



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil



Gutierrez Mailon Félix da Silva

ANÁLISE TÁTIL-VISUAL DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO VIADUTO SANTA TEREZA- BH

Ouro Preto

2022

ANÁLISE TÁTIL-VISUAL DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO VIADUTO SANTA TEREZA- BH

Gutierrez Mailon Félix da Silva

Trabalho Final de Curso apresentado
como parte dos requisitos para obtenção
do Grau de Engenheiro Civil na
Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 10 / 06 / 2022

Área de concentração: Patologias da Construção Civil

Orientador: Prof. D.Sc. Guilherme Jorge Silva – UFOP

Co-orientador: M.Sc. Marina Altoé Caetano – UFOP

Ouro Preto

2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S586a Silva, Gutierrez Mailon Felix da.
Análise tátil-visual das manifestações patológicas do viaduto Santa
Tereza - BH. [manuscrito] / Gutierrez Mailon Felix da Silva. - 2022.
39 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Jorge Brigolini Silva.
Coorientadora: Ma. Marina Altoé Caetano.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Construção civil - Manifestações patológicas. 2. Viaduto Santa
Tereza - Belo Horizonte (MG). 3. Corrosão. 4. Construção civil - Patologia.
I. Silva, Guilherme Jorge Brigolini. II. Caetano, Marina Altoé. III.
Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Gutierrez Mailon Félix da Silva

Análise tátil-visual das manifestações patológicas do viaduto Santa Teresa - BH

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil

Aprovada em 10 de junho de 2022

Membros da banca

Dr. Guilherme Jorge Brigolini Silva - Orientador(a) - Universidade Federal de Ouro Preto
Ms. Marina Altoé Caetano - Universidade Federal de Ouro Preto
Ms. Aline Santana Figueiredo - Universidade Federal de Ouro Preto
Ms. Douglas Mol Resende - Universidade Federal de Ouro Preto

Dr. Guilherme Jorge Brigolini Silva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 15/06/2022



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Jorge Brigolini Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/12/2022, às 16:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0444892** e o código CRC **F149D5D0**.

AGRADECIMENTOS

É com muito orgulho e entusiasmo que finalizo uma das etapas mais importantes da minha vida. Agradecendo primeiramente à Deus, por me proporcionar saúde e sabedoria em todos os momentos dessa trajetória. Agradeço imensamente aos meus pais Idelson Félix da Silva e Maria Gonçalves da Silva que através de um árduo trabalho me deram todo o suporte necessário para a conclusão desse curso. À minha avó Romana, pela sabedoria e ensinamentos transmitidos, serei eternamente grato.

Àos meus irmãos Jailson e Simone Félix que sempre me deram forças nos momentos de medo e indecisões me apoiando e direcionando para caminhos magnânicos. Ao grande amigo Eustáquio Júnior, que esteve sempre presente em momentos grandiosos dessa trajetória. E, à todos meus amigos que direta ou indiretamente estiveram comigo durante todo esse percurso.

À Fundação Gorceix e a UFOP, pelo apoio complementar com bolsas e cursos que, sem dúvidas, nos tornam profissionalmente mais completos e qualificados. Ao professor Dr. Sc. Guilherme Jorge Brigolini Silva e M. Sc. Marina Altoé Caetano, pelo apoio técnico nesse projeto tão difícil mas também, gratificante. E por fim, agradeço à grandiosa Escola de Minas pela qualidade e compromisso do ensino que nos é passada, e pela oportunidade de ser Engenheiro Civil desta renomada e conceituada escola de engenharia.

RESUMO

É cabível tornar a inspeção, bem como, seus devidos reparos, uma “rotina” programada das estruturas, principalmente, de concreto armado. Assim, pode-se evitar danos e acidentes, muitas vezes, irreparáveis. É objetivo deste trabalho, contribuir com a inspeção de um dos maiores viadutos da cidade de Belo Horizonte. Dessa forma, além de aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo da formação, uma análise técnica e atualizada do viaduto ficará à disposição das autoridades e responsáveis pelas manutenções. Foi realizada a inspeção, por análise tátil-visual do viaduto Santa Tereza em Belo Horizonte, sendo destacadas, as principais manifestações patológicas encontradas no viaduto. Também foram abordadas, informações sobre a necessidade de reparo ou mitigações destas manifestações, sejam elas estruturais, do contexto estético ou funcional do viaduto. Para isso, foram utilizadas as literaturas básicas, de análises patológicas das estruturas de concreto armado. Assim, diversas manifestações patológicas foram encontradas no viaduto, sendo elas, de variadas formas e causas. Por exemplo, danos devido ao fogo, armaduras expostas e em processo de oxidação, rachaduras, corrosões químicas, dentre outras. Porém, até a finalização deste trabalho, não existiam manifestações patológicas que implicassem em severos danos estruturais ou risco iminente de ruptura de alguma parte ou sistema do viaduto. Contudo, algumas dessas manifestações deveriam ser rapidamente reparadas. Assim, viabiliza-se custos com as manutenções, minimizando os efeitos de progressão das manifestações patológicas encontradas, e possíveis danos estruturais.

Palavras chave: Manifestações patológicas, Corrosão em armaduras, Viaduto, Concreto, Rachaduras, viaduto Santa Tereza.

ABSTRACT

It is appropriate to make the inspection, as well as its proper repairs, a scheduled "routine" of structures, mainly reinforced concrete. Thus, damage and accidents that are often irreparable can be avoided. The objective of this work is to contribute to the inspection of one of the largest viaducts in the city of Belo Horizonte. In this way, in addition to applying the knowledge acquired throughout the training, a technical and up-to-date analysis of the viaduct will be available to the authorities and those responsible for maintenance. The inspection was carried out by tactile-visual analysis of the Santa Tereza viaduct in Belo Horizonte, highlighting the main pathological manifestations found in the viaduct. Information on the need for repair or mitigation of these manifestations, whether structural, of the aesthetic or functional context of the viaduct, was also addressed. For this, the basic literatures of pathological analysis of reinforced concrete structures were used. Thus, several pathological manifestations were found in the viaduct, which are of various forms and causes. For example, damage due to fire, exposed armor and in the process of oxidation, cracks, chemical corrosions, among others. However, until the end of this work, there are no pathological manifestations that imply severe structural damage or imminent risk of rupture of some part or system of the viaduct. However, some of these manifestations must be quickly repaired. Thus, maintenance costs are possible, minimizing the effects of progression of the pathological manifestations found, and possible structural damage.

Keywords: Pathological manifestations, Pathologies, Viaduct, Concrete, Cracks, Santa Tereza viaduct.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Viaduto Santa Tereza – BH via https://www.hometeka.com.br/f5/viaduto-santa-tereza-conheca-um-dos-simbolos-de-bh/ , acesso em 08/04/2022.....	IX
Figura 2: Localização Viaduto Santa Tereza-BH, via Google Maps, 2022.	2
Figura 3: Localização Viaduto Santa Tereza-BH, via Google Maps, 2022.	2
Figura 4: Viaduto Santa Tereza, 1929, via https://www.literalmenteuai.com.br (2022)	3
Figura 5: Viaduto Santa Tereza, 2022, imagem de autoria própria.....	3
Figura 6: Diagrama de equilíbrio termodinâmico (Diagrama de Poubaix). Potencial x pH para ferro e H ₂ O a 25°C	12
Figura 7: Fluxograma de metodologia de análise das manifestações patológicas do Viaduto Santa Tereza-BH.....	16
Figura 8: Rachadura em camada de proteção do pilar, imagem de autoria própria	19
Figura 9: Planta de localização da patologia da Figura 8, acesso em planta arquitetônica do viaduto Santa Tereza cedida pela Prefeitura de Belo Horizonte.....	20
Figura 10: Descolamento de camada de proteção do pilar, imagem de autoria própria.	21
Figura 11: Planta de situação da patologia da Figura 10, acesso em planta arquitetônica do viaduto Santa Tereza cedida pela Prefeitura de Belo Horizonte.....	22
Figura 12: Planta de situação das manifestações patológicas de deslocamento e fogo, acesso em planta arquitetônica do viaduto Santa Tereza cedida pela Prefeitura de Belo Horizonte.....	23
Figura 13: Evolução do calor durante a exposição da estrutura ao fogo, (SOUZA e RIPPER, 1998).....	24
Figura 14: Armadura exposta e em processo de corrosão, imagem de autoria própria	26

