

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia de Materiais e Construção

Anna Cláudia Costa Rosa

MANIFESTAÇÕES PATÓLOGICAS EM VIADUTOS DE CONCRETO ARMADO:
Estudo de caso de 4 viadutos na cidade de Belo Horizonte

Belo Horizonte
2021

Anna Cláudia Costa Rosa

**MANIFESTAÇÕES PATÓLOGICAS EM VIADUTOS DE CONCRETO ARMADO:
Estudo de caso de 4 viadutos na cidade de Belo Horizonte**

Versão Final

Monografia de especialização apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Construção Civil.

Orientador: Adriano de Paula Silva

Belo Horizonte
2021

Nome: Anna Cláudia Costa Rosa

Título: Manifestações patológicas em viadutos de concreto armado -
Estudo de caso de 4 viadutos na cidade de Belo Horizonte

Monografia de especialização apresentada
à Escola de Engenharia da Universidade
Federal de Minas Gerais, como requisito
parcial à obtenção do título de Especialista
em Construção Civil.

Banca examinadora:

Adriano de Paula e Silva, Engenheiro Civil.

Julgamento: _____

Cristiane Machado Parisi Jonov, Engenheira Civil.

Julgamento: _____

R788m

Rosa, Anna Cláudia Costa.

Manifestações patológicas em viadutos de concreto armado
[recurso eletrônico]: estudo de caso de 4 viadutos na cidade de Belo Horizonte / Anna Cláudia Costa Rosa. – 2021.

1 recurso online (65 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Adriano de Paula e Silva.

Coorientadora: Cristiane Machado Parisi Jonov.

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em
Construção Civil da Escola de Engenharia da UFMG.

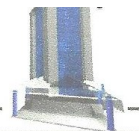
Bibliografia: f. 64-65.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil. 2. Concreto Armado. 3. Patologia de construção.
4. Viadutos. 5. Manutenção – viadutos. I. Paula e Silva, Adriano de.
II. Parisi Jonov, Cristiane Machado. III. Universidade Federal de Minas
Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 69

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Letícia Alves Vieira - CRB-6/2337
Biblioteca Prof. Mário Werneck - Escola de Engenharia da UFMG



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: ANNA CLÁUDIA COSTA ROSA

MATRÍCULA: 2019719430

RESULTADO

Aos 13 dias do mês de dezembro de 2021 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

"MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM VIADUTOS DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO DE 4 VIADUTOS NA CIDADE DE BELO HORIZONTE"

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

☒ X APROVADO

☐ APROVADO COM CORREÇÕES

☐ REPROVADO

NOTA: 96

CONCEITO: A

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva

Nome

Adriano de Paula e Silva:36512460600

Assinatura

Prof^ª. Dr^ª. Cristiane Machado Parisi Jonov

Nome

Cristiane Machado Parisi:89497244649

Assinatura

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL: "GESTÃO E AVALIAÇÕES NAS CONSTRUÇÕES"

Belo Horizonte, 13 de dezembro de 2021

Antonio Neves de Carvalho Junior:78724104604

Coordenador do Curso

RESUMO

Os viadutos são obras de arte especiais importantes para a locomoção de pessoas e escoamentos de cargas, proporcionando maior fluidez ao trânsito nos grandes centros urbanos. Embora sejam elementos importantes dessa modalidade de transporte, pode-se perceber um alto número de manifestações patológicas nesse tipo de estrutura em concreto armado, muitas vezes relacionadas ao descuido na manutenção e conservação pelos órgãos gestores. Esse estudo tem por objetivo identificar as manifestações patológicas mais recorrentes nos viadutos em concreto armado, assim como os mecanismos de deterioração e como as falhas nas atividades de manutenção interferem no desempenho e na redução da vida útil dessas estruturas, através de inspeções realizadas em quatro viadutos na cidade de Belo Horizonte. Essas atividades foram realizadas baseadas nas prescrições da norma técnica NBR 9452 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e com o auxílio das seguintes ferramentas: câmera fotográfica, fissurômetro, nível bolha e câmera termográfica. As OAE's inspecionadas apresentaram uma série de manifestações patológicas e, portanto, estado de conservação regular ou ruim dos elementos constituintes baseando-se nos parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade expostos pela norma técnica supracitada. De um modo geral, a grande maioria das anomalias estavam relacionadas a falhas de estanqueidade das estruturas decorrentes de falhas na manutenção das obras de arte, seja por ausência de continuidade das tubulações de drenagem, falhas na ligação entre os dispositivos, pontos de captação de água obstruídos com lixo e, principalmente, falhas na vedação das juntas de dilatação. Ou seja, o surgimento e evolução da maioria das manifestações patológicas identificadas estão relacionadas as falhas de manutenção e de uso que corroboram para a deterioração precoce das estruturas, interferindo no atendimento dos requisitos de uso, como segurança estrutural, funcionalidade e durabilidade.

Palavras-chave: Viadutos. Concreto armado. Manifestações patológicas. Falhas de estanqueidade. Manutenção.

ABSTRACT

Viaducts are important special works of art for the movement of people and the flow of cargo, providing greater fluidity to traffic in large urban centers. Although they are important elements of this type of transportation, a high number of pathological manifestations can be observed in this type of reinforced concrete structure, often related to careless maintenance and conservation by the managing agencies. This study has the objective of identify the most recurrent pathological manifestations in reinforced concrete viaducts, as well as the deterioration mechanisms and how failures in maintenance activities interfere in the performance and in the reduction of the lifetime of these structures, through inspections performed in four viaducts in the city of Belo Horizonte. These activities were carried out based on the prescriptions of the NBR 9452 technical standard of the Brazilian Association for Technical Standards (ABNT) and with the support of the following tools: camera, fissurometer, bubble level and thermographic camera. The OAE's inspected presented a series of pathological manifestations and, therefore, regular or poor conservation status of the constituent elements based on the structural, functional and durability parameters exposed by the technical standard mentioned above. In general, the vast majority of anomalies were related to failures of watertightness of the structures resulting from failures in the maintenance of works of art, either by lack of continuity of drainage pipes, failures in the connection between the devices, water collection points obstructed with garbage and, especially, failures in the sealing of expansion joints. That is, the emergence and evolution of most pathological manifestations identified are related to maintenance and use failures that corroborate for the early deterioration of the structures, interfering in the fulfillment of the requirements of use, such as structural safety, functionality and durability.

Keywords: Viaducts. Reinforced concrete. Pathological manifestations. Watertightness failures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01- Fatores e agentes que influenciam na durabilidade do concreto e desempenho das estruturas	20
Figura 02- Influência das manutenções preventivas no desempenho da estrutura com o decorrer do tempo de uso	23
Figura 03- Lei de Sitter.....	24
Figura 04- Representação da subdivisão dos componentes de pontes e viadutos.....	28
Figura 05 - Desenvolvimento da reação álcali-agregado no concreto.....	34
Figura 06- Corrosão devido à exposição direta da armadura ao ambiente causada pela formação de fissura de cunho mecânico.....	37
Figura 07- Vista aérea da localização dos viadutos: Santa Tereza, Floresta, Nansén Araújo e Dona Helena Greco.....	40
Figura 08- Vista lateral do viaduto Santa Tereza.....	43
Figura 09 - Vista lateral do viaduto Floresta.....	44
Figura 10 - Vista lateral do viaduto Nansén Araújo.....	44
Figura 11 – Vista lateral do viaduto Dona Helena Greco.....	45
Figura 12 - Corrosão de armaduras na superestrutura (região inferior da laje do tabuleiro) nos viadutos Santa Tereza e Floresta.....	47
Figura 13 - Corrosão de armaduras na superestrutura (região inferior da laje do tabuleiro) nos viadutos Nansén Araújo e Dona Helena Greco.....	47
Figura 14 - Ausência de continuidade nas tubulações ou falhas na ligação das tubulações do sistema de drenagem dos viadutos Santa Tereza e Floresta.....	48
Figura 15 - Ausência de continuidade nas tubulações ou falhas na ligação das tubulações do sistema de drenagem dos viadutos Nansén Araújo e Dona Helena Greco.....	48
Figura 16 - Pontos de captação de água do sistema de drenagem das vias obstruídos com lixo nos viadutos Santa Tereza e Floresta.....	49
Figura 17 – Pontos de captação de água do sistema de drenagem das vias obstruídos com lixo nos viadutos Nansén Araújo e Dona Helena Greco.....	49
Figura 18 - Ausência de caimento nas sarjetas que compõem o sistema de drenagem nos viadutos Santa Tereza e Floresta.....	50

Figura 19 - Ausência de caimento na sarjeta que compõe o sistema de drenagem no viaduto Dona Helena Greco evidenciado pelo crescimento de vegetação. No viaduto Nansén Araújo não foi possível acessar a via para averiguar a existência ou não de inclinação.....	50
Figura 20 - Manchas de eflorescências na região inferior do tabuleiro decorrente da percolação de água pela estrutura dos viadutos Santa Tereza e Floresta.....	51
Figura 21 - Manchas de eflorescências na região inferior do tabuleiro decorrente da percolação de água pela estrutura dos viadutos Nansén Araújo e Dona Helena Greco.....	51
Figura 22 - Manchas de eflorescências na região inferior do tabuleiro decorrente da percolação de água pela estrutura do viaduto Dona Helena Greco.....	52
Figura 23 – Falhas na vedação das juntas de dilatação favorecem a percolação de água pela estrutura do viaduto Santa Tereza (vista superior).....	52
Figura 24 - As manchas de eflorescência e a imagem térmica evidenciam a presença/percolação de água na estrutura proveniente das falhas de vedação da junta de dilatação no viaduto Santa Tereza (vista inferior).....	53
Figura 25 - Falhas na vedação das juntas de dilatação favorecem a percolação de água pela estrutura e o crescimento de vegetação no viaduto Santa Tereza (vista superior).....	53
Figura 26 - As manchas de umidade e a imagem térmica evidenciam a presença/percolação de água na estrutura proveniente das falhas de vedação da junta de dilatação no viaduto Santa Tereza (vista inferior).....	54
Figura 27 - As manchas de umidade e a imagem térmica evidenciam a presença/percolação de água na estrutura proveniente das falhas de vedação da junta de dilatação no viaduto Nansén Araújo (vista inferior).....	54
Figura 28 – O crescimento de vegetação demonstra a presença/percolação de água na estrutura proveniente das falhas de vedação da junta de dilatação no viaduto Nansén Araújo.....	55
Figura 29 – A inexistência de acesso para pedestres no trecho comprometeu a visualização da região superior do tabuleiro na região correspondente à junta de dilatação.....	55
Figura 30 - As manchas de eflorescência, o crescimento de vegetação e a imagem térmica evidenciam a presença/percolação de água na estrutura proveniente das	

falhas de vedação da junta de dilatação no viaduto Dona Helena Greco (vista inferior).....	56
Figura 31 - Crescimento de vegetação no interior da junta de dilatação devido a falhas na vedação do dispositivo permitindo a percolação de água no trecho.....	56
Figura 32 - Trechos com deslocamento do concreto no viaduto Santa Tereza e exposição e corrosão das armaduras nas barreiras rígidas em concreto do viaduto Floresta.....	57
Figura 33 - Fissuras e trincas na barreira em concreto do viaduto Nansén Araújo e deslocamento do concreto, exposição e corrosão das armaduras nas barreiras em concreto armado do viaduto Dona Helena Greco.....	57
Figura 34 – Pintura sobre armadura exposta na barreira rígida em concreto armado do viaduto Dona Helena Greco.....	59
Figura 35 - Recapeamento do revestimento asfáltico da via realizado sobre as juntas de dilatação nos viadutos Santa Tereza e Floresta.....	59
Figura 36 - Uso inadequado da estrutura do viaduto Santa Tereza pelos usuários.....	60
Figura 37 - Manchas escurecidas e deterioração do concreto na base dos pilares dos viadutos Santa Tereza e Floresta devido ao fogo causado pelos moradores de rua.....	61
Figura 38 - Manchas escurecidas e deterioração do concreto na aob a laje do tabuleiro e na base dos pilares dos viadutos Nansén Araújo e Dona Helena Greco devido ao fogo causado pelos moradores de rua.....	61
Figura 39 - Barra de aço rompida devido à ação do fogo provocado por moradores de rua na base do pilar do viaduto Floresta.....	62
Figura 40 - Pontos de captação de água do sistema de drenagem do viaduto Santa Tereza obstruídos com lixo nos registros realizados em 2015 e 2017.....	62
Figura 41 - Ponto de captação de água do sistema de drenagem do viaduto Santa Tereza obstruídos com lixo no registro realizado em 2021.....	63
Figura 42 - Sistema de iluminação sob o tabuleiro do viaduto Santa Tereza nos registros realizados em 2015 e 2017.....	63
Figura 43 - Sistema de iluminação sob o tabuleiro do viaduto Santa Tereza em 2021.....	64

Figura 44 - Crescimento de vegetação e falhas na vedação da junta de dilatação do viaduto Floresta em 2017.....	64
Figura 45 - Crescimento de vegetação e falhas na vedação da junta de dilatação do viaduto Floresta em 2021.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Classe de Agressividade Ambiental versus Risco de Deterioração Das Estruturas de concreto.....	21
Tabela 02 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal das armaduras	22
Tabela 03 - Classificação das condições de OAE.....	29
Tabela 04 - Ficha de inspeção dos viadutos.....	41
Tabela 05 - Manifestações patológicas identificadas nos viadutos inspecionados....	45
Tabela 06- Classificação do viaduto Santa Tereza baseada nos parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade.....	66
Tabela 07- Classificação do viaduto Floresta baseada nos parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade.....	66
Tabela 08- Classificação do viaduto Nansém Araújo baseada nos parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade.....	66
Tabela 09 - Classificação do viaduto Dona Helena Greco baseada nos parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade.....	67

SUMÁRIO

1. Introdução.....	13
2. Objetivos.....	15
2.1 Objetivo geral.....	15
2.2 Objetivos específicos.....	15
3. Revisão Bibliográfica.....	16
3.1 Concreto armado.....	16
3.2 Desempenho X Durabilidade X Vida útil.....	18
3.3 Viadutos em concreto armado.....	25
3.4 Manifestações patológicas e mecanismos de deterioração do concreto mais recorrentes em viadutos.....	31
4. Materiais e métodos.....	39
4.1 Pesquisa de campo.....	39
4.2 Metodologia de obtenção dos dados.....	40
5. Resultados obtidos e análise dos dados.....	43
6. Considerações Finais.....	68
7. Referências Bibliográficas	70

1. INTRODUÇÃO

Os viadutos são classificados como obras de arte especiais que, no contexto da construção civil, compreendem estruturas que têm como finalidade transpor obstáculos, tais como avenidas e vales secos. Nos meados do século XX, o início do processo de industrialização do Brasil demandou uma maior integração do território nacional, que foi atendida pelo governo do Presidente Juscelino Kubitschek, com a inclusão da indústria automobilística e a estimulação do transporte rodoviário, o qual, atualmente, é considerado o principal meio de transporte no país. Sendo os viadutos elementos importantes dessa modalidade de transporte, tanto para locomoção de pessoas nos grandes centros urbanos, quanto para o escoamento de cargas, torna-se evidente a necessidade de conservação e de cuidado deste bem público.

