Pontes: Curso Básico**. Rio de Janeiro: Campus, 1983.

POLISSENI, A. E. **Método de campo para avaliar a capacidade impermeabilizante de revestimentos de parede: método do cachimbo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Prof. Orientador José Miguel Aroztegui. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1985.

PREFEITURA DE CURITIBA. URBS. **Sistema Trinário de Vias**. Disponível em: <<https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/rede-integrada-de-transporte/19>>. Acesso em: 30 set. 2020.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. Gestão Urbana. **Baixos de Viadutos**. 2016. Disponível em: <<https://gestaourbana.prefeitura.sp.gov.br/projetos-urbanos/baixos-de-viadutos/>>. Acesso em: 30 set. 2020.

QUERUZ, F. **Contribuição para identificação dos principais agentes e mecanismos de degradação em edificações da Vila Belga**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Prof. Orientador Denise de Souza Saad, Ph.D. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

RESENDE, N. **Curitiba gera quase 2 milhões de toneladas de resíduos da construção civil por ano**. Bem Parana, 3 set. 2019. Disponível em: <<https://www.bemparana.com.br/noticia/curitiba-gera-quase-2-milhoes-de-toneladas-de-residuos-da-construcao-civil-por-ano#.X1LPchKjcc>>. Acesso em: 30 set. 2020.

RIBEIRO, D.; CUNHA, M.; HELENE, P. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise**. São Paulo: Elsevier Brasil, 2015. 272 p. ISBN 9788535275483. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=W9NeAwAAQBAJ>>. Acesso em 20/07/2020.

SARTORTI, A. L. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas – SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Prof. Orientador Nilson Tadeu Mascia, PhD. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

SEELE, J. Apostila, **Restauro de edificações históricas**. Porto Alegre, 2000.

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

VITÓRIO, J. A. P. Apostila. **PONTES E VIADUTOS RODOVIÁRIOS: Conceituação, conservação, segurança e reforço estrutural**. Universidade de Pernambuco, Recife 2015.

APÊNDICE 1 – FOTOS E FICHAS DE INSPEÇÃO DOS VIADUTOS VISTORIADOS

As informações coletadas com a ficha de inspeção apresentada na Figura 16 estão apresentadas no presente apêndice, bem como o registro fotográfico de cada viaduto vistoriado.

1 - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado x Rua João Falarz



Parte I - Informações gerais																									
Data da inspeção:	25/07/2020																								
Localização:	Rua Deputado Heitor Alencar Furtado X Rua João Falarz																								
Parte II - Registro de manifestações patológicas																									
Manifestação Patológica	Corrosão de armadura					Infiltração					Lixiviação e Eflorescência					Fissuração					Vazios de concretagem				
Grau	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
Superestrutura:																									
Lajes:							2					2					1								
Vigas:			1					1	6				1	6											
Mesoestrutura:																									
Aparelhos de apoio:							2		1																
Juntas de dilatação:																									
Encontros:																									
Outros elementos:																									
Total																									
Informações Complementares:	*Duas abas do viaduto Erosão do terreno apoio																								

2 - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado x Rua Oscar Borges de Macedo Ribas



Parte I - Informações gerais																									
Data da inspeção:					25/07/2020																				
Localização:					Rua Deputado Heitor Alencar Furtado X Rua Oscar Borges de Macedo Ribas																				
Parte II - Registro de manifestações patológicas																									
Manifestação Patológica	Corrosão de armadura					Infiltração					Lixiviação e Eflorescência					Fissuração					Vazios de concretagem				
Grau	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
Superestrutura:																									
Lajes:							2					2										1			
Vigas:																						1			
Mesoestrutura:																									
Aparelhos de apoio:																									
Juntas de dilatação:																									
Encontros:										1				1											
Outros elementos:																									
Total																									
Informações Complementares:	*Duas abas do viaduto																								

3 - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado x Rua Dr. Brassílio Vicente de Castro