Figura 15: Imagem de deslocamento do concreto por corrosão das armaduras, imagem de autoria própria.....	26
Figura 16: Imagem de corrosão das armaduras, imagem de autoria própria.....	27
Figura 17: Imagem de corrosão das armaduras, imagem de autoria própria.....	27
Figura 18: Planta de situação das manifestações patológicas de corrosão das armaduras, acesso em planta arquitetônica do viaduto Santa Tereza cedida pela Prefeitura de Belo Horizonte.....	26
Figura 19: Dente Gerber e junta de dilatação do viaduto, imagem de autoria própria	31
Figura 20: Área de apresentações e feiras do viaduto, imagem de autoria própria.	32
Figura 21: Área de apresentações e feiras do viaduto, acesso em planta baixa do viaduto Santa Tereza cedida pela Prefeitura de Belo Horizonte.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Vida útil de projeto (VUP)*, NBR 15.575-1.....	7
Tabela 2:Classe de agressividade ambiental CAA, acesso em NBR 6118 (2014), pág. 17	18
Tabela 3: Evolução do comportamento do concreto conforme sua elevação de temperatura. Acesso em (SOUZA e RIPPER, 1998), pág. 74.....	22

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	6
2.1	Objetivos específicos.....	6
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
3.1	A vida útil das construções	7
3.2	Conceitos e definições.....	10
3.3	Inspeção e diagnóstico	13
4	METODOLOGIA	16
5	ESTUDO DE CASO DO VIADUTO SANTA TEREZA - BH.....	18
5.1	RACHADURAS NA CAMADA DE PROTEÇÃO DA BASE DO PILAR ..	19
5.1.1	Causas e origens	19
5.1.2	Conceitos e definições	19
5.1.3	Avaliação da necessidade de reparo ou mitigação	20
5.2	DESCOLAMENTO DAS PLACAS DE PROTEÇÃO DA BASE DOS PILARES	21
5.2.1	Causas e origens	21
5.2.2	Conceitos e definições	23
5.2.3	Avaliação das necessidades de reparo ou mitigações.....	24
5.3	DESCOLAMENTO DO CONCRETO E EXPOSIÇÃO DE ARMADURAS	25
5.3.1	Causas e origens	25
5.3.2	Conceitos e definições	27

5.3.3	Avaliação das necessidades de reparo ou mitigações das manifestações patológicas.....	28
5.4	FACE INFERIOR DO TABULEIRO DO VIADUTO	30
5.4.1	Causa e origens	30
5.4.2	Conceitos e definições	30
5.4.3	Avaliação da necessidade de reparo ou mitigação da manifestação patológica	31
5.5	ESCADAS E LOCAL DE FEIRAS.....	31
5.5.1	Causas e origens	31
5.5.2	Conceitos e definições	32
5.5.3	Avaliação da necessidade de reparo ou mitigação da manifestação patológica	33
6	Conclusão	35
	Referências.....	38

1 INTRODUÇÃO

O viaduto Santa Tereza, mostrado na Figura 01, foi inaugurado no ano de 1926, conectando a região central aos bairros da zona leste da cidade. Inicialmente com o nome de viaduto Tocantins e posteriormente viaduto Arthur Bernardes, foi projetado pelo renomado engenheiro Emílio Baumgart (PERDIGÃO, 2016). Na época, o viaduto teve grande relevância comercial para a cidade, já que fazia a conexão entre o centro a zona leste de Belo Horizonte. Atualmente, o viaduto Santa Tereza é um importante ponto turístico e cultural de BH.



Figura 1: Viaduto Santa Tereza – BH via <https://www.hometeka.com.br/f5/viaduto-santa-tereza-conheca-um-dos-simbolos-de-bh/>, acesso em 08/04/2022.

Esse viaduto foi construído sobre a linha de metrô que liga as estações Eldorado à Vilarinho em Belo Horizonte e o antigo Ribeirão Arrudas, o qual transbordava frequentemente antes da construção. Dessa forma, inviabilizava o trânsito entre o centro e o bairro Santa Tereza e os demais bairros da zona leste da cidade. Segundo

PERDIGÃO (2016) o viaduto teve grande contribuição para o intercâmbio e comércio entre os bairros. Assim, foi um grande passo no contexto de grandes construções para a cidade, revolucionando e facilitando a implementação de novas e grandes construções na capital. Além disso, trouxe também benefícios econômicos para a região. As Figuras 02 e 03, mostram a localização do viaduto na capital.

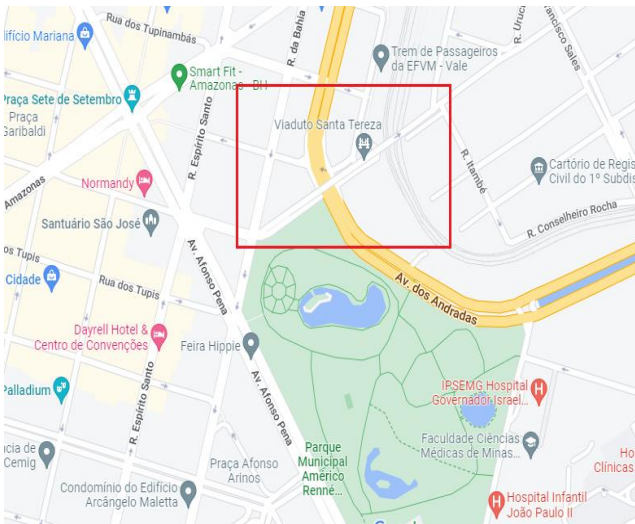


Figura 2: Localização Viaduto Santa Tereza-BH via Google Maps, 2022.



Figura 3: Localização Viaduto Santa Tereza-BH, via Google Maps, 2022.

Integrado a Zona Cultural Praça da Estação, o viaduto Santa Tereza foi tombado pelo órgão estadual em 1988, e pelo município em 1996 (MARQUES, 2015). Eternizado na obra “O encontro marcado” de Fernando Sabino, o viaduto é também palco de encontro de diversos outros artistas. O viaduto Santa Tereza é um dos principais pontos de encontros para eventos culturais, shows, carnavais e manifestações sociais. Tais fatos, trazem consigo a necessidade de vistorias com maior frequência no viaduto, visando oferecer conforto e segurança aos usuários do espaço. As Figuras 4 e 5 mostram o viaduto no ano de 1929 e 2022, respectivamente.



Figura 4: Viaduto Santa Tereza, 1929, via <https://www.literalmenteuai.com.br> (2022)

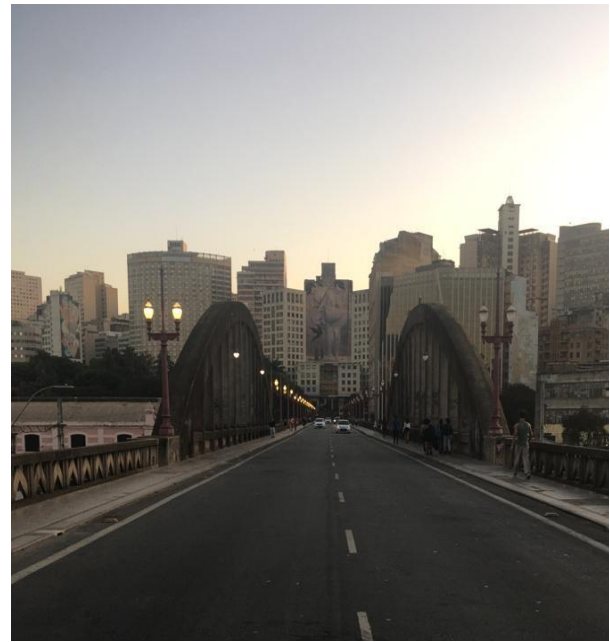


Figura 5: Viaduto Santa Tereza, 2022, imagem de autoria própria

Nos últimos anos, vários acontecimentos relacionados a danos estruturais em viadutos e passarelas foram mostrados no Brasil, causando transtorno, senão, acidentes nas vias urbanas. Em 2018, na Marginal Pinheiros em São Paulo um viaduto rebaixou cerca 2 metros (FREIRE, 2018). Esse fato, de acordo com os especialistas foi ocasionado por falha estrutural, e prejudicou a fluidez do trânsito local na capital paulista. Outro caso, que pode ser mencionado é a ciclovia Tim Maia no Rio de Janeiro. Esta desabou em partes, no ano de 2016 e também em 2019. Foram registrados na ciclovia, mais três desabamentos nos últimos 5 anos segundo a Agência Brasil (2019).