Entretanto, tem-se observado com certa frequência, a incidência de manifestações patológicas sobre as estruturas em concreto armado de viadutos, ocasionando a sua deterioração precoce e o comprometimento da sua vida útil. Além dos vícios construtivos decorrentes de falhas durante as fases de projeto e execução, acredita-se que a inexistência de programas completos de manutenção e verbas políticas suficientes para a conservação dos viadutos são fatores que interferem diretamente na durabilidade dessas estruturas.

O objetivo deste trabalho é analisar as manifestações patológicas existentes em quatro viadutos com alto fluxo de veículos e pessoas em Belo Horizonte e classificar essas OAEs (Obras de Arte Especiais) de acordo com as condições em que se encontram, levando em consideração os parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade. Busca-se ainda, comparar o estado de conservação dessas estruturas atualmente com aquele que foi registrado nos anos de 2015 e 2017 no estudo realizado pelo Instituto Nacional Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia de Minas Gerais. Assim como foi identificado nos estudos do IBAPE, acredita-se que não foram realizadas intervenções/atividades de manutenção nos sistemas construtivos de forma completa e efetiva, o que poderá ser evidenciado por meio da confrontação dos registros fotográficos.

O estudo justifica-se por ser uma pesquisa que busca identificar as principais manifestações patológicas e os mecanismos de deterioração das estruturas de OAEs e como a ausência de manutenções impactam na sua deterioração precoce e

na redução da vida útil de projeto. E assim, estimular as políticas de manutenção para conservação e segurança deste bem público relevante para a sociedade.

A primeira parte do trabalho abrange o estudo das referências bibliográficas, tendo como base as manifestações patológicas mais recorrentes nesse tipo de obra de arte e os estudos executados pelo IBAPE em Belo Horizonte. Posteriormente, foram vistoriados os viadutos: Floresta, Helena Greco, Santa Tereza e Nansen de Araújo, todos localizados na região central da capital mineira. A vistoria foi realizada com o auxílio de câmera fotográfica, fissurômetro, trena, câmera termográfica e nível bolha. Os resultados e discussões compreendem os registros fotográficos e tabelas com a identificação e a análise das manifestações patológicas encontradas, além da classificação do estado de conservação atual desses viadutos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar as manifestações patológicas e o estado de conservação de quatro viadutos situados na cidade de Belo Horizonte, suas possíveis causas/origens e como as falhas nas atividades de manutenção impactam na deterioração precoce dessas estruturas.

2.2 Objetivos específicos

- Levantar as manifestações patológicas observadas em quatro viadutos de concreto armado em regiões, onde em situações normais, haveria alto fluxo de veículos e pessoas na cidade de Belo Horizonte;
- Analisar as anomalias mais recorrentes, suas principais causas/origens, a fim de apontar as principais falhas e erros responsáveis pelo surgimento destas;
- Comparar o estado de conservação atual com a situação encontrada em 2015 e 2017 nos estudos do IBAPE;
- Visualizar o impacto das falhas de manutenção no desempenho e durabilidade das estruturas em concreto armado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CONCRETO ARMADO

O concreto armado surgiu no final século XIX na Europa como solução para um grave problema identificado na época relacionado à baixa resistência à tração do concreto como pedra artificial. (Botelho apud Couto, 2013, p. 52). Diversas são as vantagens que fizeram com que o concreto armado se difundisse e tornasse um dos sistemas construtivos mais empregados no Brasil nos últimos tempos. Dentre elas podem-se citar: a elevada resistência à compressão e à tração, matérias primas econômicas e disponíveis em abundância na natureza, versatilidade de moldagem, elevada resistência à ação do fogo e baixa necessidade de qualificação da mão de obra.

Segundo Medeiros, Andrade e Helene (2011), ainda no final do século XX, as estruturas de concreto armado eram desenvolvidas de forma a garantir a segurança e a estabilidade das construções, não se atentando para o desempenho e durabilidade como fatores primordiais na preservação da sua vida útil. Por apresentar boas propriedades mecânicas e físicas, acreditava-se que estas características se mantinham com o passar dos anos, atendo-se a ideia de um sistema infindável.

Durante esse período, a atenção dos projetistas era voltada apenas para as propriedades mecânicas das estruturas em concreto e, portanto, eram projetadas estruturas bem robustas. Tal fato favorecia a durabilidade desse tipo de sistema construtivo que resistia por um período de tempo relativamente longo sem que incidisse algum tipo de manifestação patológica sobre as estruturas e/ou sinais que evidenciassem o comprometimento da segurança estrutural.

Com o passar dos anos e o envelhecimento das construções, observaram-se o desgaste e o aparecimento de manifestações patológicas nas estruturas, logo, o conceito de material infindável foi sendo desmistificado. Assim como qualquer outro tipo de sistema construtivo, o concreto armado é suscetível às manifestações patológicas, seja pelo envelhecimento de forma natural no período de tempo para o qual foi projetado, seja pela sua deterioração precoce, decorrente de falhas durante as fases de planejamento, projeto e execução da obra, bem como pelo uso inadequado e pela ausência de manutenções.

Com o incremento de sua aplicação sobre diversos ambientes e/ou solicitações mecânicas observou-se que, em certos momentos e sob certas condições específicas, alguns dos componentes que constituem o concreto armado passaram a apresentar mecanismos de deterioração típicos, promovendo uma redução parcial ou total de funcionalidade das peças e acarretando custos de reparo ou manutenção. (Bolina, Tutikian, Helene, 2019, p.61)

Nesse contexto, temas relacionados à prática de atividades de manutenção começaram a ganhar mais importância no meio da construção civil, assim como o prisma desempenho x durabilidade x vida útil.

3.2 DESEMPENHO X DURABILIDADE X VIDA ÚTIL

No final do século XX, o conceito de durabilidade começou a ser difundido no setor da construção civil internacional, e além de edificações utilizáveis, iniciou-se a busca pela garantia de estruturas duráveis. De acordo com Medeiros, Andrade e Helene (2011, p. 3): “durabilidade é o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente e as condições de uso, de operação e de manutenção”. A norma técnica da ABNT NBR 6118 estabelece a exigência de durabilidade, sobre a qual as estruturas de concreto sejam projetadas e executadas de maneira a conservar sua estabilidade, segurança e condições de serviço pelo período projetado de vida útil, mesmo sob a exposição a agentes ambientais, desde que sejam os mesmos fatores externos previstos em projeto e que sejam respeitadas as exigências de uso e manutenção. (ABNT NBR 6118, 2014)

A norma supracitada refere-se à vida útil como o período de tempo no qual a estrutura mantém suas propriedades, uma vez que sejam respeitadas as determinações de uso e manutenção estabelecidas pelo projetista e os reparos necessários provenientes de danos acidentais. Já a norma de desempenho NBR 15575:2013, define a vida útil, de modo geral, como uma “medida temporal de durabilidade”.

Para que a vida útil da qual uma estrutura foi projetada seja atendida, é imprescindível que os materiais aplicados sejam duráveis e apresentem desempenho satisfatório com o passar dos anos. Para Mehta e Monteiro (2014), “uma vida útil longa é considerada como sinônimo de durabilidade.”

Já o desempenho pode ser definido como o: “comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas” (NBR 15575, 2013, p.30) e é avaliado de acordo com o atendimento ou não às exigências mínimas de habitabilidade do usuário que são abordadas pela norma técnica supracitada em sete requisitos: estanqueidade à água; desempenho térmico, acústico e lumínico; saúde, higiene e qualidade do ar; funcionalidade e acessibilidade; conforto tátil e antropodinâmico.

De acordo com Figueiredo (1994) citado por Silva (2006), são vários os processos que podem levar à diminuição da durabilidade do concreto e interferir no seu desempenho, estando na maioria das vezes relacionados à concepção estrutural escolhida durante o projeto, às características e composição do concreto,

à qualidade e controle de execução, à influência do meio ambiente, e às formas de uso e da política de conservação.

Os mecanismos de deterioração do material podem ser classificados, conforme o processo que se instaura na estrutura, seja químico, seja físico, biológico ou mecânico. “Os mecanismos de deterioração químicos são processos que promovem alterações constitutivas de cunho químico aos materiais de um sistema” (Bolina, Tutikian, Helene, 2019, p.41). Essas alterações provocam mudanças no aspecto visual ou no seu comportamento mecânico. É válido ressaltar que a agressividade do meio e a qualidade/reactividade dos materiais do sistema influenciam diretamente no desencadeamento desse tipo de mecanismo de deterioração, ou seja, na susceptibilidade da estrutura ao ataque.

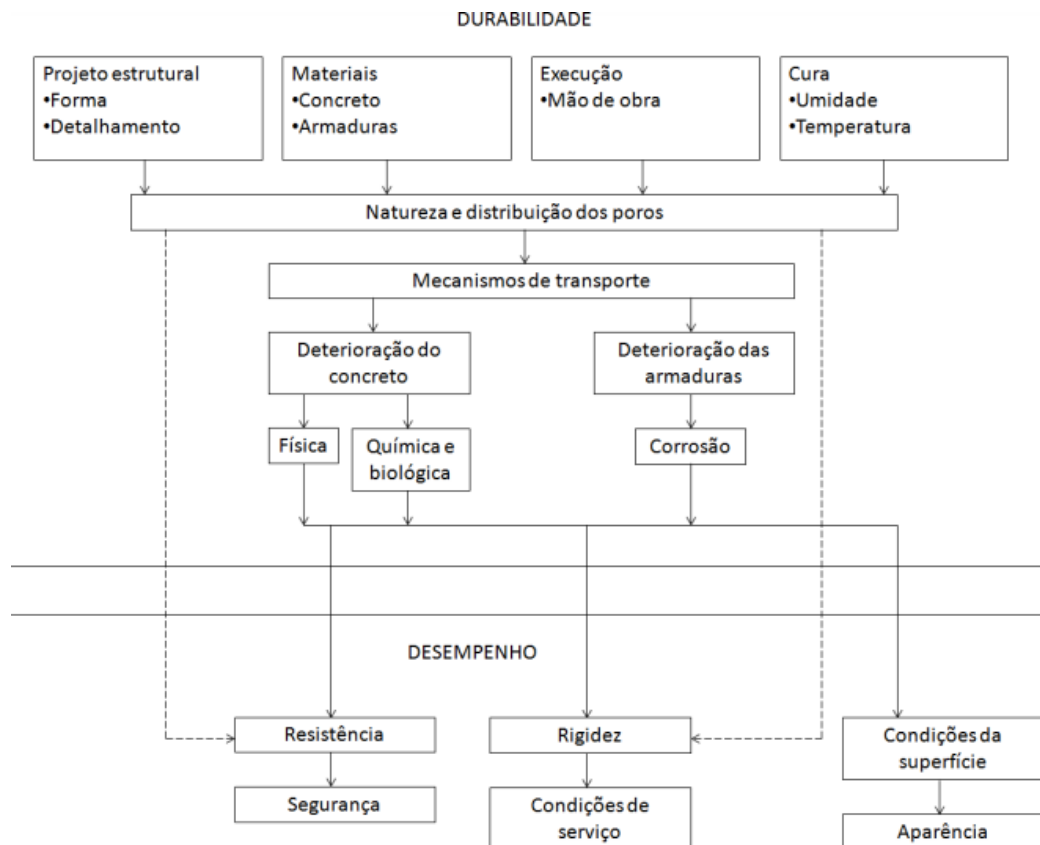
Relacionado ao processo de deterioração químico está o biológico, também conhecido como biodeterioração. De acordo com os autores Bolina, Tutikian, Helene, 2019, p.61) o processo ocorre devido à ação de macro ou micro organismos presentes no ambiente promovendo alterações nas propriedades intrínsecas dos materiais. Esses agentes não atuam absolutamente na degradação do concreto, mas o ácido sulfúrico resultante das reações químicas que esses organismos desencadeiam é altamente agressivo à pasta de cimento. Uma forma bastante comum de deterioração por mecanismos biológicos em estruturas de concreto ocorre próximo à passagem de tubulações de esgoto pela estrutura.

Quanto aos processos físicos, geralmente, estão associados à variação volumétrica dos materiais decorrentes de processos higroscópicos, ou seja, provenientes da variação térmica e da absorção de umidade dos materiais provocando a dilatação e contração desses e originando tensões na estrutura em concreto. Esses processos devem ser previstos e evitados ainda durante a fase de elaboração de projetos, através da previsão de dispositivos como juntas de dilatação e um melhor controle tecnológico do concreto.

Os processos de deterioração mecânica estão relacionados a fatores externos que induzem esforços mecânicos sobre a estrutura. Podem-se citar como exemplos: os choques mecânicos por veículos, sobrecargas, mudanças de uso, entre efeitos que geralmente culminam no surgimento de fissuras e trincas nos elementos estruturais.

A figura 1 aborda alguns dos mecanismos e agentes que contribuem para o processo de deterioração precoce das estruturas em concreto e como influenciam na durabilidade e desempenho destas.

Figura 1. Fatores e agentes que influenciam na durabilidade do concreto e desempenho das estruturas



Fonte: Rocha apud CEB (1989)

Segundo Rocha (2015), no fim dos anos 70, a preocupação em relação ao envelhecimento e à durabilidade inadequada das estruturas de concreto incentivou a elaboração de estudos acerca das causas e natureza dos processos de degradação, e no desenvolvimento de estratégias para lidar com esse tipo de situação.

A origem das manifestações patológicas pode estar atrelada às falhas que podem ocorrer desde a etapa de concepção e planejamento das estruturas, passando pelas fases de projeto, fabricação e escolha dos materiais, execução dos sistemas até questões relacionados ao uso, manutenção e fim da vida útil. Convém salientar que uma anomalia pode ser oriunda de uma ou mais etapas, ou seja, podem ser provenientes de uma combinação de diferentes causas e origens, o que

torna o diagnóstico mais complexo, sobre o qual são necessários estudos mais aprofundados.