Parte I - Informações gerais																									
Data da inspeção:		25/07/2020																							
Localização:		Rua Deputado Heitor Alencar Furtado X Rua Dr. Brasília Vicente de Castro																							
Parte II - Registro de manifestações patológicas																									
Manifestação Patológica	Corrosão de armadura					Infiltração					Lixiviação e Eflorescência					Fissuração					Vazios de concretagem				
Grau	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
Superestrutura:																									
Lajes:						2	2				2	2													
Vigas:						1					1														
Mesoestrutura:																									
Aparelhos de apoio:																									
Juntas de dilatação:																									
Encontros:																									
Outros elementos:																									
Total																									
Informações Complementares:	*Geral nas vigas **Duas abas																								

4 - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado x Rua Luiza Mazetto Baggio



Parte I - Informações gerais																									
Data da inspeção:		25/07/2020																							
Localização:		Rua Deputado Heitor Alencar Furtado X Rua Luiza Mazetto Baggio																							
Parte II - Registro de manifestações patológicas																									
Manifestação Patológica	Corrosão de armadura					Infiltração					Lixiviação e Eflorescência					Fissuração					Vazios de concretagem				
	Grau	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2
Superestrutura:																									
Lajes:							2	2				2	2					1							
Vigas:																									
Mesoestrutura:																									
Aparelhos de apoio:																									
Juntas de dilatação:																									
Encontros:																									
Outros elementos:																									
Total																									
Informações Complementares:																									

5 - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado x Rua Geraldo Lipka



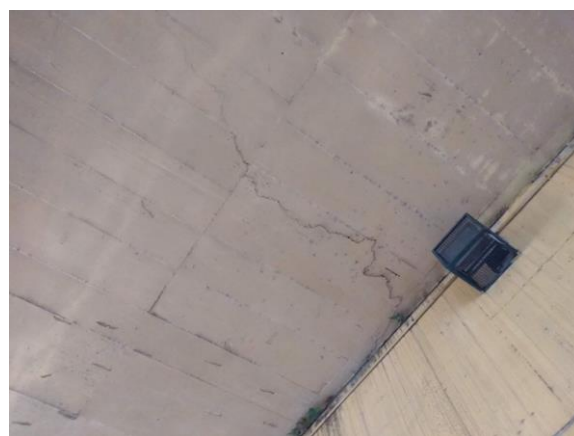
Parte I - Informações gerais																									
Data da inspeção:					25/07/2020																				
Localização:					Rua Deputado Heitor Alencar Furtado X Rua Geraldo Lipka																				
Parte II - Registro de manifestações patológicas																									
Manifestação Patológica	Corrosão de armadura					Infiltração					Lixiviação e Eflorescência					Fissuração					Vazios de concretagem				
Grau	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
Superestrutura:																									
Lajes:							2	1				2	1												
Vigas:						2					2														
Mesoestrutura:																									
Aparelhos de apoio:								2																	
Juntas de dilatação:																									
Encontros:																									
Outros elementos:																									
Total																									
Informações Complementares:	*Duas abas **A totalidade das vigas																								

6 - Rua Deputado Heitor Alencar Furtado x Rua Paulo Gorski



Parte I - Informações gerais																									
Data da inspeção:					25/07/2020																				
Localização:					Rua Deputado Heitor Alencar Furtado X Rua Paulo Gosrki																				
Parte II - Registro de manifestações patológicas																									
Manifestação Patológica	Corrosão de armadura					Infiltração					Lixiviação e Eflorescência					Fissuração					Vazios de concretagem				
Grau	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
Superestrutura:																									
Lajes:						5										2									
Vigas:																									
Mesoestrutura:																									
Aparelhos de apoio:																									
Juntas de dilatação:																									
Encontros:																									
Outros elementos:																									
Total																									
Informações Complementares:	*Duas laterais																								

7 - Rua Euclides da Cunha x Rua Padre Anchieta



Parte I - Informações gerais																									
Data da inspeção:					25/07/2020																				
Localização:					Rua Euclides da Cunha X Rua Padreldo Anchieta																				
Parte II - Registro de manifestações patológicas																									
Manifestação Patológica	Corrosão de armadura					Infiltração					Lixiviação e Eflorescência					Fissuração					Vazios de concretagem				
Grau	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
Superestrutura:																									
Lajes:							6						6					2							
Vigas:						2																			
Mesoestrutura:																									
Aparelhos de apoio:								7																	
Juntas de dilatação:																									
Encontros:																									
Outros elementos:																									
Total																									
Informações Complementares:																									