De acordo com o laudo pericial apresentado pelo Crea-RJ (2016), houve falhas tanto de projeto, quanto de manutenções não realizadas na ciclovia Tim Maia. Sem o devido monitoramento, a manifestação patológica pode atingir níveis de degradação que afetam diretamente a função resistente da estrutura, evoluindo para o colapso estrutural.

Existem medidas e boas práticas que previnem e evitam o colapso inesperado de uma estrutura, sendo uma delas, o acompanhamento técnico e periódico da mesma,

uma vez que, toda estrutura tende a degradar com o tempo e isso não pode ser evitado. Contudo, acompanhar essas degradações, suas evoluções, e repará-las minimizando seus efeitos locais ou globais na estrutura é de fundamental importância.

Detectar as manifestações patológicas de uma estrutura, suas causas e soluções pode ser algo complexo. Diversas variantes, tais como, condições climáticas, sua utilização, agressividade do ambiente, podem interferir diretamente nas causas (SOUZA e RIPPER, 1998). É importante analisar as manifestações patológicas sempre como um sistema de causas e ações.

As falhas involuntárias de execução aliadas à deterioração das estruturas e falhas que ocorrem por imperícia, podem resultar no desempenho insatisfatório das estruturas, levando em consideração a sua finalidade de projeto (SOUZA e RIPPER, 1998). Estes fatores, aliados a outros ainda mais complexos, tais como corrosões das armaduras, perda de material por lixiviação, diminuição da seção transversal e entre outros, contribuem para a deterioração da estrutura. Evitar tais manifestações patológicas e suas progressões, vai desde um planejamento na fase de pré projeto, até as vistorias periódicas durante a vida útil da estrutura. Assim, surge a necessidade da ciência da Patologias das Estruturas.

É fato afirmar que, com o passar do tempo a necessidade de reabilitação de estruturas antigas, sejam elas patrimônios histórico ou cultural, por fins econômicos ou sociais, se tornou de fundamental relevância. Com isso, a ciência em torno da degradação das estruturas tomou novos rumos e significativos estudos estão sendo, hoje, realizados. De acordo com Ferreira (2000), há uma preocupação a nível mundial pela durabilidade do concreto devido ao aumento das estruturas degradadas. Dessa forma será necessário a definição de outros parâmetros de qualidade para o concreto além da resistência à compressão.

Uma das manifestações patológicas mais presentes nas estruturas de concreto armado é a corrosão das armaduras. Segundo Gentil (2012) a corrosão é, em geral, um processo espontâneo, e caso não houvesse ação de mecanismos protetores, ocorreria a destruição completa dos materiais metálicos.

Os processos de corrosão são reações químicas e eletroquímicas que se passam na superfície do metal e obedecem a princípios bem estabelecidos.

Uma manifestação patológica é a expressão resultante de um mecanismo de degradação, sendo a patologia a ciência formada por um conjunto de teorias que buscam explicar o mecanismo e a causa da ocorrência da manifestação patológica (SILVA, 2011). E de acordo com Lapa (2008), as “enfermidades” da estrutura podem ser congênitas (nascem com a estrutura) ou pode ser adquiridas e desenvolvidas durante sua vida útil.

Para Souza e Ripper (1998) as manifestações patológicas podem ser consideradas simples ou complexas. Manifestações patológicas simples são aquelas que sua solução pode facilmente ser padronizada, e não há necessidade de profissional com elevado conhecimento teórico-prático para detectar e solucionar o caso. Já as chamadas manifestações patológicas complexas, são aquelas que exigem conhecimento aprofundado e específico do profissional, bem como, o estudo detalhado da patologia de modo a buscar solucioná-la (SOUZA e RIPPER, 1998).

As manifestações patológicas verificadas em pontes e viadutos situados em meios de forte agressividade ambiental têm naturezas variadas e, quando não tratadas adequadamente, comprometem a funcionalidade da estrutura de acordo com MENDES, LOURENÇO, *et al.*, (2010). Falhas ou incorreções no processo de construção do viaduto certamente serão causas de futuras manifestações patológicas na estrutura.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é verificar as condições em termos estruturais do viaduto Santa Tereza em Belo Horizonte, através de uma análise tátil visual de suas presentes manifestações patológicas.

2.1 Objetivos específicos

Com base no objetivo geral os objetivos específicos consistem em apresentar relações entre causas e manifestações patológicas baseando-se:

- Na análise tátil-visual complementando-a e sustentando com argumentos teóricos da bibliografia indicada.
- Obtenção de um relatório de manifestações patológicas do viaduto, bem como, propor cabíveis soluções aos problemas encontrados.
- Constatações sobre a segurança do viaduto nos quesitos de uso e tráfego de veículos e também perdas na estética do viaduto.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A vida útil das construções

Segundo a NBR 15575-1 (2013), é definido como vida útil de uma construção o período de tempo em que um edifício e seus sistemas se prestam às atividades para as quais foram projetados e construídos, com atendimento dos níveis de desempenho nela previstos. A NBR 15575-1 (2013) pontua ainda que, o correto uso e operação da edificação e de suas partes, a constância e efetividade das operações de limpeza e manutenção, alterações climáticas e níveis de poluição no local da obra, mudanças no entorno da obra ao longo do tempo, interferem na vida útil do sistema como um todo. A Tabela 01 de vida útil de projeto da NBR 15.575-1 (2013), refere-se aos prazos mínimos de vida útil da construção exigidos pela norma.

Sistema	VUP mínima em anos
Estrutura	≥ 50 Conforme ABNT NBR 8681
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

*Considerando periodicidade e processos de manutenção segundo a ABNT NBR 5674 e especificados no respectivo manual de uso, operação e manutenção entregue ao usuário elaborado em atendimento à ABNT NBR 14037.

Tabela 1: Vida útil de projeto (VUP)*, NBR 15.575-1

Sabe-se que, existe uma vida útil para as estruturas, e estas necessitam, dos devidos tratamentos para que sua utilidade e propriedades se mantenham sem grandes desgastes ao longo do tempo. De acordo com Andrade (1992), além de um projeto que evite circulações de água desnecessárias através do concreto, a qualidade e espessura do cobrimento resultará decisivamente na durabilidade da estrutura de concreto armado. E para isso, é necessário um acompanhamento periódico das construções, pois na maioria das vezes as manifestações patológicas se agravam continuamente no decorrer do tempo. Tal fato, pode aumentar a complexidade e custos dos reparos e manutenções.

Segundo Pannoni (2007) uma construção econômica é aquela que apresenta os menores custos totais ao longo de sua vida. Os custos de manutenção e reparos irão também compor o custo final da construção. Sendo assim, a construção mais barata pode não ser a mais econômica. Pensar na durabilidade da construção ainda na fase de projeto pode minimizar os custos de manutenções durante a sua vida útil.

De caráter interdisciplinar, os conhecimentos relacionados às manifestações patológicas estão a despertar interesse por diversos motivos. O principal deles, segundo Souza & Ripper (1998), é a busca pela qualidade da construção, bem como, a garantia dessa qualidade e da segurança estrutural. Segundo Souza e Ripper (1998) designa-se por patologias das estruturas o campo da engenharia que se compromete em estudar as origens, formas de manifestação, consequências, e mecanismos de ocorrências das falhas e degradação das estruturas.

Até os anos de 1980 o único parâmetro de qualidade para as estruturas de concreto era a sua resistência à compressão (FERREIRA, 2000). Dessa forma, pode-se notar a degradação acelerada das estruturas de concreto armado, havendo a necessidade de um novo parâmetro de qualidade do concreto, a durabilidade. A permeabilidade do concreto pode ser um bom indicador da qualidade e durabilidade do mesmo.

Algumas propriedades da microestrutura do concreto podem definir a sua qualidade. As características desejadas na engenharia para o concreto endurecido são a resistência, estabilidade dimensional e durabilidade, as quais, são influenciadas pela proporção dos materiais e as propriedades da pasta de cimento hidratada

(MEHTA e MONTEIRO, 1994). Uma pasta de cimento impermeável pode resultar em boa qualidade e durabilidade do concreto.