Além dos fatores relacionados a projeto e execução, questões que envolvem a exposição a agentes externos, o uso inadequado e a inexistência de atividades de manutenção são fatores preponderantes para o surgimento de manifestações patológicas nas estruturas. “Ao longo de sua vida útil a estrutura sofre interação com o meio ambiente ao qual está exposta e devido a essa interação sofre alterações que no decorrer da sua utilização, podem comprometer a sua estabilidade e funcionalidade” (Sena; Nascimento; Neto, 2020, p. 78).

A influência de agente externos deve ser prevista ainda durante a fase de projetos através da classificação de agressividade do meio, conforme estabelecido na norma técnica da ABNT NBR 6118, bem como pela escolha adequada dos materiais constituintes e das concepções de projeto. Nas suas versões mais recentes, a NBR 6118 considera a relação entre durabilidade e a classe de agressividade do ambiente como parâmetro para classificar o risco de degradação que a estrutura está sujeita, conforme Tabela 1.

Tabela 1 — Classe de Agressividade Ambiental versus Risco de Deterioração Das Estruturas de concreto

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
II	Moderada	Submersa	Pequeno
III	Forte	Urbana ^{a, b}	Grande
IV	Muito forte	Marinha ^a	Elevado
		Industrial ^{a, b}	
		Industrial ^{a, c}	
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014, p.17).

Além dos riscos de deterioração, a norma técnica supracitada expressa condições a serem obedecidas em projeto e durante a execução, de acordo com a classe de agressividade ambiental do meio no qual a estrutura em concreto está exposta. Na tabela a seguir, a norma estabelece a espessura mínima de concreto de cobrimento das armaduras, de acordo com o tipo de exposição a qual os elementos estruturais em concreto estarão expostos.

Tabela 2 — Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal das armaduras

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

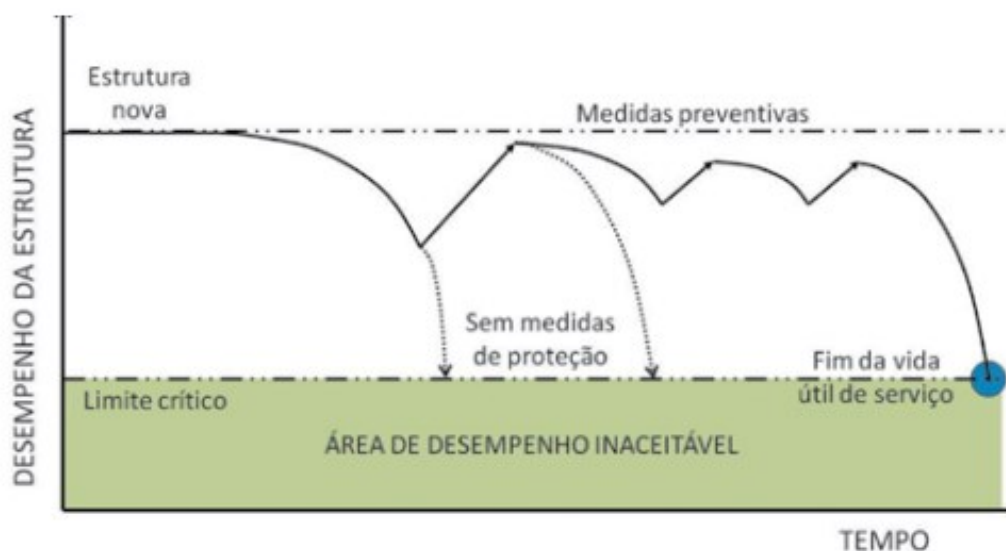
Fonte: ABNT NBR 6118 (2014, p.20).

Para que a estrutura corresponda ao desempenho e à vida útil de projeto também é imprescindível a realização de atividades de manutenção periódicas no decorrer do tempo de uso. Bolina, Tutikian e Helene (2019) definem manutenção como atividades de acompanhamento periódico da estrutura com o intuito de conservar/resgatar seu desempenho e garantir o atendimento aos requisitos de habitabilidade pelos usuários.

Inclusive, Medeiros, Andrade e Helene (2011) mencionam a existência de níveis de desempenho mínimos aceitáveis para as estruturas de concreto que, com o passar do tempo de utilização, vão perdendo sua capacidade inicial. A figura 2

evidencia como a realização de atividades de manutenção periódicas auxiliam o desempenho e o atendimento à vida útil de serviço prevista.

Figura 2. Influência das manutenções preventivas no desempenho da estrutura com o decorrer do tempo de uso



Fonte: Medeiros, Andrade e Helene (2011, p.11).

Conforme observado no gráfico, a estrutura só conseguirá atender ao período de vida útil estipulado em projeto se forem realizadas manutenções preventivas e corretivas na sua fase de uso, de maneira a evitar e corrigir as anomalias e perdas de desempenho que comprometam a sua integridade. Portanto, as atividades de manutenção possuem papel fundamental tanto para evitar manifestações patológicas quanto para impedir sua evolução.

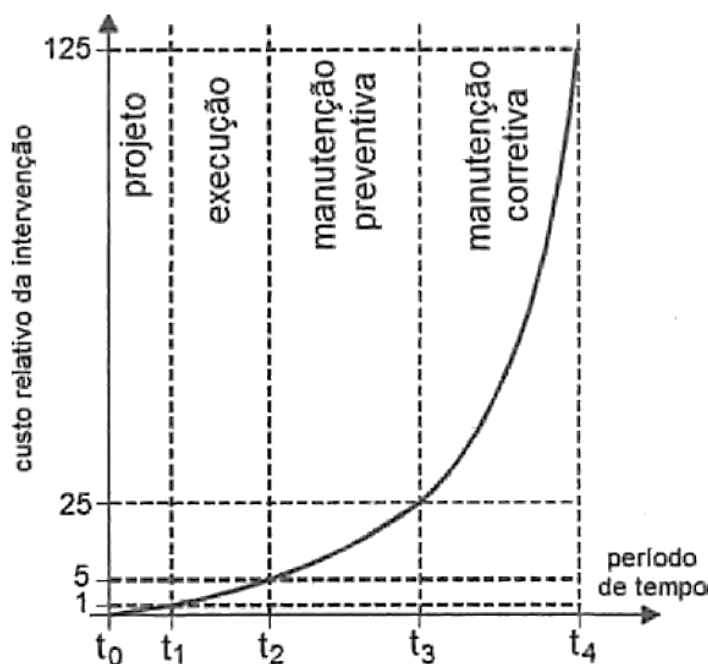
Segundo Gomide et al. (2006), as manutenções preventivas correspondem às ações que são realizadas de forma antecipada para que não haja riscos de reparação na estrutura. Para que isso ocorra, as atividades devem ser bem programadas seguindo as datas previstas, os critérios técnicos estabelecidos desde o momento de entrega da construção como indicação de projetistas, fornecedores e fabricantes, e devem ser executadas por profissionais habilitados e, ainda, bem documentadas.

Já as manutenções corretivas não são planejadas, pois ocorrem após a instauração de manifestações patológicas, falhas e perda de desempenho dos sistemas na tentativa de recuperá-los, ou seja, com o intuito de recolocar um item

em condições para executar sua função requerida e buscando atender ao desempenho esperado.

Medeiros, Andrade e Helene (2011) assinalam diversos trabalhos que demonstram a importância econômica das manutenções periódicas e preventivas. De acordo com os autores, a manutenção de cunho preventivo está associada a um custo até cinco vezes menor do que o da manutenção realizada de forma corretiva sobre anomalias já instauradas nas construções.

Figura 3. Lei de Sitter



Fonte: Sitter (1984) apud Bolina, Tutukian e Helene (2019).

Para que as manutenções de forma periódica funcionem, estas devem ser bem documentadas, planejadas, executadas por profissionais habilitados, com materiais de qualidade, e, sobretudo, devem ser orientadas por meio de inspeções periódicas. A norma técnica da ABNT NBR 9452 delinea inspeção de estruturas de concreto como:

Conjunto de procedimentos técnicos e especializados que compreendem a coleta de dados necessários à formulação de um diagnóstico e prognóstico da estrutura, visando manter ou reestabelecer os requisitos de segurança estrutural, de funcionalidade e de durabilidade. (ABNT NBR 9452, p.1, 2016).

3.3 VIADUTOS EM CONCRETO ARMADO

Os viadutos são obras de arte especiais utilizadas para transpor obstáculos como ruas, rodovias, avenidas, ferrovias, áreas secas, entre outros. O início do processo de industrialização do Brasil e a política de inclusão da indústria automobilística promovida pelo governo do Presidente Juscelino Kubitschek incentivou a estimulação do transporte rodoviário e, portanto, a construção de rodovias, vias e viadutos.

Segundo Mitre (2005), até o século XIX, os materiais mais utilizados na construção dessas estruturas eram blocos de rochas e madeira. Contudo, a produção de ligas de aço com melhores propriedades mecânicas, após a Revolução Industrial, associado ao surgimento do concreto de cimento Portland, proporcionou o desenvolvimento do sistema construtivo em concreto armado que se tornou uma nova alternativa para a execução de pontes/viadutos, com menor custo e com maior versatilidade arquitetônica, mostrando-se rapidamente uma alternativa viável e adequada.

Os viadutos são de vital importância para o transporte de cargas, para o escoamento da produção brasileira, e para a ligação de pontos críticos nas estradas. Nas grandes cidades, são elemento imprescindíveis para organizar e proporcionar fluidez ao trânsito. No entanto, a maioria dessas obras de artes apresentam manifestações patológicas e um estado avançado de deterioração, e pouco se fala sobre políticas de manutenção dessas obras públicas.

Tal fato está associado, ainda, a uma cultura impregnada na sociedade brasileira que negligencia as atividades de manutenção do setor da construção civil, pois ainda é cultuada a lenda de estruturas infundáveis. Levando para o âmbito das obras públicas, essa negligência se intensifica, uma vez que, a maior preocupação dos órgãos responsáveis é a execução das obras, pois essas são visualizadas pela população, não havendo estratégias para sua conservação, o que pode ser comprovado através da observação das condições atuais das pontes e viadutos da malha viária brasileira que se apresentam em grande parte deterioradas (VITÓRIO, 2006).

Segundo Mitre (2005), os processos de deterioração evoluem de forma gradual e são identificáveis de forma visível pelo surgimento de manifestações patológicas ou detectáveis por ensaios específicos. Quando as anomalias são

identificadas ainda nos estágios iniciais, os processos de terapia são menos complicados e dispendiosos para reabilitação, configuram menores transtornos ao trânsito e à população para execução das intervenções. Portanto, as estruturas precisam ser submetidas a vistorias e inspeções periódicas de forma a subsidiar políticas de manutenção corretivas e preventivas e, assim, assegurar suas condições de utilização.

A norma técnica da ABNT NBR 9452:2019 - Inspeções de pontes, viadutos e passarelas de concreto prescreve as diretrizes para a execução das atividades de inspeção, classificando-as em quatro categorias: cadastral, rotineira (anual), especial (a cada 5 anos) e extraordinária (acidentes).

O primeiro tipo de inspeção pela qual esse tipo de estrutura deve-se passar é a cadastral, que deve ser realizada logo após sua implementação ao sistema de integração e acompanhamento viário, ou caso sejam feitas intervenções como: reforço, alargamento, acréscimo de comprimento, entre outros.

Essa atividade de inspeção contempla o registro das informações gerais do contexto em que a obra está inserida, a coleta de documentos, o registro de identificação e a localização da obra, as características funcionais e da estrutura, os registros das anomalias, as recomendações de terapia e a classificação da OAE, bem como o registro fotográfico.

As inspeções rotineiras segundo a norma, visam acompanhar o estado de conservação e detectar anomalias existentes ou possíveis de ocorrer nas estruturas, contribuindo para o planejamento de inspeções especiais que irão fornecer diagnósticos e terapias para as manifestações patológicas identificadas e auxiliando, ainda, os processos de manutenção.

Ademais, esta inspeção pode ser classificada como uma vistoria de caráter visual e de acompanhamento periódico que deve ser realizada em prazos inferiores a um ano, podendo ou não ser utilizados equipamentos e/ou recursos especiais para melhor análise/acesso. A análise deve conter o registro das informações básicas da OAE, o histórico de inspeções já realizadas, a descrição das intervenções já executadas ou em andamento, o registro das manifestações patológicas, as recomendações de terapia e a classificação da OAE, além do registro fotográfico.

Já as inspeções especiais são realizadas em períodos de tempos mais longos, a cada cinco ou oito anos, desde que a obra disponibilize total acesso a seus

elementos constituintes para a realização da inspeção rotineira e apresente notas de classificação 4 e 5.

Outrossim, as vistorias especiais são mais detalhadas e devem contemplar o mapeamento gráfico e o quantitativo das anomalias de todos os elementos acessíveis e aparentes, de modo que constem todas as informações necessárias para elaboração do diagnóstico e prognóstico da estrutura. Para que seja possível o acesso a todos os componentes da estrutura, pode ser necessária a utilização de equipamentos especiais.

A análise deve abordar a coleta das informações do contexto em que a obra está inserida, bem como os documentos e os relatórios de inspeção realizados anteriormente. Além disso, precisam apresentar a descrição das anomalias identificadas em cada elemento estrutural com os devidos mapeamento e caracterização destas, a localização em croquis do registro fotográfico e as informações dos ensaios realizados com suas metodologias, os resultados e normas técnicas de referência seguidos do diagnóstico, das terapias e a classificação da OAE.

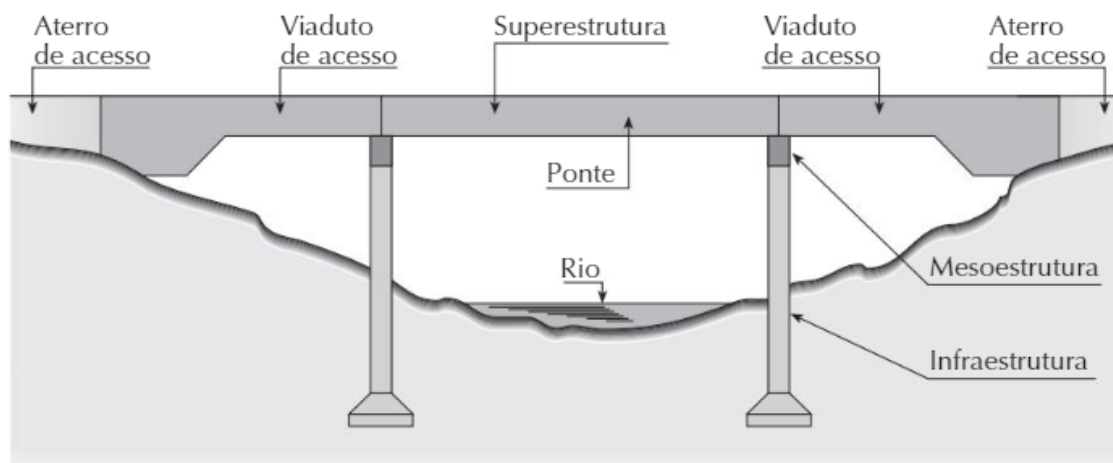
Quanto à inspeção extraordinária, ela não é programada e surge junto com alguma das demandas que serão descritas a seguir ou devido à combinação delas, como: a necessidade de avaliar com mais critério um elemento ou parte da obra, após choques mecânicos de veículos na estrutura e / ou após o episódio de algum evento natural, por exemplo, inundações, sismos e vendavais. A sua análise deve seguir a mesma metodologia empregada nas inspeções especiais.