8 - Rua Martin Afonso x Rua Jaime Reis



Parte I - Informações gerais																									
Data da inspeção:		25/07/2020																							
Localização:		Rua Martin Afonso X Rua Jaime Reis																							
Parte II - Registro de manifestações patológicas																									
Manifestação Patológica	Corrosão de armadura					Infiltração					Lixiviação e Eflorescência					Fissuração					Vazios de concretagem				
	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
Superestrutura:																									
Lajes:						1																			
Vigas:																									
Mesoestrutura:																									
Aparelhos de apoio:																									
Juntas de dilatação:																									
Encontros:																									
Outros elementos:																									
Total																									
Informações Complementares:																									

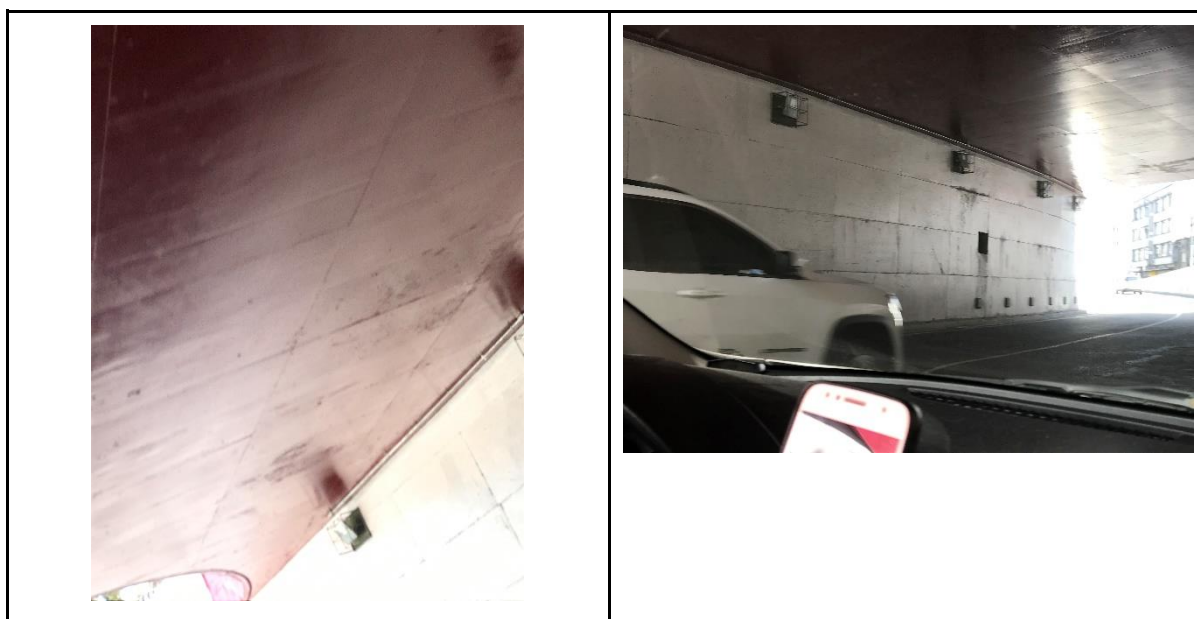
9 - Rua Inácio Lustosa x Rua Jaime Reis



Parte I - Informações gerais																									
Data da inspeção:		25/07/2020																							
Localização:		Rua Inácio Lustosa X Rua Jaime Reis																							
Parte II - Registro de manifestações patológicas																									
Manifestação Patológica	Corrosão de armadura					Infiltração					Lixiviação e Eflorescência					Fissuração					Vazios de concretagem				
Grau	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
Superestrutura:																									
Lajes:						1																			
Vigas:																									
Mesoestrutura:																									
Aparelhos de apoio:																									
Juntas de dilatação:																									
Encontros:																									
Outros elementos:																									
Total																									
Informações Complementares:																									