Para Helene (1998) os processos degenerativos do concreto são em geral autoacelerantes. Dessa forma, uma fissura causa a entrada de agentes agressivos que despassivam a armadura e formam produtos expansivos gerando tensões internas e fissuras no concreto. Assim, o concreto perde a função de proteção da armadura que conseqüentemente irá acelerar o seu processo de corrosão. Esse processo causará maiores corrosões, fissuras, perdas de resistências e materiais da estrutura.

Um estudo comparativo entre ações de manutenção corretiva e manutenção preventiva realizado por Meira e Padaratz (2002), diz que os custos de uma manutenção corretiva podem atingir até 36% do custo da obra devido as atividades pré e pós recuperação da estrutura. Tal fato, mostra quantitativamente a importância da implementação da manutenção preventiva em uma construção. Dessa forma, obtêm-se maior segurança, economia e vida útil da construção.

O processo autoacelerante das manifestações patológicas, quando observado do ponto de vista econômico se compara à “Lei de Sitter”. Segundo Helene (1998) os custos de reparos e intervenções nas estruturas variam segundo uma progressão geométrica de razão cinco, isto é, os custos podem ser 5, 25, 125 vezes maiores que a medida preventiva tomada na fase de projeto. Assim, pode-se afirmar que mesmo por razões econômicas é viável tomar todas as medidas de reparos o quanto antes possível. Dessa maneira, tem-se menores gastos com a restauração e manutenções da construção.

As manutenções podem ser classificadas basicamente em três tipos: manutenção preventiva, manutenção corretiva e manutenção preditiva. A NBR 5462 (1994) diz que a manutenção preventiva é aquela que é realizada em intervalos predeterminados ou prescritos de modo a reduzir os riscos de falha ou degradação funcional da construção. Já a manutenção corretiva é aquela que visa substituir, ou melhorar o item que não cumpre mais com sua função de projeto (função requerida). E a manutenção

preditiva busca garantir a melhor qualidade no serviço, aplicando sistematicamente técnicas que irão diminuir as manutenções preventivas ou corretivas.

3.2 Conceitos e definições

É necessário introduzir conceitos relevantes quanto às manifestações patológicas de estruturas, principalmente, de concreto armado. Os materiais tendem a permanecer na natureza em seu estado natural, e com o metal não é diferente, que para manter-se em equilíbrio químico, ele perde elétrons havendo a formação de óxidos, processo comumente chamado de oxidação. De acordo com Helene, Sales, *et al.*, (2018) o processo pode ocorrer com ou sem a presença de água, tal fato, o difere do processo de corrosão, o qual necessariamente ocorre com a presença de água. Toda corrosão de aço à temperatura ambiente e com a presença de água, é de natureza eletroquímica (oxirredução), podendo haver entre o aço e o concreto a formação dos chamados produtos de corrosão.

Sabe-se que, os processos degenerativos em estruturas de concreto armado são gradativos. Assim, o concreto com fissuras facilita a entrada de agentes agressivos externos para o interior da estrutura atingindo o aço, que por sua vez, será despassivado. Com isso, pode-se formar agentes expansivos que tensionam e geram ainda mais fissuras e conseqüentemente deslocamentos do concreto, e assim sucessivamente até o colapso global ou local da estrutura de acordo com BAUER (1990).

Uma das manifestações patológicas mais recorrentes em estruturas de concreto armado, segundo diversos estudos realizados aqui no Brasil, é a corrosão das armaduras. Esse processo de corrosão consiste, basicamente, na degradação contínua por uma interação destrutiva do material com o próprio meio ambiente (HELENE,1998). De modo a evitar que, tais manifestações patológicas possam comprometer a estrutura, é fundamental, o correto diagnóstico e tratamento da mesma.

A corrosão pode ser definida, basicamente, como sendo a tendência espontânea do metal produzido e conformado de reverter ao seu estado original, de menor energia

livre (PANNONI, 2007). Se tratando de corrosão das armaduras o processo pode estar associado à ações físicas e mecânicas, e se manifestam no concreto através de manchas, fissuras, descolamentos do concreto de cobrimento, redução de resistência da seção, e perda de aderência (HELENE, SALES, *et al.*, 2018).

Os processos de corrosão podem vir acompanhados da formação de óxidos e hidróxidos de ferro. A formação desses produtos de corrosão é complexa, e pode apresentar-se nas cores marrom, preto ou esverdeado. A cor mais comum é a marrom, que dá origem à chamada ferrugem (HELENE, SALES, *et al.*, 2018).

O ataque ácido da urina no concreto, por vezes, também deve ser considerado. De acordo com Gentil (2012) o cloreto de amônio (NH_4Cl), existente na urina, reage com o hidróxido de cálcio, responsável pelo alto valor de pH do concreto e responsáveis pela formação do filme de proteção da armadura. Dessa forma, a urina pode causar a diminuição do pH do concreto ocasionando sua carbonatação e possivelmente corrosão das armaduras. Nessas situações o concreto pode sofrer manifestações patológicas devido ao ataque por microorganismos. Os efeitos do contato da urina humana e de animais, por exemplo, com as estruturas em concreto podem causar prejuízos, para o proprietário, no caso da recuperação dessas estruturas, e também para a população ou usuários no caso de interdição ou até mesmo acidentes (MORAIS e SOBRAL, 2019).

O resultado do processo de corrosão em alguns materiais, sobretudo os metálicos, são significativamente afetados pelos produtos formados na corrosão, podendo ser inibidos ou acelerados. Segundo Andrade (1992), essencialmente são duas as causas que podem destruir a camada de proteção da armadura e iniciar a corrosão, os cloretos presentes na água de amassamento e ácidos que diminuem a alcalinidade do concreto e da sua camada de proteção. Tais fatos, se devem à composição de alguns cátions metálicos que reagindo com os elementos presentes no meio corrosivo, formam um filme superficial no metal. As características desse filme definem se o processo será inibido ou acelerado, em outras palavras, esse filme poderá ser ativo ou passivo.

De acordo com Helene, Sales, *et al.*, (2018) o produto a ser formado na superfície do metal dependerá tanto da temperatura ambiente, quanto do pH do meio. No diagrama da Figura 6, pode ser verificado os produtos formados em função do pH do meio e o potencial E_v . No caso, o diagrama de equilíbrio termodinâmico (Diagrama de Pourbaix), se refere ao sistema ferro e água, e os produtos formados dessa reação a uma temperatura de 25°C.

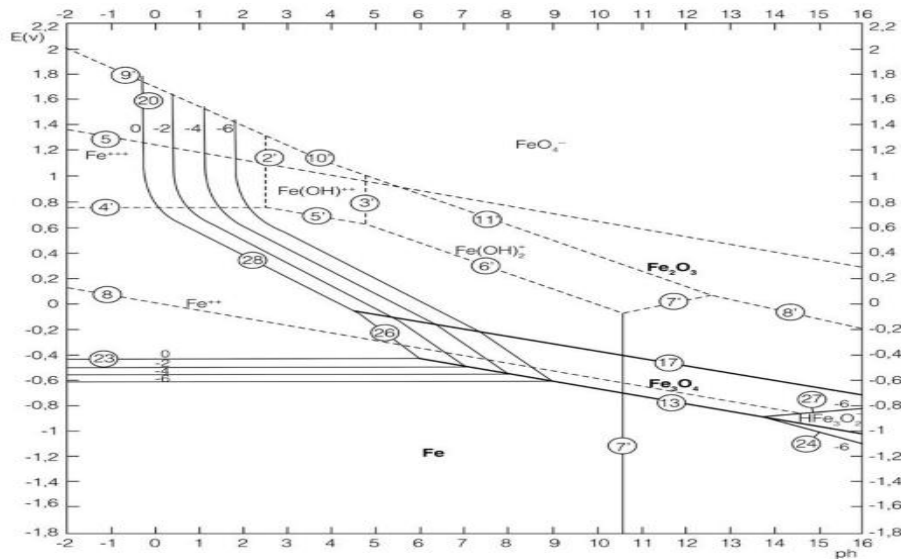


Figura 6: Diagrama de equilíbrio termodinâmico (Diagrama de Pourbaix). Potencial x pH para ferro e H₂O a 25°C

O hidróxido de cálcio formado no processo de hidratação do cimento, o $(Ca(OH)_2)$, na concentração correta se torna solúvel em água. Dessa forma, a água pode solubilizar o hidróxido de cálcio e causar deterioração do concreto. E quando ocorre o processo de lixiviação do hidróxido de cálcio solubilizado, é comum a presença de manchas brancas na superfície do concreto. Essas manchas são originadas da reação do hidróxido de cálcio $(Ca(OH)_2)$, com o dióxido de carbono (CO_2) presente no ar. Dessa reação, origina-se o produto insolúvel carbonato de cálcio $(CaCO_3)$, que geralmente se apresenta na cor branca na superfície do concreto.