Segundo a norma técnica NBR 9452:2016 e Marchetti (2008) as pontes e viadutos são divididos em três partes:

- Superestrutura – conjunto de elementos da parte superior, composta por lajes, vigas, articulações e pista de rolamento. É responsável pelo transporte horizontal das cargas e sua transmissão à mesoestrutura, absorvendo diretamente os esforços resultantes do tráfego.
- Mesoestrutura - localizada na porção central, é composta por pilares, travessas e encontros que conduzem os esforços da superestrutura para a infraestrutura.
- Infraestrutura - porção inferior da estrutura responsável pela transmissão dos esforços provenientes da mesoestrutura para o solo. É formada

pelos elementos de fundação como blocos, tubulões, estacas, vigas de travamento dos blocos, entre outros.

Figura 4. Representação da subdivisão dos componentes de pontes e viadutos



Fonte: Marchetti (2008, p.1)

Marchetti (2008) ainda estabelece os requisitos básicos que todas as pontes e os viadutos devem atender, os quais são: funcionalidade, segurança, estética, durabilidade e economia. Ou seja, esse tipo de estrutura deve suprir a vazão de tráfego, suportar as tensões e esforços a qual está sujeita, apresentar um aspecto harmonioso com o ambiente, acatar às exigências de uso durante o período de vida útil para o qual foi projetada e de forma econômica.

De maneira complementar, a norma técnica NBR 9452 estabelece os critérios de classificação da OAE baseado em três tipos de parâmetros, sendo eles: estruturais, funcionais e de durabilidade. Os parâmetros estruturais estão associados à capacidade portante de estabilidade da obra, à segurança estrutural baseada nos estados e limites últimos e de serviço, todos estabelecidos pelas normas técnicas. Além de constituir o critério que mais se sobressai devido ao alto risco. Já os parâmetros funcionais estão relacionados ao uso, se atende ou não aos fins para o qual foi projetado, além dos aspectos geométricos adequados que devem proporcionar conforto e segurança aos usuários. Quanto aos parâmetros de durabilidade, estes estão relacionados à vida útil da estrutura, à conservação do desempenho dentro dos limites mínimos aceitáveis dos elementos durante o período de tempo previsto.

A norma supracitada indica que a classificação da OAE seja realizada através de notas e classificações graduais que correspondam aos parâmetros comentados anteriormente; a nomenclatura a ser recebida pode variar de excelente a crítica passando por 5 níveis: excelente, boa, regular, ruim e crítica.

Tabela 3 – Classificação das condições de OAE

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 desconforto ao usuário, com defeitos que requerem ações de médio prazo.	A OAE apresenta pequenas e poucas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de moderada a alta agressividade ambiental ou a OAE apresenta moderadas a muitas anomalias, que comprometem sua vida útil, em região de baixa 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.	OAE com funcionalidade visivelmente comprometida, com riscos 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.
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 problema já de risco estrutural e/ou funcional.

Fonte: NBR 9452 (2016).

A nota final da OAE será a menor nota atribuída a cada parâmetro analisado: estrutural, funcional e de durabilidade. A classificação da OAE é um instrumento importante para definição das obras com prioridade de intervenção. Como os custos dos reparos são altos, ela se configura como uma ferramenta necessária para o plano de gerenciamento das manutenções a serem realizadas nesse tipo de obra pública, uma vez que a verba pública destinada não condiz com a alta demanda de recuperação e conservação das OAEs.

À vista disso, Mitre (2005) realizou uma coleta de dados com concessionárias de rodovias paulistas abrangendo os custos das intervenções realizadas entre 2001 e 2003 em OAEs de distintas idades (entre 20 e 40 anos), situadas em ambientes com diferentes classes de agressividade e volume de tráfego distintos. A estimativa atualizada e mais próxima da realidade na época dos custos médios de recuperação das OAEs calculada pelo autor foi de US\$ 50 a 70 / m² de tabuleiro, ou seja, entre R\$ 282 a R\$ 394,80 por metro quadrado.

Cabe salientar que já se passaram quinze anos desde a realização desse levantamento e os custos de materiais de construção passaram por aumentos exacerbados durante este período, sobre o qual conclui-se que os valores atualizados seriam significativamente superiores. Também convém mencionar que os custos das intervenções variam de acordo com o diagnóstico e a terapia específica para cada tipo de obra de arte.

Os dados referidos oferecem uma dimensão aproximada do impacto que a manutenção das OAEs tem na economia do país. Portanto, é de extrema importância que a conservação dessas estruturas seja realizada de forma planejada, com custo mínimo e uma aplicação ponderada dos recursos financeiros disponíveis. Conforme menciona Mitre (2005) “tais objetivos são possíveis quando se tem conhecimento detalhado e atualizado do estado do conjunto de obras a serem conservadas ao longo do tempo. ” Para tanto são imprescindíveis a realização das inspeções de forma periódica, bem planejada, por profissionais habilitados, capacitados e devidamente treinados para diagnósticos de forma precisa, padronizada, com a correta classificação das OAEs e das recomendações das terapias necessárias.

Portanto, o órgão gestor público deve possuir um sistema de gerenciamento de OAEs que disponha de critérios de classificação da gravidade, extensão e

intensidade das manifestações patológicas, qualificando as obras de arte de acordo com seu estado de conservação e a necessidade de correções, conferindo-lhes graus diferentes de urgência de intervenção. Através dessa ferramenta, as manutenções das obras tornam-se economicamente mais viáveis e, a longo prazo, obtém-se a homogeneidade no estado de conservação dessas estruturas, de modo que todas atendam, pelo menos, ao patamar mínimo de desempenho aceitável durante toda sua vida útil de projeto.

Por essa razão, o acompanhamento periódico do estado das OAEs, por meio de vistorias e inspeções detalhadas, executadas conforme um conjunto de procedimentos padronizados e tecnicamente adequados, é o modo mais eficaz de subsidiar uma política de manutenção corretiva e preventiva de OAEs. Esse é o melhor meio para garantir economia, segurança, funcionalidade e alocação racional dos recursos disponíveis para a recuperação e manutenção de OAEs de acordo com a urgência de intervenção de cada obra. (Mitre, 2005, p.7)

3.4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS E MECANISMOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO MAIS RECORRENTES EM VIADUTOS

Conforme Lourenço *et al.* (2009): “as pontes e viadutos são obras de arte especiais que estão sujeitas à ação de diversas patologias da construção, em função do seu uso contínuo e da falta de programas preventivos de manutenção em grande parte dos casos. ”

Com base nos trabalhos de Lima *et al.* (2019) e Laner (2001) foram elencadas as manifestações patológicas e mecanismos de deterioração mais recorrentes em viadutos de concreto armado, as quais serão descritas seguir:

- **Oxidação/Corrosão de armaduras**

É um dos processos degradantes mais comuns nas estruturas de concreto armado decorrente da exposição da estrutura a diversos fatores como: presença de água, oxigênio e agentes agressivos. Para Helene (1986), a corrosão é definida como a interação destrutiva de um material com o ambiente, o qual pode ocorrer por reação química ou eletroquímica, ou seja, são dois processos pelos quais as armaduras de aço podem sofrer deterioração, oxidação e corrosão. A oxidação é o

ataque ocorrido pela reação entre gás e metal; já a corrosão, propriamente dita, é o ataque natural e eletroquímico que ocorre em meio aquoso.

Segundo Mitre (2005), o enfoque nos estudos desse tipo de manifestação patológica é motivada pelo seu possível impacto estrutural, pela relevância econômica e devido à grande incidência nas obras civis. Acerca da formação da corrosão, os autores Sena, Nascimento e Neto (2020, p. 86) abordam que:

O principal mecanismo de corrosão do aço no concreto se dá por meio eletroquímico, podendo ser corrosão localizada (conhecida como pites ou cavidades), que ocorre geralmente em ambientes em contato com os íons agressivos (cloretos) e sua formação se torna favorável na presença de oxigênio e umidade; ou corrosão generalizada, que ocorre em função da redução do pH do concreto para valores menores que 9. (Sena, Nascimento e Neto, 2020, p. 86)

A redução do pH do concreto ocorre por meio do processo de carbonatação que consiste na penetração de gás carbônico pelos poros do material que, ao reagir com as moléculas de água na estrutura, forma o ácido carbônico; este, por sua vez, ao reagir com hidróxido de cálcio gera o carbonato de cálcio. Durante essa última reação, os componentes alcalinos do cimento são consumidos, acarretando na redução de pH. A carbonatação ocorre na região externa indo em direção à região externa da estrutura até atingir as barras de aço, onde ocorre a despassivação da armadura, tornando-a vulnerável ao processo de corrosão.

Já a contaminação do concreto com íons cloreto ocorre pela penetração dos íons no concreto de cobrimento da armadura, e quando a concentração em sua superfície atinge um nível crítico, o processo corrosivo é desencadeado. Logo, ocorre, na maioria das vezes, por meio da exposição da estrutura à névoa salina ou, diretamente à água do mar e seus respingos.

- **Lixiviação**

Segundo Laner (2001), a lixiviação ocorre frequentemente nas estruturas de concreto sujeitas à ação da água, por intermédio da remoção de compostos hidratados da pasta de cimento pelas reações químicas em presença de água, formando manchas brancas na superfície de concreto, seguidas de precipitação de géis e, conseqüentemente, a formação de estalactite ou estalagmite. Ainda conforme o que aborda o autor, esse tipo de manifestação patológica é muito comum em

obras de arte que apresentam ruptura ou ausência/falha de elementos de vedação das juntas de dilatação. Isto ocorre porque as juntas são pontos de fragilidade da estrutura e ao apresentar falhas, constitui um caminho preferencial das águas carbonatadas que se dispersam pelas superfícies das paredes do dispositivo em direção à superfície do tabuleiro.

De acordo com Mehta et al. (1994), o principal efeito deletério desse processo de lixiviação ocorre devido à dissolução do hidróxido de cálcio da pasta de cimento que, por serem cristais grandes, aumentam a porosidade na matriz da pasta tornando o meio mais ácido. Por conseguinte, observa-se uma redução do pH do extrato aquoso dos poros superficiais do concreto e riscos de desp passivação da armadura.

Por conseguinte, a eflorescência é um tipo de manifestação patológica decorrente do processo de lixiviação dos compostos calcários da pasta de cimento que se acumulam na superfície, formando depósitos de sais em coloração branca após a evaporação de água. De acordo com Sena, Nascimento e Neto (2020) apesar de aparentar inicialmente, um problema estético, na verdade, a ocorrência dessa anomalia evidencia a presença/percolação de água e revela que há perda de alcalinidade da estrutura, uma vez que o hidróxido de cálcio é o composto hidratado do cimento responsável por manter o pH básico. Como já mencionado anteriormente, a redução do pH corrobora para a desp passivação da armadura e, assim, compromete a camada de proteção, favorecendo o processo de corrosão da armadura.

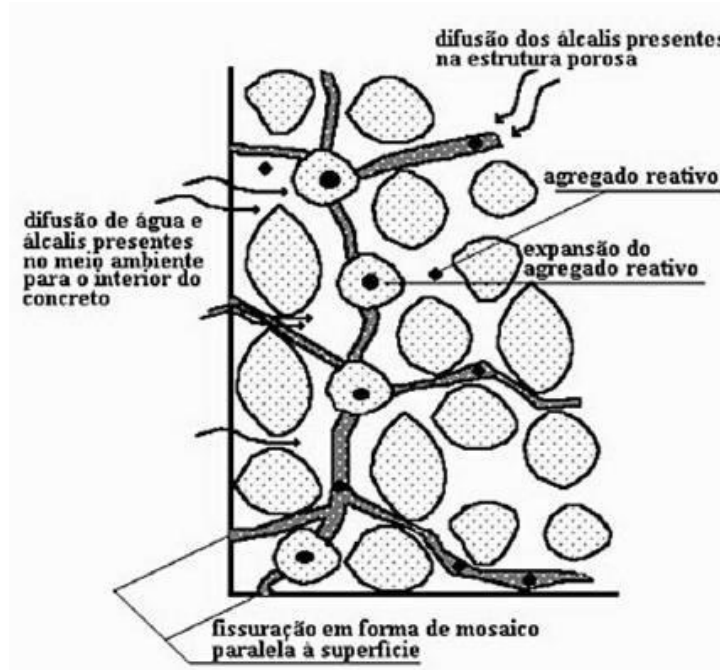
- **Reação Expansiva Álcali Agregado**

Sena, Nascimento e Neto (2020) delimitam que a reação álcali-agregado é um fenômeno resultante da interação química entre os compostos hidratados do cimento com minerais reativos dos agregados, formando compostos que, na presença de umidade, possuem características expansivas que podem levar a fissuração e a degradação do concreto. A reação mais recorrente nas estruturas em concreto armado no Brasil, ocorre com agregados (areias) que contenham certos típicos de sílica amorfa.

Os íons hidroxilas presentes na pasta de cimento em contato com os álcalis óxido de sódio e óxido de potássio, ao interagirem com a sílica integrante do

agregado e na presença de água, resultam na destruição da ligação da estrutura da sílica e na formação de um gel de silicatos de cálcio e álcalis, conforme evidenciado na figura a seguir. Esse gel é higroscópico, sendo capaz de absorver água e gerar pressão hidráulica, ocasionando forças de tração que expandem o concreto e criam um estado vulnerável a fissuras (Sena, Nascimento e Neto; 2020, p. 49).

Figura 5. Desenvolvimento da reação álcali-agregado no concreto



Fonte: Souza e Ripper (1998).

- **Reação expansiva por Sulfato**

De acordo com Filho (1994), os íons sulfatos ao reagirem com os compostos do cimento hidratados na presença de umidade podem resultar na expansão e fissuração do concreto e na perda progressiva da resistência, rigidez e massa do concreto.