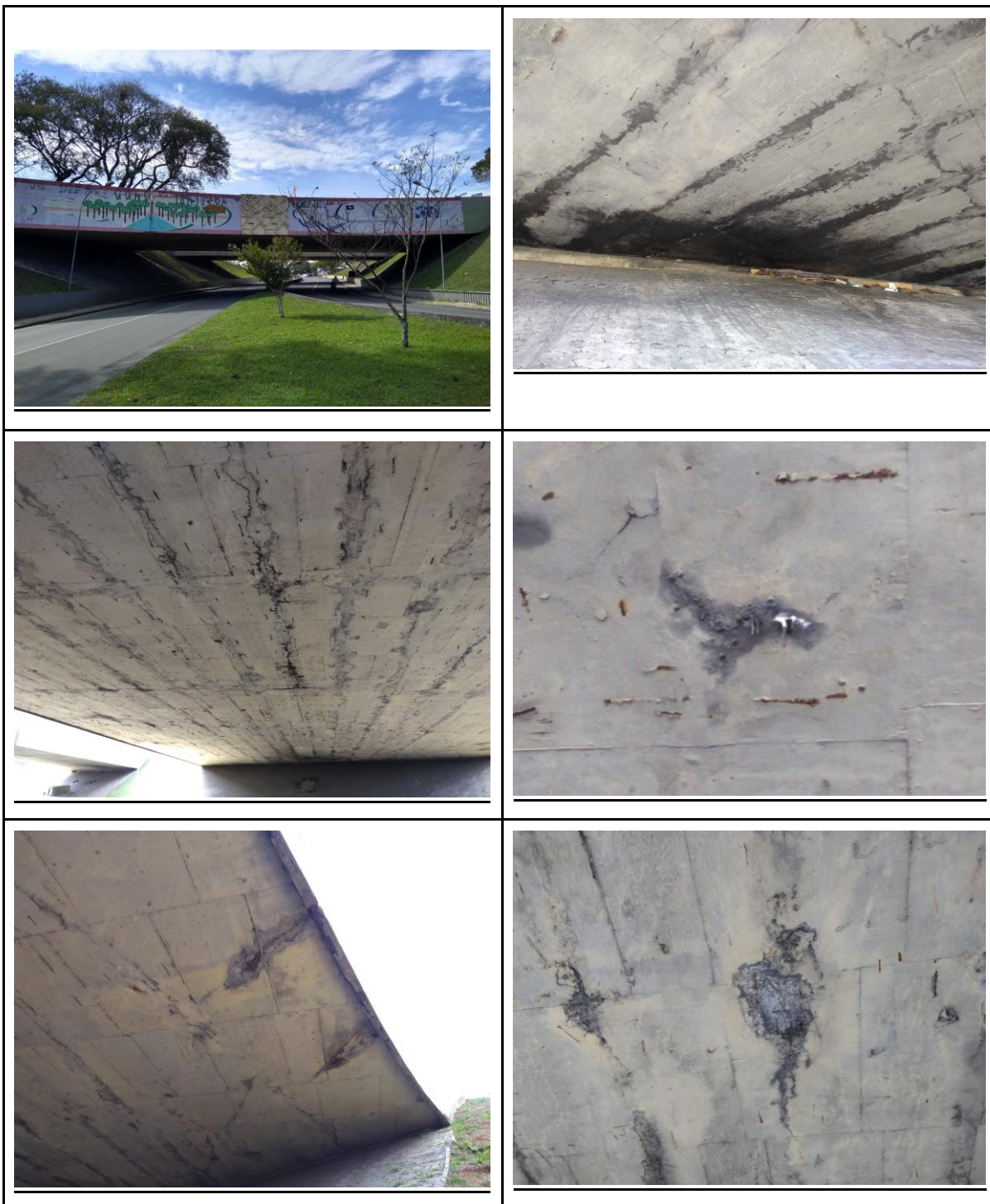
10 - Rua Augusto Stelfeld x Al. Dr. Muricy





Parte I - Informações gerais																									
Data da inspeção:	25/07/2020																								
Localização:	Rua Augusto Stelfeld X Al. Dr. Muricy																								
Parte II - Registro de manifestações patológicas																									
Manifestação Patológica	Corrosão de armadura					Infiltração					Lixiviação e Eflorescência					Fissuração					Vazios de concretagem				
	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
Superestrutura:																									
Lajes:						1					1														
Vigas:																									
Mesoestrutura:																									
Aparelhos de apoio:							2																		
Juntas de dilatação:																									
Encontros:																									
Outros elementos:																									
Total																									
Informações Complementares:																									