O concreto se submetido à elevadas temperaturas também pode diminuir significativamente a sua resistência. De acordo com Mehta e Monteiro (1994) a presença de grande quantidade de água evaporável na pasta de cimento, aliada a

elevadas temperaturas e baixa permeabilidade podem ocasionar o lascamento superficial do concreto. Além disso, as tensões internas geradas pelo aumento da pressão no aquecimento, causam fissuras no concreto facilitando a entrada de agentes deletérios. Rotineiramente para estruturas de concreto armado, uma camada de proteção de 50 a 100mm ou materiais resistentes ao fogo deverão ser especificados para proteção de danos devido ao fogo (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

Mas a exposição de concreto armado à elevadas temperaturas pode trazer ainda mais danos, caso essa temperatura chegue ao aço. PANNONI (2007) menciona que a partir de 550°C o aço começa a perder resistência perdendo a sua margem de segurança definida no projeto. Dessa forma, a integridade e resistência do sistema pode ser comprometida.

3.3 Inspeção e diagnóstico

Diagnosticar uma estrutura de concreto armado, é descrever de forma precisa e detalhada os mecanismos, as origens e causas das manifestações patológicas encontradas. Esta, pode ou não vir acompanhada de perda efetiva na segurança da estrutura. Há uma linha tênue entre manifestações patológicas e segurança da estrutura, por isso devem ser acompanhadas caso já estejam presentes na estrutura. De acordo com Andrade (2012) realizar um diagnóstico correto do início do processo, bem como, os fatores que influíram na sua propagação até o atual estado, é de fundamental importância para uma recuperação duradoura.

A corrosão das armaduras é uma manifestação patológica comumente encontradas nas estruturas, sendo a terceira mais comum, ocorrendo menos vezes que as fissuras e deformações excessivas (HELENE, 1998). Tais corrosões se apresentam, geralmente, com manchas visíveis no concreto. Mas, podem apresentar-se em alguns casos, sem nenhum sintoma visível na superfície. Portanto, para conhecer as causas e todos os fatores de um determinado caso, pode ser necessário um estudo avançado e com utilização de equipamentos tecnológicos pertinentes.

A princípio, de modo a detectar as possíveis manifestações patológicas de uma estrutura é necessário, antes de tudo, uma inspeção preliminar. É desenvolvido nesta

etapa, um plano de inspeção visual na estrutura, sendo pertinente que se faça uma análise visual e caracterize os sintomas apresentados na estrutura (ANDRADE, 1992). Manchas de óxidos e cores dessas manchas, fissuras em qualidade e tamanho, agressividade do ambiente, utilização da estrutura, devem ser informações obtidas nesse primeiro processo.

Identificar as zonas expostas à atmosfera mais agressiva, o lado mais exposto à luz solar, possíveis causas de recalque diferencial, zonas de vento predominante, são aspectos relevantes e que devem ser anotados numa boa inspeção. Com isso, pode-se através da documentação existente da obra, (detalhes de projeto e reformas), e o estabelecimento de um plano de trabalho, elaborar um plano para uma inspeção detalhada. Nesta etapa, seria ainda necessário a realização de ensaios laboratoriais e *in situ* de modo a obter informações mais detalhadas e precisas.

Dentro do chamado plano de trabalho, pode-se destacar a etapa para iniciar a inspeção visual, chamada de plano de amostragem. O plano de amostragem, consiste em dividir a estrutura em elementos que representem melhor o todo, sendo que, essa divisão pode ser feita com base no carregamento a qual um conjunto de elementos está submetido (ANDRADE, 1992). Outro critério seria obter informações sobre os concretos utilizados em cada parte da obra, principalmente, quando se trata de grandes construções, uma vez que, haverá ali concretos distintos em regiões distintas. Com isso, pode-se iniciar a inspeção tátil-visual da obra.

A análise visual deve ser ampla e detalhada, e a sua sistematização irá facilitar o diagnóstico final. Deve-se sempre analisar, nessa etapa, aspectos exteriores que caracterizam uma manifestação patológica e, se possível, os aspectos interiores, com foco nas armaduras. Todas as anomalias encontradas devem ser devidamente anotadas, de acordo com a região da estrutura que está sendo analisada segundo ANDRADE (1992).

Obtidas as informações das manifestações patológicas encontradas nas etapas anteriores, sejam elas detalhadas ou simples, o próximo passo é o diagnóstico. Aqui, é necessário definir com base em argumentos teóricos encontrados em literatura específica quais as possíveis causas das manifestações patológicas, e quais as

soluções para cada caso (ANDRADE, 1992). Em casos mais detalhados e precisos, é de fundamental importância para que se possa definir os reais riscos para os usuários daquela estrutura, definir a atual capacidade resistente da estrutura.

Estudos já mostraram que, os custos de reparo, reforços, ou restauração são muito mais caros que os gastos apenas com prevenção, se esta é efetuada da maneira correta (HELENE, 1998). Então, vistorias periódicas e planejadas nas estruturas de concreto, além de aumentar a segurança quanto à estrutura é também um benefício econômico para o responsável e o proprietário da obra.

De acordo com Helene, Sales, *et al.*, (2018) os americanos são pródigos em levantamentos sobre a incidência de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado. Grandes pesquisas foram realizadas pela *Portland Cement Association*, onde, no primeiro programa relacionado ao assunto em 1961, foram levantados dados patológicos de cerca de 70 tabuleiros de pontes, relatando as causas das manifestações, bem como, recomendações com as mesmas para o futuro. Os relatórios apresentados, sugeriram normas sobre a relação água/cimento das obras, e também, sobre os cobrimentos mínimos recomendados, segundo BABAEI K. (1986).

Há também estudos de técnicas eletroquímicas, como forma de monitoramento da corrosão de armaduras, com ênfase na medida de potencial de eletrodo (BABAEI K.;1986). Segundo Helene (1998), no Brasil os primeiros levantamentos da área foram feitos em 1981, através dos anais publicados no Simpósio de Aplicação de Tecnologia do Concreto, realizado na década de 80, em Campinas.

Um estudo realizado nos Estados Unidos pela *Committee on Concrete Durability: Needs and Opportunities*, relata uma grande deficiência nas estruturas de concreto do país norte americano, onde foram tomadas medidas no âmbito nacional, de modo a mitigar tais acontecimentos, e, melhorar futuras construções (HELENE, 1998). Uma das medidas principais neste caso, foi a orientação de inclusão nas escolas de engenharia tópicos, os quais, remetessem à durabilidade dos materiais, nos campos da física e química dos materiais, entre outras medidas.

4 METODOLOGIA

O trabalho foi realizado seguindo as etapas básicas de uma inspeção, conforme o fluxograma apresentado na Figura 07. Isso consiste, em levantar os dados de construção, uso, e reformas do viaduto e analisá-las. Dessa forma, foi traçado um plano de inspeção do viaduto, incluindo ponto de início e término para a inspeção. A visita ao local de modo a examinar visualmente a estrutura, e a obtenção de imagens das manifestações patológicas foi realizada. Agrupando de forma sistemática todas as informações coletadas foi possível sugerir o diagnóstico das manifestações patológicas encontradas pela análise tátil-visual baseando-se na literatura atual sobre o assunto.

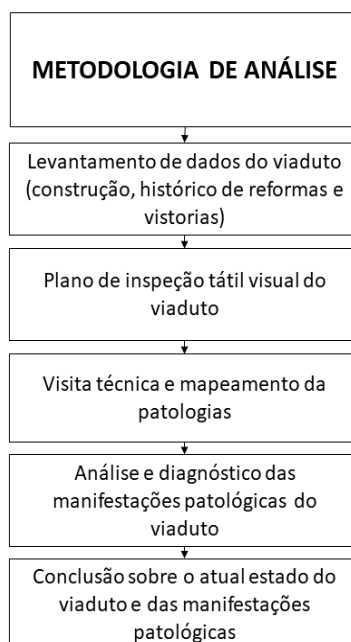


Figura 7: Fluxograma de metodologia de análise das manifestações patológicas do Viaduto Santa Tereza-BH.