A norma técnica NBR 6118 determina que o processo de expansão por sulfatos é um dos mecanismos preponderantes de deterioração da estrutura em concreto, e, ainda, define o processo como uma reação proveniente da ação de águas ou solos que contenham ou estejam contaminados por sulfatos que, em contato a pasta de cimento hidratado, resulta em reações expansivas e deletérias à estrutura. O sulfato reage com o aluminato tricálcio da pasta de cimento e forma a etringita que possui características expansivas e pode resultar na fissuração do

concreto. Similarmente, Sena, Nascimento e Neto (2020), expressam que a gravidade da reação está relacionada diretamente ao teor de sulfatos da água/solo contaminado e às características do concreto.

- **Falhas nos dispositivos de drenagem e nas juntas de dilatação**

As juntas são elementos essenciais que compõem as estruturas e têm como objetivo permitir a movimentação destas em pontos estratégicos, de forma a evitar o surgimento de fissuras e de demais manifestações patológicas oriundas da dilatação térmica e da movimentação da estrutura. As falhas e danos observados nas juntas podem ser resultantes dos seguintes fatores: dimensionamento incorreto; acúmulo de detritos; variações extremas de temperatura; impactos de veículos pesados; desgaste ou ausência do material da junta, originados pelo uso ou por uma má conservação.

Entre as falhas mencionadas, a ausência /desgaste do material de vedação e as falhas nos dispositivos de drenagem são fatores que corroboram para a infiltração de água na estrutura em concreto e, assim, no surgimento das diversas anomalias citadas anteriormente que se manifestam em meio aquoso. A norma técnica da ABNT NBR 6118 aborda que: “todas as juntas de movimento ou de dilatação, em superfícies sujeitas à ação de água, devem ser convenientemente seladas, de forma a torná-las estanques à passagem (percolação) de água”. Portanto, torna-se imprescindível a realização de inspeções e atividades de manutenção de forma a zelar pela conservação desses elementos, de modo a evitar condições que favoreceram o surgimento e agravamento das manifestações patológicas.

As estruturas de viadutos e obras de arte, no geral, devem ser projetadas e executadas com a finalidade de evitar o acúmulo de água em pontos essenciais, como no encontro de vigas, na pista de rolamento ou nos caixões. Entende-se que água possui ação deletéria sobre as estruturas de concreto, portanto, a norma técnica da ABNT NBR 6118 aborda que devem ser previstos meios para proteger esse tipo de estrutura da ação da água. Além das falhas de projeto e execução do sistema de drenagem identificados nesse tipo de obra de arte, destacam-se falhas na manutenção e uso dos dispositivos que acarretam o acúmulo de lixo sobre os pontos de captação da água e ocasionam danos ao sistema e perda de

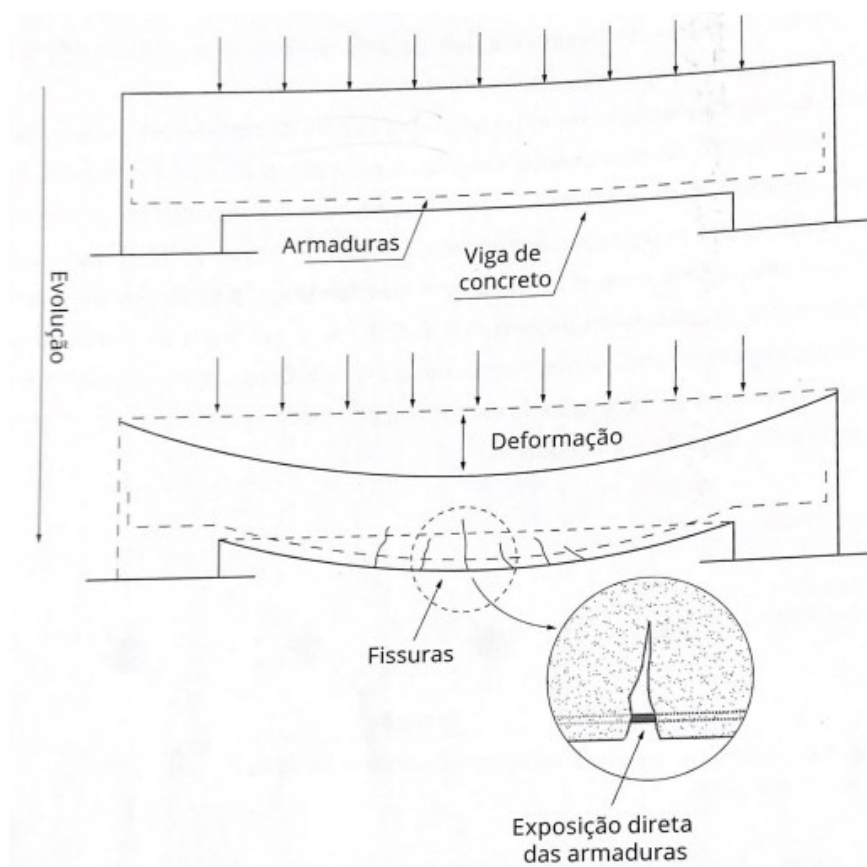
desempenho/funcionalidade do sistema, favorecendo a percolação de água pelos elementos estruturais e contribuindo para a sua deterioração precoce.

- **Fissuras e trincas ativas ou passivas nas peças de concreto armado**

As fissuras e trincas são sintomas que podem aparecer desde as primeiras idades até o fim da vida útil das estruturas de concreto armado. De acordo com Laner (2001), as fissuras são as manifestações patológicas mais comuns nesse tipo de estrutura e podem se originar de diferentes fatores durante a ocorrência em pontes e viadutos. O posicionamento das fissuras nos elementos estruturais, assim como a dimensão, o espaçamento e a trajetória são características que contribuem para identificação da causa de sua ocorrência e para o diagnóstico/terapia. Dentre as causas, podem-se citar: assentamento plástico da estrutura devido à secagem rápida, contração e retração térmica, retração hidráulica a longo prazo devido à cura insuficiente durante a concretagem, juntas de dilatação ineficazes, corrosão da armadura, reação álcali-agregado, entre outras.

São muitas as causas e os tipos de fissuras que podem ocorrer nas estruturas em concreto armado, e, apesar de, na grande maioria dos casos, não representar um risco estrutural logo no início do seu surgimento, as fissuras são meios/caminhos que favorecem o ingresso de agentes agressivos na estrutura bem como a deterioração do concreto e corrosão das armaduras, podendo, a longo prazo, influenciar as propriedades resistentes das estruturas e representar riscos à segurança da obra e da sociedade no geral.

Figura 6. Corrosão devido à exposição direta da armadura ao ambiente causada pela formação de fissura de cunho mecânico.



Fonte: Bolina, Tutikian e Helene (2019).

Em suma, é válido reiterar a importância das atividades de inspeção e manutenção desse tipo de estrutura, pois, ao identificar e tratar essas anomalias nos primeiros momentos de sua ocorrência podem-se evitar danos e custos bem maiores a longo prazo.

- **Exposição do concreto ao fogo**

O fogo produzido por moradores de rua abrigados sob os tabuleiros seja para se aquecer durante os períodos frios, seja para queima do lixo produzidos por eles, ou, ainda, para preparo de alimentos, podem afetar parte da estrutura em concreto armado, comprometendo sua funcionalidade e desempenho. De acordo com Rocha (2018), embora o concreto apresente boa resistência quando submetido a altas temperaturas, devido às características térmicas dos materiais que o compõem, como incombustibilidade, baixo coeficiente de dilatação e condutividade térmica,

essa condição provoca redução no módulo de elasticidade e na resistência das características de seus materiais constituintes, comprometendo a segurança estrutural do elemento em concreto. (Costa, 2011).

Ademais, Cardoso (2012) menciona sobre a redução da vida útil e da necessidade de intervenções/manutenções nas estruturas de concreto quando submetidas a altas temperaturas. Lorenzon (2014) agrega que, no caso de situações com temperaturas extremas, essas podem provocar deslocamentos/lascamentos no concreto, fenômeno conhecido como Spalling. Portanto, são imprescindíveis ações por parte dos órgãos públicos de forma a garantir o correto uso dessas estruturas e impedir sua deterioração precoce devido ao mau uso

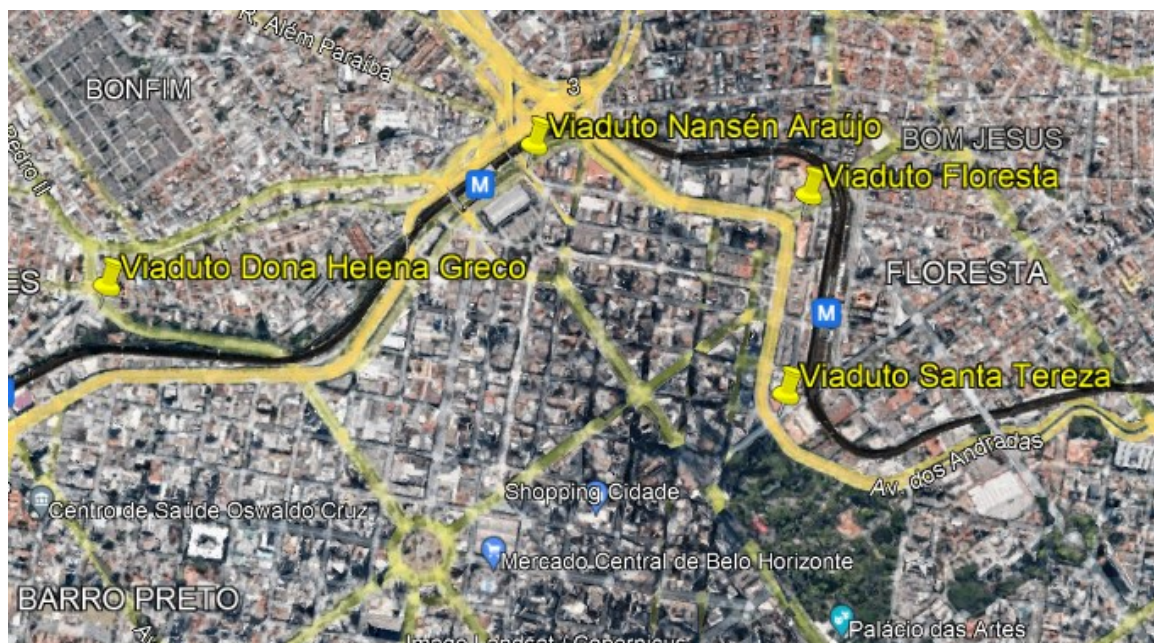
4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Pesquisa de campo

O trabalho foi desenvolvido embasando-se, teoricamente, em referências científicas, como: artigos, monografias, periódicos, normas técnicas e livros com temáticas compatíveis ao estudo. Para melhor visualização do objetivo proposto na introdução, foram realizadas inspeções em campo em quatro viadutos com alto fluxo de pessoas na cidade de Belo Horizonte, de modo a identificar as manifestações patológicas mais recorrentes nesse tipo de obra de arte especial, classificá-las de acordo com o estado atual de conservação e visualizar como a ausência de manutenções periódicas impacta na deterioração precoce dessas estruturas em concreto armado. Ou seja, a pesquisa de campo possui caráter qualitativo descritivo.

A escolha dos viadutos foi realizada com base nos estudos desenvolvidos pelo Instituto Nacional Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (IBAPE) em viadutos de Belo Horizonte em 2015 e 2017. Quatro das obras de arte que compõem a pesquisa do IBAPE foram inspecionadas e, assim, além do registro das condições atuais, foi possível realizar um comparativo entre o estado de conservação que se encontravam em 2015, 2017 e nos dias atuais. Os quatro viadutos inspecionados, foram: Viaduto Floresta, Viaduto Dona Helena Greco, Viaduto Santa Tereza e Viaduto Nansén de Araújo.

Figura 7. Vista aérea da localização dos viadutos: Santa Tereza, Floresta, Nansén Araújo e Dona Helena Greco



Fonte: Google Earth (2021).

4.2 Metodologia de obtenção dos dados

As inspeções nos quatro viadutos foram realizadas no dia 23 de outubro de 2021, baseadas nas diretrizes da norma técnica da ABNT NBR 9452:2019 - Inspeções de pontes, viadutos e passarelas de concreto e com o auxílio das seguintes ferramentas: câmera fotográfica, fissurômetro, câmera termográfica e nível bolha. O fissurômetro foi utilizado para medir as fissuras e trinca encontradas na estrutura, o nível bolha para aferir a existência ou não de caimento dos dispositivos de drenagem para os pontos de captação de água e a câmera termográfica para identificar pontos com presença de umidade na estrutura.

Além do registro fotográfico foi preenchida uma planilha baseada no modelo de ficha de inspeção rotineira presente na norma técnica da ABNT NBR 9452 para melhor compilação dos dados e análise dos resultados. Consta a planilha a seguir:

Tabela 4 – Ficha de inspeção dos viadutos

Tipo de inspeção	
Data da inspeção	
Informações gerais	
Identificação e localização	
Endereço	
Descrição das intervenções executadas ou em andamento	
Reparos	
Alargamentos	
Reforços	
Registro de Manifestações Patológicas	
A – Elementos estruturais	
Superestrutura :	
Mesoestrutura:	
Infraestrutura:	
Aparelhos de apoio:	
Juntas de dilatação:	
Encontros:	
Outros elementos:	
B – Elementos da pista ou funcionais	
Pavimento	
Acostamento e refúgio	
Drenagem	

Guarda-corpos	
Barreiras rígidas / defensas metálicas	
C - Outros elementos	
Iluminação	
Proteção de pilares	
Informações complementares	
Classificação da OAE	
Estrutural	
Funcional	
Durabilidade	

Fonte: Adaptado da NBR 9452 (2016).

A análise dos viadutos contemplou o registro das informações básicas da OAE, descrição das intervenções já executadas ou em andamento, registro das manifestações patológicas e classificação da OAE levando em consideração os 3 parâmetros abordados anteriormente: estruturais, funcionais e de durabilidade, bem como o registro fotográfico.

5. Resultados obtidos e análise dos dados

Primeiramente, foi realizada a coleta de dados históricos e informações básicas dos viadutos que compreendem esse estudo de caso. O viaduto Santa Tereza foi construído em 1929 sendo o projeto definitivo executado pelo engenheiro Emílio Baumgart com o objetivo de “conjurar os males do congestionamento do tráfego entre duas partes da cidade: o centro e a zona da Floresta”.(Thomaz apud Gazeta de notícias (1928)).

Figura 8. Vista lateral do viaduto Santa Tereza



Fonte: Arquivo pessoal.

O viaduto Floresta foi inaugurado em 1937 também com o objetivo de ligar o bairro Floresta ao centro comercial, de modo a evitar acidentes que ocorriam nos cruzamentos de bondes com a estrada de ferro.