11 - Av. Victor Ferreira do Amaral x Av. Nossa Senhora da Luz



Parte I - Informações gerais																									
Data da inspeção:		25/07/2020																							
Localização:		Av. Vitor Ferreira do Amaral X Av. Nossa Srª da Luz																							
Parte II - Registro de manifestações patológicas																									
Manifestação Patológica	Corrosão de armadura					Infiltração					Lixiviação e Eflorescência					Fissuração					Vazios de concretagem				
	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
Superestrutura:																									
Lajes:		2		4					2					2											
Vigas:																									
Mesoestrutura:																									
Aparelhos de apoio:																									
Juntas de dilatação:																									
Encontros:																									
Outros elementos:																									
Total																									
Informações Complementares:	*Nos dois viadutos																								

12 - Av. Victor Ferreira do Amaral x Linha Verde





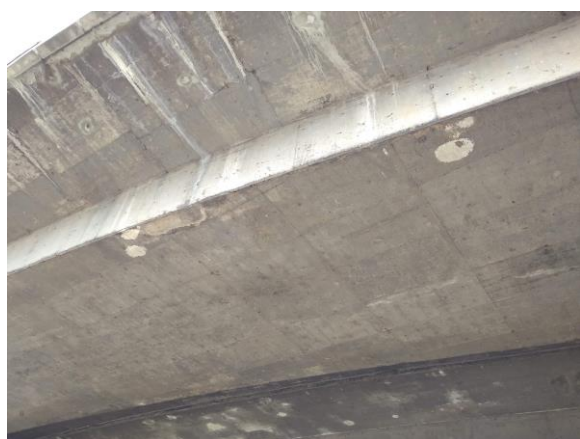
Parte I - Informações gerais																									
Data da inspeção:		25/07/2020																							
Localização:		Av. Vitor Ferreira do Amaral X Linha Verde																							
Parte II - Registro de manifestações patológicas																									
Manifestação Patológica	Corrosão de armadura					Infiltração					Lixiviação e Eflorescência					Fissuração					Vazios de concretagem				
	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
Superestrutura:																									
Lajes:		2					2					2													
Vigas:																									
Mesoestrutura:																									
Aparelhos de apoio:			3	2																					
Juntas de dilatação:																									
Encontros:																									
Outros elementos:																									
Total																									
Informações Complementares:	*Junta central - toda a extensão																								

13 - Av. Pres. Affonso Camargo x Linha Verde



Parte I - Informações gerais																									
Data da inspeção:		25/07/2020																							
Localização:		Av. Pres. Affonso Camargo X Linha Verde																							
Parte II - Registro de manifestações patológicas																									
Manifestação Patológica	Corrosão de armadura					Infiltração					Lixiviação e Eflorescência					Fissuração					Vazios de concretagem				
Grau	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
Superestrutura:																									
Lajes:			7			5					5					1	1								
Vigas:																					1			1	
Mesoestrutura:																									
Aparelhos de apoio:		1																							
Juntas de dilatação:																									
Encontros:																									
Outros elementos:																									
Total																									
Informações Complementares:																									

14 - BR-277 x Linha Verde



Parte I - Informações gerais																									
Data da inspeção:		25/07/2020																							
Localização:		BR-277 X Linha Verde																							
Parte II - Registro de manifestações patológicas																									
Manifestação Patológica	Corrosão de armadura					Infiltração					Lixiviação e Eflorescência					Fissuração					Vazios de concretagem				
	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
Superestrutura:																									
Lajes:						3					3														
Vigas:																									
Mesoestrutura:																									
Aparelhos de apoio:																									
Juntas de dilatação:																									
Encontros:																									
Outros elementos:																									
Total																									
Informações Complementares:	*Geral																								

15 - Av. Comendador Franco x Linha Verde



Parte I - Informações gerais																									
Data da inspeção:	25/07/2020																								
Localização:	Av. das Torres X Linha Verde																								
Parte II - Registro de manifestações patológicas																									
Manifestação Patológica	Corrosão de armadura					Infiltração					Lixiviação e Eflorescência					Fissuração					Vazios de concretagem				
Grau	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1	5	4	3	2	1
Superestrutura:																									
Lajes:						2	1				1	1													
Vigas:																									
Mesoestrutura:																									
Aparelhos de apoio:																									
Juntas de dilatação:																									
Encontros:																									
Outros elementos:																									
Total																									
Informações Complementares:	*Toda a extensão																								