Como proposto na metodologia por Andrade (1992) traçou-se um plano de análise do viaduto que se iniciou com a análise tátil-visual na parte inferior do viaduto do lado da rua da Bahia. Com o projeto arquitetônico do viaduto em mãos foram anotadas todas as manifestações patológicas vistas e foi marcado no projeto o local da manifestação patológica no viaduto, isto é, onde cada caso estava situado na

estrutura. Diversas manifestações patológicas foram encontradas, sendo que a maioria delas se repetiram ao longo do viaduto.

O levantamento de dados do viaduto, consiste em reunir informações inerentes ao mesmo, e que foram obtidas na Prefeitura de Belo Horizonte. Essas informações foram, basicamente, os dados técnicos da construção (projetos e documentos), o histórico de uso do viaduto, se ainda cumpre bem com a finalidade para o qual foi projetado, as reformas realizadas nos últimos anos e por fim, as vistorias já realizadas.

Com todos os dados e informações levantadas sobre o viaduto, foi realizada uma visita técnica e traçou-se um plano de ação, de forma a analisar sequencialmente o viaduto. Dessa forma, foi definido os pontos de início e fim da inspeção tátil visual. Esta foi realizada com o projeto arquitetônico do viaduto em mãos, de modo a marcar as localizações de cada manifestação patológica identificada (mapeamento das manifestações patológicas).

Na inspeção foram utilizadas uma prancheta com o projeto arquitetônico do viaduto, um croqui do viaduto para marcar a localização das manifestações patológicas encontradas, câmera do celular e uma régua. Dessa forma, foi mapeado o local das manifestações patológicas, anotadas as suas características e coletadas imagens, de modo a compor a coleta final dos dados necessários para análises referentes ao viaduto.

A partir dos dados coletados com a visita técnica, imagens e descrições das manifestações patológicas iniciou-se as análises de cada manifestação, baseando-se em literaturas específicas, tais como: Patologia, recuperação e reforço de estrutura de concreto armado de Souza e Ripper (1998), no Manual para Diagnóstico de obras deterioradas por corrosão das armaduras de Andrade, Carmen (1992), Corrosão e degradação das estruturas de concreto de Helene, Sales, *et al.*, (2018) entre outras.

Assim, levantou-se as causas, bem como, as possíveis soluções para cada manifestação patológica encontrada. Finalizando o trabalho com a conclusão geral sobre a situação estrutural, funcional e estética do viaduto. Cabe ressaltar que essas análises se restringem às concepções de uma análise tátil visual, sem a utilização de ensaios ou equipamentos especializados.

5 ESTUDO DE CASO DO VIADUTO SANTA TEREZA - BH

O viaduto Santa Tereza está localizado na região central de Belo Horizonte. E de acordo com a Tabela 02 de classe de agressividade (CAA), obtida da NBR 6118 (2014), a região é de agressividade moderada. No entanto, é importante para análise das manifestações considerar que também ocorreu ataque químico devido à urina de transeuntes e animais em torno de alguns dos pilares do viaduto.

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

Tabela 2: Classe de agressividade ambiental CAA, acesso em NBR 6118 (2014), pág. 17

Foram descritas as possíveis causas e soluções para as manifestações apresentadas. Para facilitar a identificação e localização das manifestações patológicas do viaduto, foi demarcada na planta baixa a localização aproximada de cada manifestação patológica encontrada. Esta planta tem por objetivo pontuar a região aproximada de onde se encontra a manifestação patológica.

5.1 RACHADURAS NA CAMADA DE PROTEÇÃO DA BASE DO PILAR

5.1.1 Causas e origens

A incompatibilidade de dilatação entre diferentes materiais, faz com que surjam tensões internas, as quais, podem provocar aberturas na superfície do material. Outro problema comumente encontrado e que também podem causar essas fissuras ou rachaduras é a ausência de juntas de dilatação na junção, entre pilar e viga, pilar e piso.

5.1.2 Conceitos e definições

A Figura 08 mostra fissuras na camada de proteção de um pilar próximo à extremidade oeste do viaduto, junto à rua da Bahia. Essa camada de revestimento, visa proteger o concreto e armadura dos pilares aos efeitos corrosivos da urina e fogos locais, os quais são frequentemente expostos à essas intempéries.



Figura 8: Rachadura em camada de proteção do pilar, imagem de autoria própria

A camada/barreira de proteção junto à base dos pilares, foi construída de modo a oferecer proteção do concreto de cobrimento do pilar, das frequentes intempéries relacionadas à temperatura elevada devido à exposição ao fogo, bem como, proteger ao ataque químico devido à urina. Pode-se observar, na Figura 09, a marcação na planta do viaduto, o local aproximado da manifestação patológica identificada. A

imagem foi retirada dos arquivos disponibilizados pela prefeitura de Belo Horizonte e se trata de uma planta baixa do viaduto.

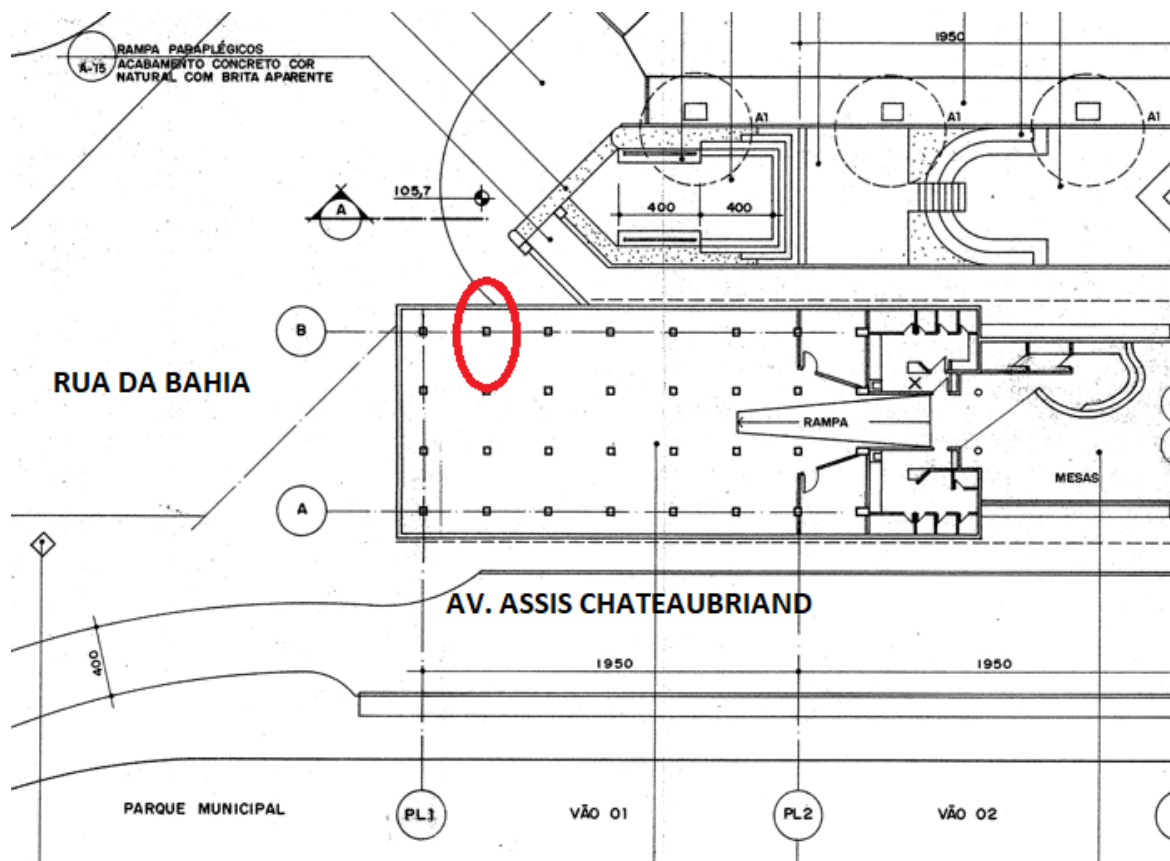


Figura 9: Planta de localização da patologia da figura 3, acesso em planta arquitetônica do viaduto Santa Tereza cedida pela Prefeitura de Belo Horizonte.