Figura 9. Vista lateral do viaduto Floresta



Fonte: Arquivo pessoal.

Já o viaduto Nansém Araújo, conhecido na época como viaduto A, faz parte do complexo da Lagoinha e foi construído na década de 1980 com o objetivo de interligar o Centro à Rua Itapecerica.

Figura 10. Vista lateral do viaduto Nansén Araújo



Fonte: Arquivo pessoal.

O viaduto Dona Helena Greco teve seu nome alterado em homenagem a ex-vereadora de Belo Horizonte Helena Greco em 02 de maio de 2014, anteriormente era conhecido como “Elevado Castelo Branco”. Construído para dar maior fluidez no trânsito da capital, o elevado Castelo Branco foi inaugurado em 14 de março de 1971 ligando as avenidas Bias Fortes e Pedro II.

Figura 11. Vista lateral do viaduto Dona Helena Greco.



Fonte: Arquivo pessoal.

Todos os quatro viadutos apresentaram manifestações patológicas semelhantes e condizentes com as anomalias mais recorrentes apontadas durante a fundamentação teórica. Para facilitar a leitura e visualização, foi exposto em forma de tabela as manifestações patológicas identificadas durante as inspeções.

Tabela 5 – Manifestações patológicas identificadas nos viadutos inspecionados

Local	Manifestações patológicas/ Mecanismos de deterioração	Viaduto Santa Tereza	Viaduto Floresta	Viaduto Nansén Araújo	Viaduto Dona Helena Greco
Super estrutura	Corrosão de armaduras nos elementos estruturais	X	X	X	X
	Fissuras e trincas sob laje do	X	X	X	X

	tabuleiro				
	Fissuras e trincas no pavimento asfáltico	X	X	X	X
	Danos/ falhas no sistema de drenagem (ausência de continuidade das tubulações, pontos de captação de água entupidos com lixo)	X	X	X	X
	Manchas de umidade / eflorescências sob elementos estruturais (laje/vigas do tabuleiro)	X	X	X	X
	Danos/Falhas no sistema elétrico (condutores expostos a umidade)	X		X	X
	Ausência/desgaste na vedação das juntas de dilatação	X	X	X	X
Meso estrutura	Corrosão de armadura e deslocamento do concreto nos pilares		X		X
	Fissuras e desagregação do concreto na base dos pilares	X	X	X	X
	Danos ao revestimento de proteção na base dos pilares (trincas, quebras das peças em granito)	X	Não existe	Não existe	Não existe
	Manchas escurecidas decorrentes da exposição do concreto ao fogo	X	X	X	X
Elementos complementares	Fissuras, trincas e deslocamento do concreto nas barreiras rígidas	X	X	X	X
	Corrosão das defensas metálicas	Não existe	Não existe	Não existe	X
	Deslocamento do revestimento sobre a área de circulação de pedestres	X	X	Sem acesso	X
	Ausência de caimento das sarjetas que compõem o sistema de drenagem da via	X	X	Sem acesso	X

Fonte: Arquivo pessoal

Para melhor análise das anomalias estas serão abordadas de forma individual sendo apresentados os registros fotográficos tirados no dia 23 de outubro de 2021, de acordo com a sequência em que foram realizadas as inspeções: Viaduto Santa Tereza, viaduto Floresta, viaduto Nansén Araújo e viaduto Dona Helena Greco,

respectivamente. Conforme mencionado na fundamentação teórica, durante as inspeções foi possível observar que o processo de corrosão das armaduras é realmente um dos mecanismos degradantes mais comuns nas estruturas de concreto armado.

Figura 12. Corrosão de armaduras na superestrutura (região inferior da laje do tabuleiro) nos viadutos Santa Tereza e Floresta.	
Viaduto Santa Tereza	Viaduto Floresta
	
Fonte: Arquivo pessoal	
Figura 13. Corrosão de armaduras na superestrutura (região inferior da laje do tabuleiro) nos viadutos Nansén Araújo e Dona Helena Greco.	
Viaduto Nansén Araújo	Viaduto Dona Helena Greco
	
Fonte: Arquivo pessoal	

Como evidenciado nas imagens, em todas as regiões que apresentaram esse tipo de anomalia também foi possível observar manchas de umidade decorrentes da percolação de água pela estrutura, comprovando mais uma vez que são reações que ocorrem em meio aquoso. Em todas as situações observadas, podemos citar as

falhas de estanqueidade dos sistemas e a falha no cobrimento das armaduras como fatores preponderantes para o desencadeamento do processo de corrosão das armaduras.

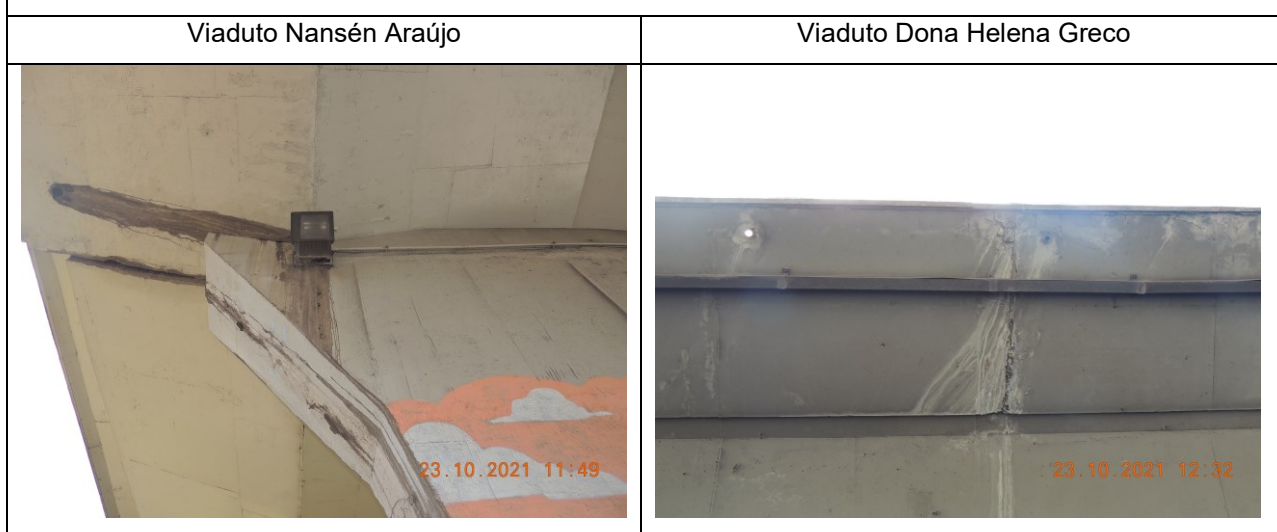
Diversas foram as causas que favoreceram as falhas de estanqueidade observadas de forma recorrente nas OAEs inspecionadas. Dentre elas pode-se citar: ausência de continuidade ou na ligação entre as tubulações na região sob o tabuleiro, pontos de captação de água obstruídos com lixo, ausência de caimento das sarjetas entre via e meio-fio e falhas na vedação das juntas de dilatação.

Figura 14. Ausência de continuidade nas tubulações ou falhas na ligação das tubulações do sistema de drenagem dos viadutos Santa Tereza e Floresta.



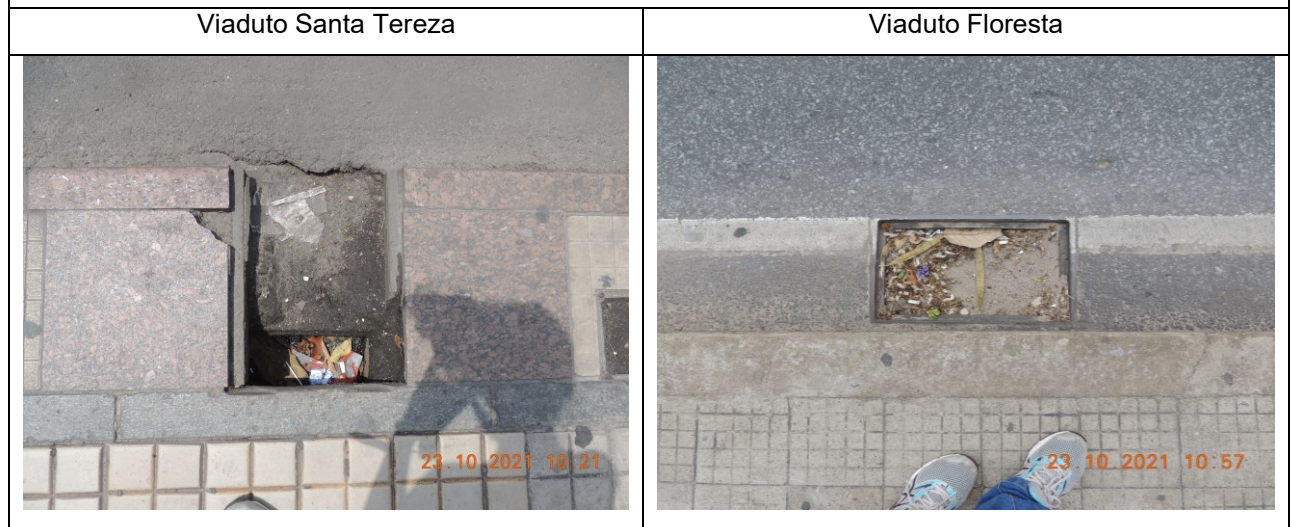
Fonte: Arquivo pessoal

Figura 15. Ausência de continuidade nas tubulações ou falhas na ligação das tubulações do sistema de drenagem dos viadutos Nansén Araújo e Dona Helena Greco.



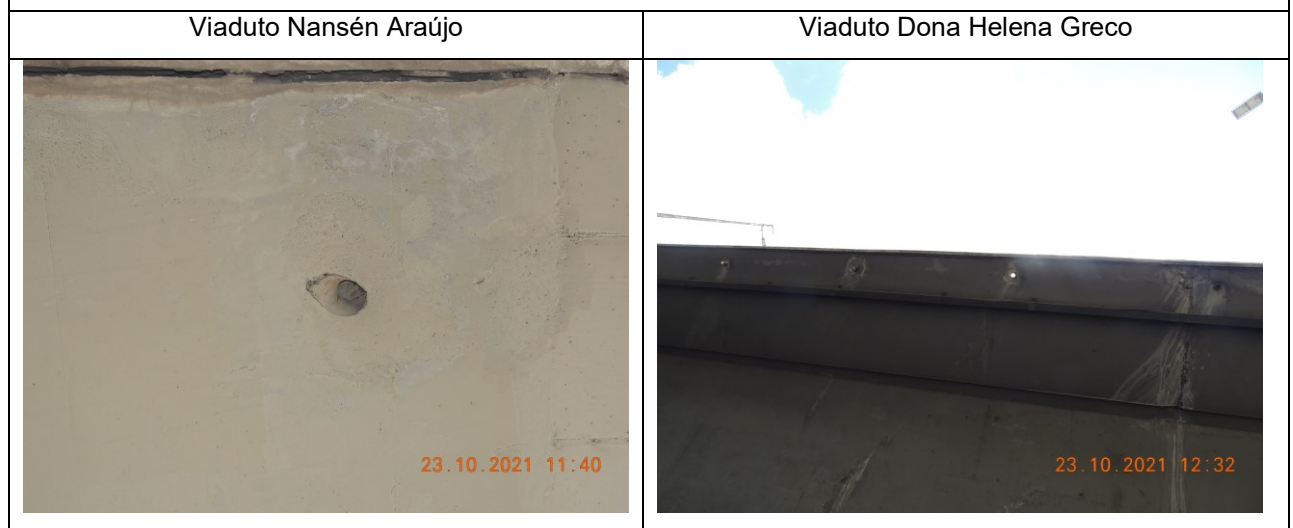
Fonte: Arquivo pessoal

Figura 16. Pontos de captação de água do sistema de drenagem das vias obstruídos com lixo nos viadutos Santa Tereza e Floresta.



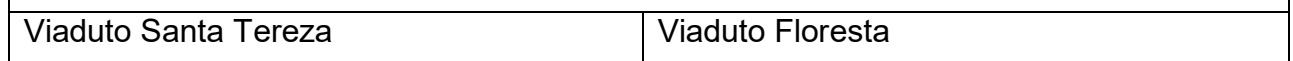
Fonte: Arquivo pessoal

Figura 17. Pontos de captação de água do sistema de drenagem das vias obstruídos com lixo nos viadutos Nansén Araújo e Dona Helena Greco.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 18. Ausência de caimento nas sarjetas que compõem o sistema de drenagem nos viadutos Santa Tereza e Floresta





Fonte: Arquivo pessoal

Figura 19. Ausência de caimento na sarjeta que compõe o sistema de drenagem no viaduto Dona Helena Greco evidenciado pelo crescimento de vegetação. No viaduto Nansén Araújo não foi possível acessar a via para averiguar a existência ou não de inclinação.

Viaduto Nansén Araújo	Viaduto Dona Helena Greco
Sem acesso	

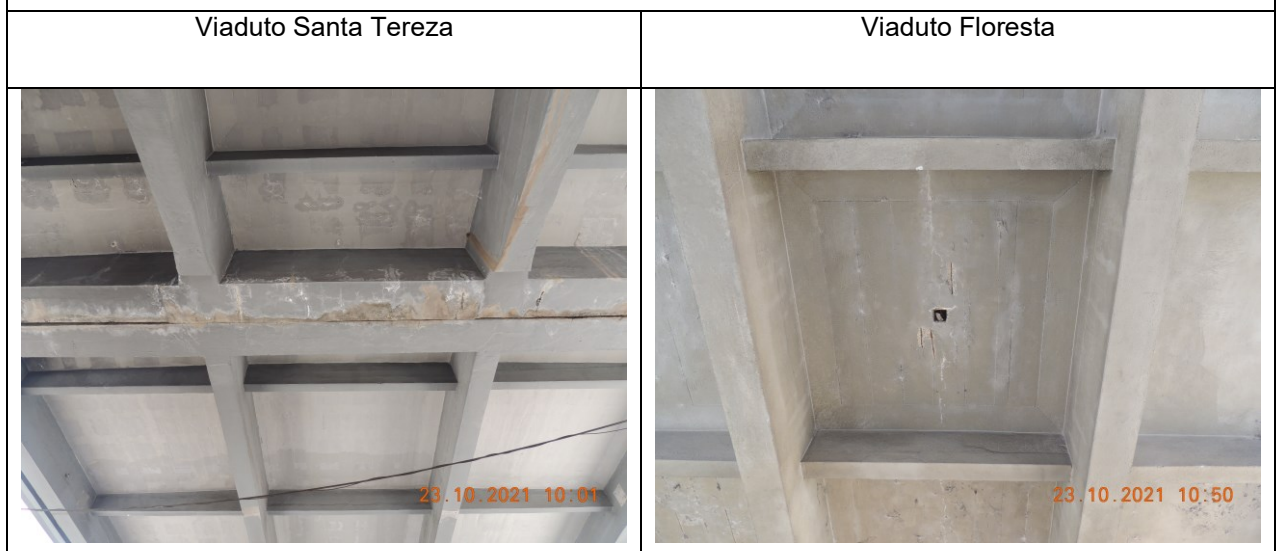
Fonte: Arquivo pessoal

Todas as falhas de estanqueidade observadas estão relacionadas a ausência de manutenção no sistema de drenagem. Conforme mencionado durante a fundamentação teórica, para que todos os sistemas continuem funcionando e operando nas condições mínimas de desempenho exigidas pela norma técnica da ABNT NBR 15575 é imprescindível a realização de manutenções periódicas com o intuito de conservar/resgatar seu desempenho e garantir o atendimento a vida útil prevista em projeto.