5.1.3 Avaliação da necessidade de reparo ou mitigação

Como já mostrado, encontra-se no pilar assinalado na Figura 08, rachaduras na placa de concreto colocada nas faces inferiores do pilar. Essas rachaduras impactam na funcionalidade da peça que é a proteção do concreto dos efeitos da urina e fogo, que rotineiramente estão presentes nessas partes da estrutura do viaduto. Sendo assim, a camada de proteção do pilar não estava cumprindo com sua principal função de projeto que é a proteção do concreto das intempéries ali presentes (fogo, urina, etc).

De modo a solucionar tais problemas se faz necessário a troca das placas de

proteção, por placas com estanqueidade suficiente para evitar contato direto da urina com o concreto. Utilizar placas com baixa transmissão de calor, para ser eficiente também nas proteções térmicas devido ao fogo nessas regiões da estrutura principalmente nas épocas de inverno. É importante, no assentamento das placas, realizar as juntas de dilatação entre o pilar e a viga e entre o piso e o pilar. Sendo a placa exposta à grandes variações de temperatura e, conseqüentemente maiores dilatações, devem ser absorvidas e seus efeitos minimizados pelas juntas de dilatação.

5.2 DESCOLAMENTO DAS PLACAS DE PROTEÇÃO DA BASE DOS PILARES

5.2.1 Causas e origens

A base junto à calçada de muitos pilares do viaduto, apresentam indícios de exposição ao fogo, conforme mostrado na Figura 10. Existem, como já mencionado anteriormente, uma camada de proteção do pilar feita em granito, o qual, também não mostra grande resistência a esses agentes agressivos devido à porosidade. A Figura 10, mostra o descolamento de parte de uma peça de proteção do pilar devido a exposição da estrutura ao fogo.



Figura 10: Descolamento de camada de proteção do pilar, imagem de autoria própria.

De acordo com a Tabela 03, pode-se afirmar que segundo SOUZA E RIPPER (1998), o concreto esteve exposto a uma temperatura menor que 200°C o que não caracteriza grande perda de resistência do mesmo. Porém, a mesma região do pilar exposta frequentemente, à elevadas temperaturas, pode malefícios para o concreto, portanto essa ação deveria ser mitigada. Observa-se na Figura 11 (planta de situação), o local onde essa patologia se encontra no viaduto.

TEMPERATURA EM °C	COR DO CONCRETO	CONDIÇÃO DO CONCRETO	PERDA DE RESISTÊNCIA
0 a 200	cinza	não afetado	0 %
300 a 600	rosa	razoavelmente bom	≤ 40 %
600 a 900	rosa a vermelho	friável, com alta sucção de água	70 %
900 a 1200	cinza avermelhado	friável	100 %
> 1200	amarelo	decomposto	100 %

Tabela 3: Evolução do comportamento do concreto conforme sua elevação de temperatura. Acesso em (SOUZA e RIPPER, 1998), pág. 74

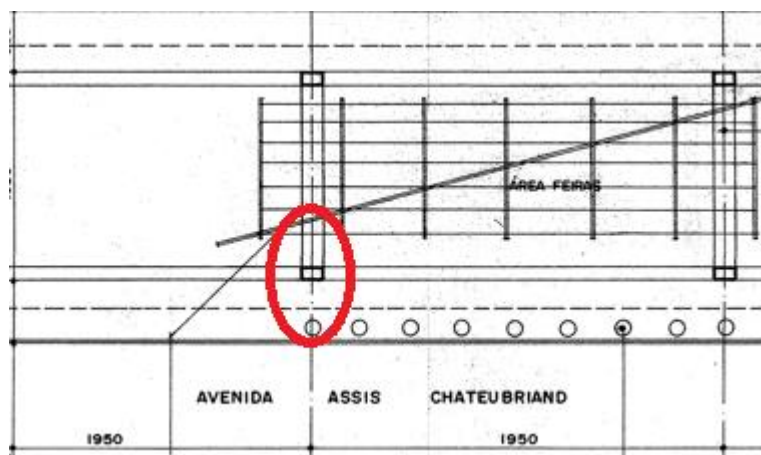


Figura 11: Planta de situação da patologia da Figura 5, acesso em planta arquitetônica do viaduto Santa Tereza cedida pela Prefeitura de Belo Horizonte.

Nessas imagens pode-se destacar o descolamento da camada de proteção do pilar, e indícios de exposição ao fogo na estrutura. Outros pilares do viaduto também apresentam a mesma manifestação patológica e estão assinalados na Figura 12.

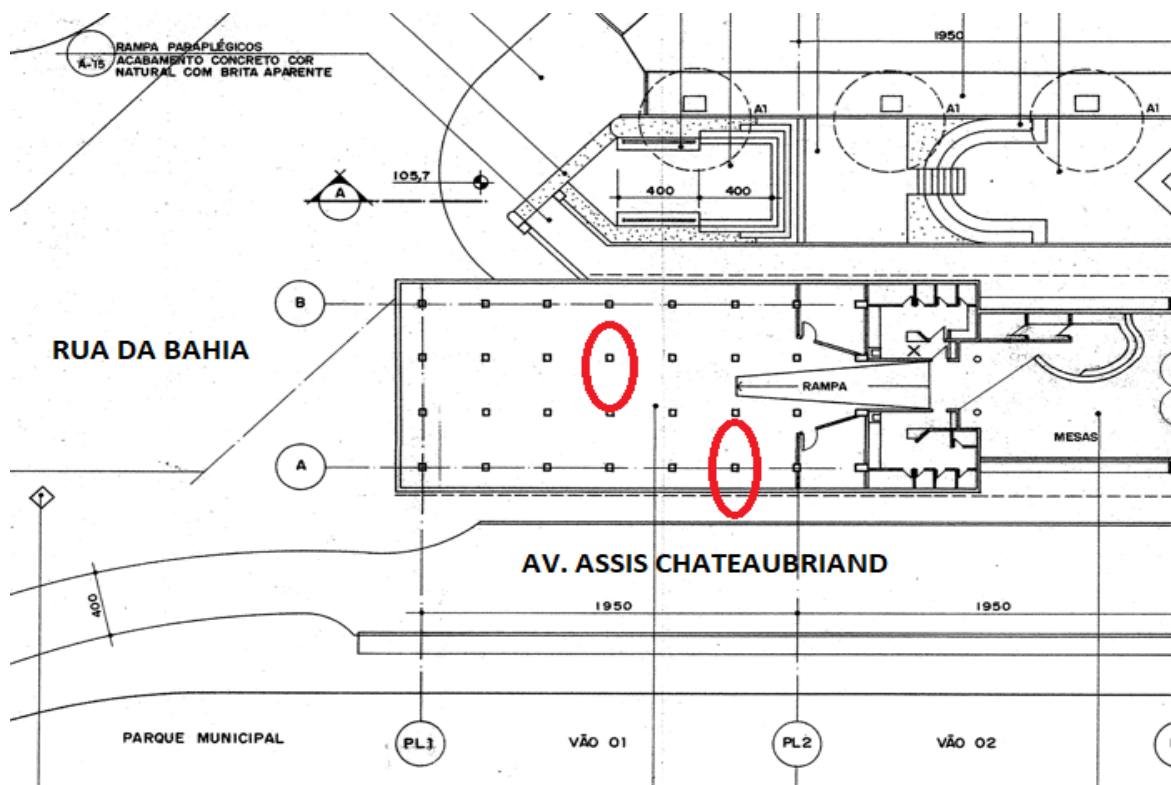


Figura 12: Planta de situação das manifestações patológicas de deslocamento e fogo, acesso em planta arquitetônica do viaduto Santa Tereza cedida pela Prefeitura de Belo Horizonte.

5.2.2 Conceitos e definições

Segundo Souza e Ripper (1998), o fogo não se propaga facilmente pelo concreto, porém, por um certo período de tempo o concreto submetido à altas temperatura sofre uma relevante perda de resistência. Durante a ação do fogo na estrutura de concreto, a absorção de calor gera expansão do material, a chamada expansão térmica do concreto. Essa expansão que é diferenciada, gera tensões internas que o concreto não resiste ocasionando então o deslocamento ou fissuramento do material.