A norma técnica da ABNT NBR 6118:2014, cita os mecanismos preponderantes de deterioração do concreto: lixiviação, expansão por sulfato e expansão álcali-agregados. Conforme mencionado na norma, todos esses

processos ocorrem na presença de água, evidenciando a ação deletéria dessa substância sobre as estruturas em concreto e como deve ser evitado sua presença/acumulação, seja por projetos bem elaborados, execução adequada e realização de manutenções periódicas, o que não foi evidenciado no local.

Figura 20. Manchas de eflorescências na região inferior do tabuleiro decorrente da percolação de água pela estrutura dos viadutos Santa Tereza e Floresta.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 21. Manchas de eflorescências na região inferior do tabuleiro decorrente da percolação de água pela estrutura dos viadutos Nansén Araújo e Dona Helena Greco



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 22. Manchas de eflorescências na região inferior do tabuleiro decorrente da percolação de água pela estrutura do viaduto Dona Helena Greco

Viaduto Dona Helena Greco



Fonte: Arquivo pessoal

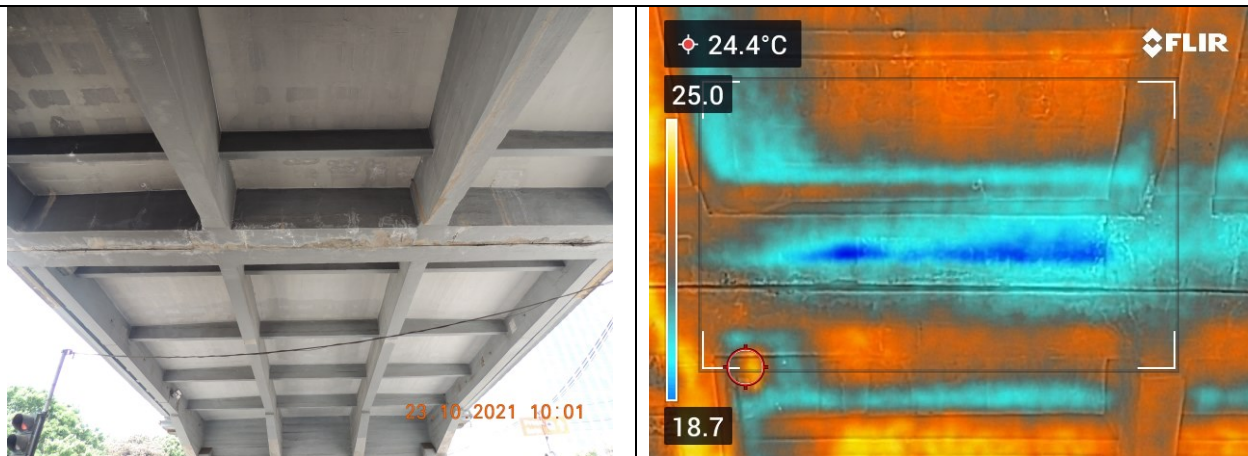
Todas as OAEs inspecionadas apresentaram falhas na vedação das juntas de dilatação que favoreceram a percolação de água pela estrutura e, portanto, o surgimento das manifestações patológicas na região. Para melhor visualização foi utilizada a câmera termográfica que possibilita a captura de luz infravermelha com o objetivo de transformá-la em uma faixa visível do espectro e, assim identificar trechos com infiltração/acúmulo de água. Isso é possível, porque a água possui temperatura mais amena que os demais elementos, logo os locais que apresentam presença de água assumem coloração azul escura no registro termográfico que corresponde a temperaturas mais baixas

Figura 23. Falhas na vedação das juntas de dilatação favorecem a percolação de água pela estrutura do viaduto Santa Tereza (vista superior)



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 24. As manchas de eflorescência e a imagem térmica evidenciam a presença/percolação de água na estrutura proveniente das falhas de vedação da junta de dilatação no viaduto Santa Tereza (vista inferior).



Fonte: Arquivo pessoal

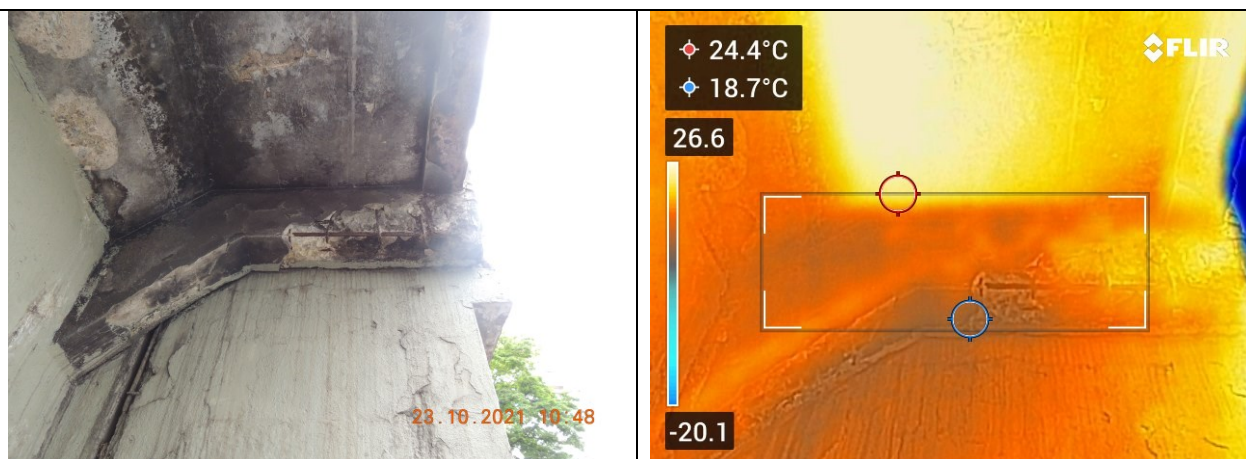
Figura 25. Falhas na vedação das juntas de dilatação favorecem a percolação de água pela estrutura e o crescimento de vegetação no viaduto Santa Tereza (vista superior)



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 26. As manchas de umidade e a imagem térmica evidenciam a presença/percolação de água na estrutura proveniente das falhas de vedação da junta de dilatação no viaduto Santa Tereza (vista inferior)

Vista inferior



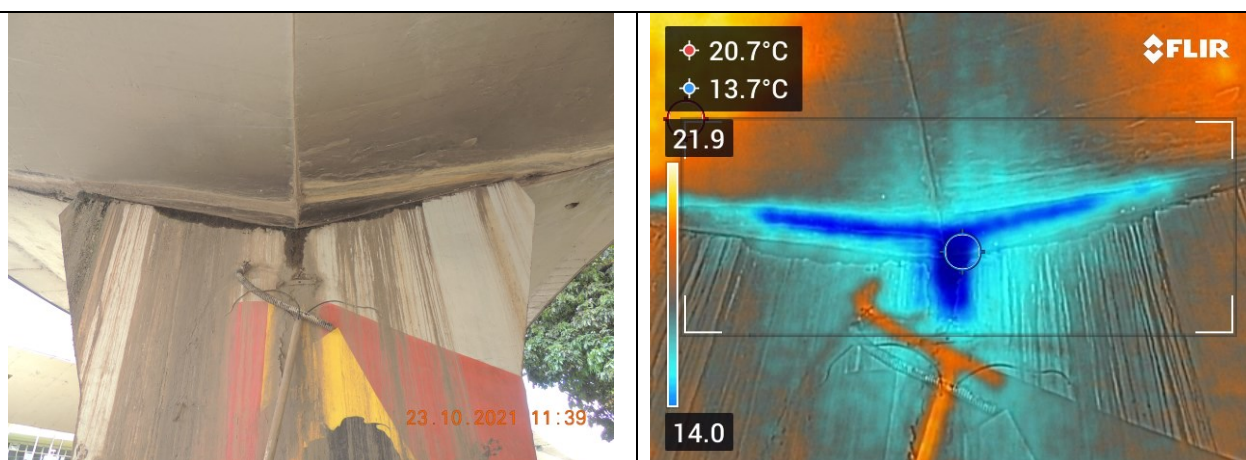
Fonte: Arquivo pessoal

Viaduto Nansen Araújo

Vista superior: Não foi possível acessar o local

Figura 27. As manchas de umidade e a imagem térmica evidenciam a presença/percolação de água na estrutura proveniente das falhas de vedação da junta de dilatação no viaduto Nansén Araújo (vista inferior)

Vista inferior



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 28. O crescimento de vegetação demonstra a presença/percolação de água na estrutura proveniente das falhas de vedação da junta de dilatação no viaduto Nansén Araújo



Fonte: Arquivo pessoal

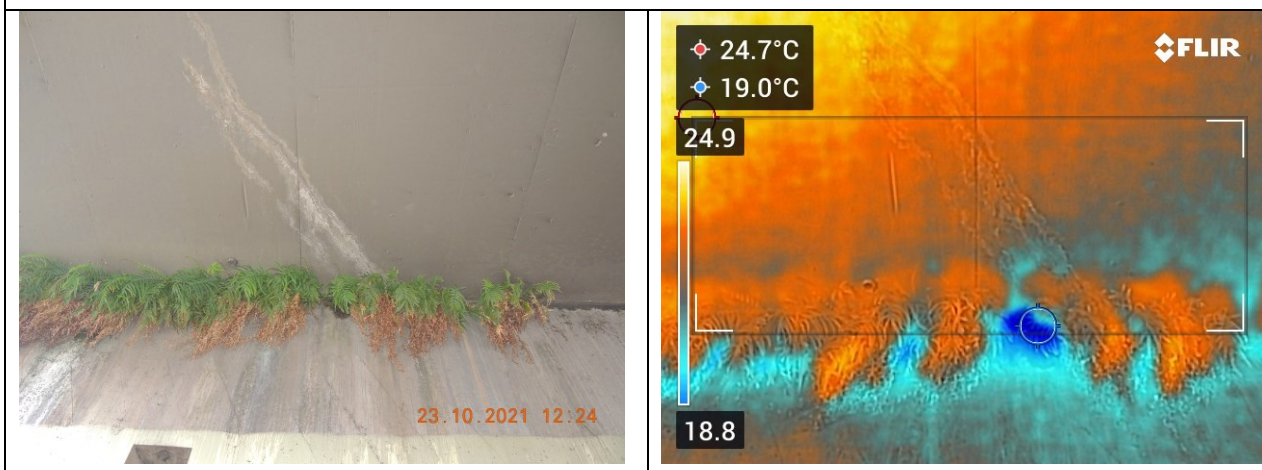
Viaduto Dona Helena Greco

Figura 29. A inexistência de acesso para pedestres no trecho comprometeu a visualização da região superior do tabuleiro na região correspondente à junta de dilatação.



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 30. As manchas de eflorescência, o crescimento de vegetação e a imagem térmica evidenciam a presença/percolação de água na estrutura proveniente das falhas de vedação da junta de dilatação no viaduto Dona Helena Greco (vista inferior)



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 31. Crescimento de vegetação no interior da junta de dilatação devido a falhas na vedação do dispositivo permitindo a percolação de água no trecho



Fonte: Arquivo pessoal

Como demonstrado nos registros fotográficos todas as juntas de dilatação apresentam falhas de vedação que corroboram para a percolação de água pelo tabuleiro culminando no crescimento de vegetação, surgimento de manchas de eflorescência, desagregação do concreto e corrosão das armaduras, ou seja, a

presença de água fragiliza o concreto armado e o torna susceptível a uma série de manifestações patológicas que ao longo prazo e se não tratadas, podem impactar na perda de resistência e concomitantemente na segurança estrutural das obras de arte.

A norma técnica da ABNT NBR 6118 expõe que “todas as juntas de movimento ou de dilatação, em superfícies sujeitas à ação de água, devem ser convenientemente seladas, de forma a tornarem-se estanques à passagem (percolação) de água.” Portanto, a realização de inspeções e de manutenções sejam elas corretivas e/ou preventivas são fundamentais para garantir a estanqueidade do dispositivo e a preservação da vida útil da estrutura.

Quanto as barreiras físicas em concreto armado executadas em ambos os lados dos viadutos, estas são responsáveis pela proteção lateral de veículos e segurança dos pedestres, portanto devem ter altura, capacidade resistente e perfil interno adequados para impedir a queda do veículo desgovernado, absorver o choque lateral e propiciar sua recondução à faixa de tráfego. Para que os dispositivos atendam essas condições é necessário que estes estejam em bom estado de conservação, diferente do que foi encontrado durante as inspeções, onde foi observado fissuras, trechos com desagregação do concreto, armaduras expostas e em processo de corrosão.

Figura 32. Trechos com deslocamento do concreto no viaduto Santa Tereza e exposição e corrosão das armaduras nas barreiras rígidas em concreto do viaduto Floresta



Fonte: Arquivo pessoal

Figura 33. Fissuras e trincas na barreira em concreto do viaduto Nansén Araújo e deslocamento do concreto, exposição e corrosão das armaduras nas barreiras em concreto armado do viaduto Dona Helena Greco	
Viaduto Nansén Araújo	Viaduto Dona Helena Greco
	
Fonte: Arquivo pessoal	

Como são dispositivos que estão expostos constantemente às intempéries, para que estes continuem apresentando desempenho favorável com o passar dos anos, são imprescindíveis a realização de intervenções/manutenções. Contudo, para que estas resgatem o estado ideal de conservação dos elementos, devem ser executadas de forma adequada e bem planejada. Durante a inspeção do viaduto Dona Helena Greco foi possível observar armaduras expostas que foram pintadas, ou seja, foram realizadas intervenções, mas elas compreenderam apenas uma nova pintura das barras de aço, não sendo realizado o tratamento adequado e o preenchimento com graute, de forma a garantir o cobrimento da armadura e as condições de durabilidade.

Figura 34. Pintura sobre armadura exposta na barreira rígida em concreto armado do viaduto Dona Helena Greco



Fonte: Arquivo pessoal

Um outro exemplo de falha durante a etapa de manutenção foi identificada nos viadutos Santa Tereza e Floresta onde foi realizado o recapeamento do pavimento asfáltico sobre as juntas de dilatação, ocasionando a perda de funcionalidade do elemento, pois restringe a movimentação da estrutura.

Figura 35. Recapeamento do revestimento asfáltico da via realizado sobre as juntas de dilatação nos viadutos Santa Tereza e Floresta

Viaduto Santa Tereza	Viaduto Floresta
	

Fonte: Arquivo pessoal

Portanto, é importante salientar que não basta serem realizadas manutenções, estas devem ser precedidas de inspeções realizadas por profissionais habilitados e capacitados para definir métodos, prazos e procedimentos corretivos/preventivos adequados, conciliando custo, prazo, segurança e durabilidade dos sistemas construtivos que compõem as OAEs.

- Falhas de uso

Além da obstrução dos pontos de captação do sistema de drenagem com lixo jogado no local pelos usuários, pode-se citar outras falhas de uso que corroboram para a deterioração precoce das OAEs, como: a ocupação da região sob o tabuleiro por moradores de rua e uso da estrutura para realização das necessidades humanas. No viaduto Santa Tereza uma das regiões apresenta forte odor e restos de lixo e fezes decorrentes do mau uso do local pela população.

Figura 36. Uso inadequado da estrutura do viaduto Santa Tereza pelos usuários.



Fonte: Arquivo pessoal

Em todos os viadutos foram observadas manchas escurecidas decorrentes da exposição dos elementos estruturais ao fogo produzido por moradores de rua

abrigados sob os tabuleiros, seja para se aquecer durante os períodos frios, para queima do lixo produzidos por estes ou, ainda, para preparo de alimentos.

Figura 37. Manchas escurecidas e deterioração do concreto na base dos pilares dos viadutos Santa Tereza e Floresta devido ao fogo causado pelos moradores de rua	
Viaduto Santa Tereza	Viaduto Floresta
	
Fonte: Arquivo pessoal	
Figura 38. Manchas escurecidas e deterioração do concreto na aob a laje do tabuleiro e na base dos pilares dos viadutos Nansén Araújo e Dona Helena Greco devido ao fogo causado pelos moradores de rua	
Viaduto Nansén Araújo	Viaduto Dona Helena Greco
	
Fonte: Arquivo pessoal	

Embora o concreto apresente boa resistência quando submetido a altas temperaturas, devido às características térmicas dos materiais que o compõem, como incombustibilidade, baixo coeficiente de dilatação e condutividade térmica, essa condição provoca redução no módulo de elasticidade e na resistência de seus materiais constituintes, comprometendo a segurança estrutural do elemento em

concreto. No viaduto Floresta foi observado o rompimento das barras de aço do pilar exposto ao fogo, o que demonstra, mais uma vez, o impacto do mau uso da estrutura sobre a sua capacidade portante e na redução da sua vida útil.

Figura 39. Barra de aço rompida devido à ação do fogo provocado por moradores de rua na base do pilar do viaduto Floresta



Fonte: Arquivo pessoal

- Comparativo com estudos anteriores

Como informado durante a metodologia, a escolha dos viadutos foi realizada baseada em estudos anteriores do IBAPE em 2015 e 2017 onde essas OAEs já haviam sido inspecionadas, para que fosse possível comparar o estado de conservação dos sistemas construtivos na época com a situação atual.

Figura 40. Pontos de captação de água do sistema de drenagem do viaduto Santa Tereza obstruídos com lixo nos registros realizados em 2015 e 2017

Viaduto Santa Tereza



Fonte : Vasconcelos (2019).

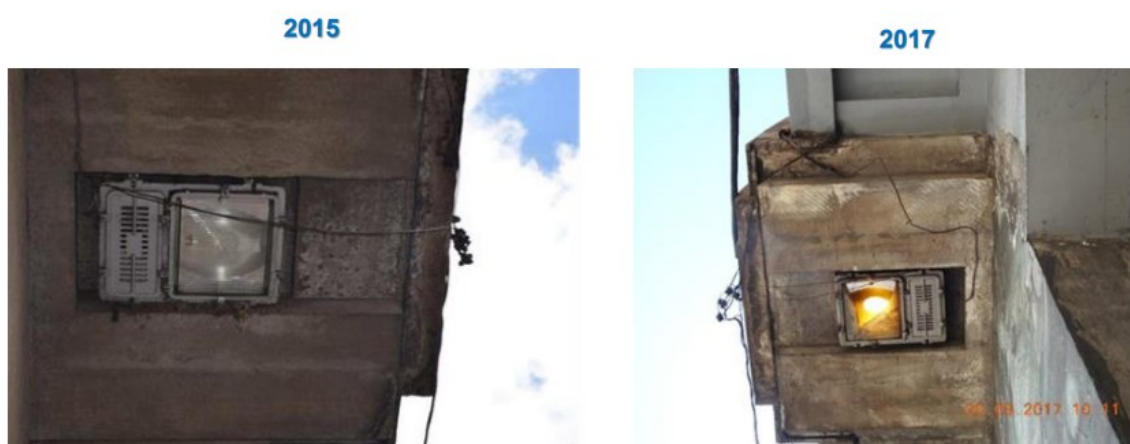
Figura 41. Ponto de captação de água do sistema de drenagem do viaduto Santa Tereza obstruídos com lixo no registro realizado em 2021



Fonte: Arquivo pessoal

Conforme evidenciado nas inspeções anteriores, o acúmulo de lixo e dejetos sobre os pontos de captação de água pluvial continua sendo falhas de manutenção/uso que corroboram para as falhas de estanqueidade mencionadas durante esse estudo.

Figura 42. Sistema de iluminação sob o tabuleiro do viaduto Santa Tereza nos registros realizados em 2015 e 2017



Fonte: Vasconcelos (2019).

Figura 43. Sistema de iluminação sob o tabuleiro do viaduto Santa Tereza em 2021



Fonte: Arquivo pessoal

Já a iluminação na região sob o tabuleiro, apesar de não ter recebido intervenções entre 2015 e 2017, aparentemente foi substituída, além de ter sido realizada uma nova pintura dos elementos estruturais.

Figura 44. Crescimento de vegetação e falhas na vedação da junta de dilatação do viaduto Floresta em 2017



Fonte: Vasconcelos (2019).

Figura 45. Crescimento de vegetação e falhas na vedação da junta de dilatação do viaduto Floresta em 2021



Fonte: Arquivo pessoal

Tanto no registro do trabalho da Cobreap em 2019 como no atual é possível visualizar o crescimento de vegetação, assim como ausência na vedação das juntas que evidenciam falhas na manutenção da OAE. Como mencionado anteriormente, para que as atividades de manutenção sejam efetivas e possuam uma durabilidade adequada estas devem ser bem planejadas e executadas por profissionais habilitados e capacitados de forma que as intervenções sejam capazes de resgatar as condições de uso, desempenho e garantir a preservação da vida útil da estrutura.

- Classificação das OAEs baseada nos parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade

Após as inspeções e análises de todos os viadutos foi possível classificá-los conforme os parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade como recomendado na norma técnica da ABNT NBR 9452 e exposto na Tabela 3.

Tabela 6 – Classificação do viaduto Santa Tereza baseada nos parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade

Viaduto Santa Tereza						
Parâmetros	Elementos					Nota final
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares	Pista	
Estrutural	3	4	NA	3	4	3
Funcional	3	3	NA	3	4	3
Durabilidade	3	3	NA	1	3	1

Fonte: Adaptado da NBR 9452 (2016)

Tabela 7 – Classificação do viaduto Floresta baseada nos parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade

Viaduto Floresta						
Parâmetros	Elementos					Nota final
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares	Pista	
Estrutural	2	3	NA	2	4	2
Funcional	3	3	NA	2	4	2
Durabilidade	3	2	NA	1	3	1

Fonte: Adaptado da NBR 9452 (2016)

Tabela 8 – Classificação do viaduto Nansen Araújo baseada nos parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade

Viaduto Nansén Araújo						
Parâmetros	Elementos					Nota final
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares	Pista	
Estrutural	3	3	NA	3	4	3
Funcional	3	3	NA	3	4	3
Durabilidade	3	3	NA	2	3	2

Fonte: Adaptado da NBR 9452 (2016)

Tabela 9 – Classificação do viaduto Dona Helena Greco baseada nos parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade

Viaduto Dona Helena Greco						
Parâmetros	Elementos					Nota final
	Super estrutura	Meso estrutura	Infra estrutura	Elementos complementares	Pista	
Estrutural	2	3	NA	2	4	2
Funcional	2	3	NA	2	4	2
Durabilidade	2	3	NA	3	3	2

Fonte: Adaptado da NBR 9452 (2016)

Como evidenciado na classificação geral do estado de conservação das OAEs todas apresentaram condição regular ou ruim, tal fato evidência a falta/falhas nas atividades de manutenção por parte do órgão gestor responsável. O nível crítico no qual foi classificado os elementos complementares quanto ao parâmetro de durabilidade abrange as juntas de dilatação que já estão deterioradas, não apresentando vedação, o que contribui para a falha de estanqueidade da estrutura e o desencadeamento/agravamento das manifestações patológicas.

6. Considerações finais

Os viadutos são obras de arte especiais que assim como qualquer outro tipo de estrutura se deterioram com o passar dos anos e apresentam uma vida útil finita. Para que seus elementos apresentem um bom desempenho durante toda vida útil prevista em projeto, é imprescindível a realização de atividades de manutenção e, portanto, inspeções de forma a identificar as manifestações patológicas existentes, a condição atual dos sistemas que o compõe e, assim, definir de forma correta e com ordem de prioridades adequadas, as terapias, manutenções corretivas e preventivas necessárias.

Os quatro viadutos inspecionados apresentaram uma série de manifestações patológicas e, portanto, estado de conservação regular ou ruim dos elementos constituintes baseando-se nos parâmetros estruturais, funcionais e de durabilidade. De um modo geral, a grande maioria das anomalias estavam relacionadas a falhas de estanqueidade das estruturas, seja por ausência de continuidade das tubulações de drenagem, falhas na ligação entre os dispositivos, pontos de captação de água obstruídos com lixo e, principalmente, falhas na vedação das juntas de dilatação.

Sendo essa última situação a mais crítica em todos os viadutos, pois a inexistência de vedação favorece a percolação de água pelo tabuleiro desencadeando uma série de anomalias identificadas durante as inspeções, como: manchas de eflorescência, deslocamento do concreto e corrosão das armaduras. Como mencionado durante toda a pesquisa, a água possui efeito significativo e negativo com respeito à durabilidade das estruturas, portanto devem ser tomadas medidas tanto durante planejamento e projeto como durante as atividades de manutenção para que seja evitada sua presença e acumulação nas estruturas em concreto armado.

Cabe salientar que, não basta serem realizadas intervenções, estas devem ser guiadas por inspeções e realizadas de forma planejada, por profissionais habilitados e capacitados para que assim consiga resgatar as condições de uso e preservar a vida útil dos sistemas.

Que este estudo seja mais um estímulo para incentivar a criação de políticas de manutenção nos municípios brasileiros e para alertar a sociedade como um todo, sobre como a falta de manutenção nas construções em geral e falhas de uso

corroboram para a sua deterioração precoce, interferindo no atendimento dos requisitos de uso, como segurança estrutural, funcionalidade e durabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452**: Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2014.
- BOLINA, Fabricio Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Patologia de estruturas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.
- BOTELHO, M. H. C. **Concreto armado, eu te amo, para arquitetos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006, p. 34.
- CARDOSO, L. R. **Concreto refratário: constituintes, propriedades e aplicações**. Monografia (Graduação). Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- COSTA, P. R. S. **Manifestações patológicas nas estruturas de concreto sujeitas a altas temperaturas**. Monografia. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- COUTO, José Antônio Santos et al. **O concreto como material de construção**. Cadernos de graduação: Ciências Exatas e tecnológicas, Sergipe, v. 1, ed. 17, p. 49-58, outubro /2013. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br>. Acesso em: 5 jun. 2021.
- FILHO, L. C. P. S. **Durabilidade do concreto à ação de sulfatos**: Análise do efeito da permeação de água e da adição de microssilica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.
- LANER, Felice José. **Manifestações patológicas nos viadutos, pontes e passarelas do município de Porto Alegre**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [S. l.], 2001. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br>. Acesso em: 7 ago. 2021.
- LIMA, Henrique Jorge Nery de. **Manifestações patológicas em viadutos de concreto estrutural**: Estudo de caso em Brasília/DF. Revista Interscientia, [s. l.], v. 7, p. 2-26, jan-jun 2019. Disponível em: <https://periodicos.unipe.br>. Acesso em: 10 jul. 2021.
- LORENZON, A. **Análise da resistência residual do concreto após exposição a altas temperaturas**. Monografia. Curso superior de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

- LOURENÇO, Líbia C. et al. **Parâmetros de avaliação de patologias em obras-de-arte especiais**. Revista Engenharia Civil, Braga, n. 34, p. 5-14, 2009. Disponível em: https://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n34/Pag_5-14.pdf. Acesso em: 21 agosto 2021.
- MARCHETTI, Osvaldemar. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2008.
- MEDEIROS, Marcelo Henrique Farias de; ANDRADE, Jairo José de Oliveira; HELENE, Paulo. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Ed.). Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: IBRACON, 2011. p. 773-808.
- MITRE, M. P. **Metodologia para inspeção e diagnóstico de pontes e viadutos de concreto** / M. P.Mitre – São Paulo, 2005.
- MIZUMOTO, C., **Investigação da reação álcali-agregado (RAA) em testemunhos de concreto e agregados constituintes**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.
- ROCHA, Bruno dos Santos. **Manifestações patológicas e avaliação de estruturas de concreto armado**. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, [S. I.], 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br>. Acesso em: 17 jul. 2021.
- ROCHA, Rochanna Alves. **Efeito da alta temperatura em concretos: uma revisão da literatura**. Revista INTERSCIENTIA. Vol.6, 2018.
- SENA, Gildeon Oliveira de; NASCIMENTO, Matheus Leoni Martins; NETO, Abdala Carim Nabut. **Patologia das Construções**. Salvador: 2B, 2020. 256 p.
- SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: PINI, 1998.
- VITÓRIO, J. A. P. **Vistorias, Conservação e Gestão de Pontes e Viadutos de Concreto**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 48., 2006, Recife. ANAIS DO 48°. Recife: Ibracon, 2006.