Quando ocorre um incêndio ou o concreto fica exposto diretamente às chamas, os pontos mais críticos são na fase inicial e na fase “*flash-over*”. Nessa fase, o concreto atinge as mais elevadas temperaturas, e são onde ocorrem os maiores gradientes térmicos na estrutura, sendo geradas elevadas tensões internas e deslocamentos devido ao diferencial de dilatação e tensões (SOUZA e RIPPER,

1998). A Figura 13, mostra o gráfico de evolução do calor durante a exposição da estrutura ao fogo.

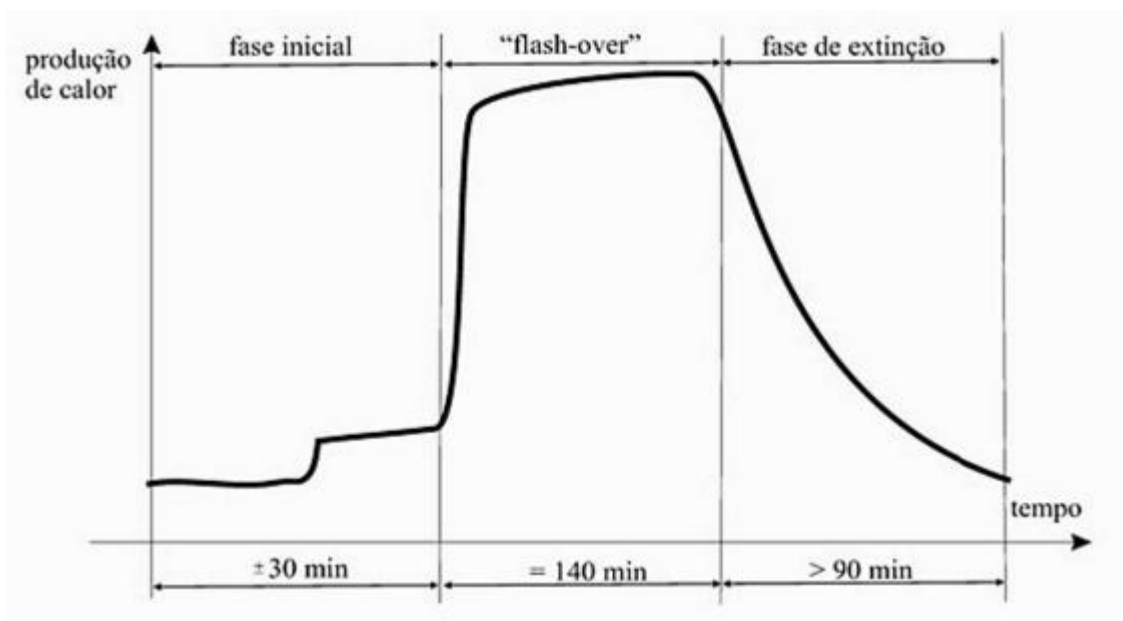


Figura 13: Evolução do calor durante a exposição da estrutura ao fogo, (SOUZA e RIPPER, 1998)

Ainda segundo Souza e Ripper (1998) o efeito do fogo sobre o concreto dependerá da temperatura a qual o concreto ficou submetido, o que influenciará tanto nas reações químicas ali ocorridas, bem como, a perda de resistência do material, sendo essa perda diretamente proporcional ao gradiente térmico. Outra característica variável de acordo com a temperatura a qual o concreto foi submetido é a cor a qual ele se apresenta, sendo essa mudança na cor permanente. Além disso, temos que o aço é bem mais sensível à elevadas temperaturas, e o quanto isso afetará a estrutura dependerá da espessura e qualidade do concreto de cobrimento.

5.2.3 Avaliação das necessidades de reparo ou mitigações

Percebe-se então, que o fogo pode acarretar em sérios danos à estrutura e até mesmo levá-la ao colapso, uma vez que, essa exposição do concreto ao fogo faz diminuir em grandes proporções a sua capacidade resistente. Além disso, as fissuras ocasionadas pelas tensões internas devido o gradiente térmico e evaporação de líquidos, são portas de entradas para agentes deletérios no concreto. Deve-se ainda

considerar que, em contato direto do fogo com as armaduras, ocasiona perda sua capacidade resistente, e conseqüentemente danos estruturais podem surgir.

Há indícios que esta exposição da estrutura ao fogo se dá frequentemente na base dos pilares do viaduto, principalmente nas épocas mais frias do ano. Então mitigar os efeitos da temperatura no concreto é de fundamental importância para melhor preservá-lo. Nesse caso, deve ser realizada a troca das peças danificadas, e as novas peças serem tratadas com impermeabilizantes anti-chamas, cuja função será essencial tanto para questões de temperatura, dificultando a proliferação das chamas, quanto para evitar o contato direto de agentes líquidos, tais como a urina, com o concreto de revestimento dos pilares. Nesses casos, também são indicadas placas com materiais com característica de isolante térmico.

Caso a placa seja retirada e o concreto esteja danificado devido à exposição ao fogo apresentando perda considerável de resistência, não bastará apenas a troca do revestimento. De acordo com Souza e Ripper (1998) ele deve ser removido até que se estabeleça a área com concreto dito sadio, e um novo concreto de revestimento deve ser assentado no local com o devido traço.

5.3 DESCOLAMENTO DO CONCRETO E EXPOSIÇÃO DE ARMADURAS

5.3.1 Causas e origens

Nos pilares próximos às avenidas de tráfego intenso sob o viaduto, observou-se pequenas vibrações na estrutura conforme o tráfego dos veículos. Esses pilares também estão mais expostos a luz solar devido ao seu posicionamento e conseqüentemente a maiores variações térmicas. Dois pilares localizados nessa região do viaduto, apresentam descolamento de concreto e armaduras expostas, propiciando a corrosão da mesma.

Na mesma região do viaduto, porém na face superior do tabuleiro observa-se como mostrado na Figura 14, armaduras expostas na região do passeio de pedestres. É provável que a espessura da camada de revestimento das armaduras neste ponto não foi adequada, ou a solicitação devido ao intenso tráfego de pessoas ocasionou a ruptura e desgaste por abrasão da camada de revestimento das armaduras.



Figura 14: Armadura exposta e em processo de corrosão, imagem de autoria própria

Aparentemente as prováveis causas dessas manifestações patológicas das Figuras 15, 16 e 17 é a corrosão das armaduras, formando produtos de corrosão que geram tensões internas e posterior descolamento da camada de cobrimento das armaduras. De acordo com HELENE, SALES, *et al.*, (2018), esse processo de corrosão é caracterizado por modificar as propriedades físicas e mecânicas da armadura e pode produzir um material FeO_3 (óxido de ferro), que por ser volumoso gera tensões internas que causam o desprendimento do concreto do aço.



Figura 15: Imagem de deslocamento do concreto por corrosão das armaduras, imagem de autoria própria.

5.3.2 Conceitos e definições

Segundo Helene, Sales, *et al.*, (2018) o processo de corrosão das armaduras pode ser entendido como uma interação destrutiva do material com o meio ambiente. Ele pode ser de natureza química, eletroquímica, e pode ou não estar também associados a ações físicas e mecânicas. No concreto, esses efeitos podem se manifestar em forma de manchas superficiais, fissuras e destacamento do concreto (HELENE, SALES, *et al.*, 2018). Tais manifestações podem ser observadas nas Figuras 15, 16 e 17 sendo que, na Figura 18 mostra-se os pontos de localização dessas manifestações patológicas no viaduto.



Figura 16: Armadura exposta e em processo de corrosão, imagem de autoria própria.



Figura 17: Imagem de armadura exposta e em processo de corrosão, imagem de autoria própria.

Sabe-se que os materiais tendem a buscar estabilidade na natureza, e o mesmo ocorre para os metais, porém na sua forma estável ele forma óxidos, um processo que vem acompanhado de perda de elétrons, e comumente chamado de processo de oxidação ou corrosão. De acordo com Helene, Sales, *et al.*, (2018) toda corrosão do aço à temperatura ambiente e na presença de água é de natureza eletroquímica, ocorrendo uma oxirredução do material. Em concreto armado, como nestes casos, há

a formação de óxidos e hidróxidos (produtos de corrosão), e que podem variar quanto à sua manifestação visual nas cores marrom, preto ou até mesmo esverdeado.

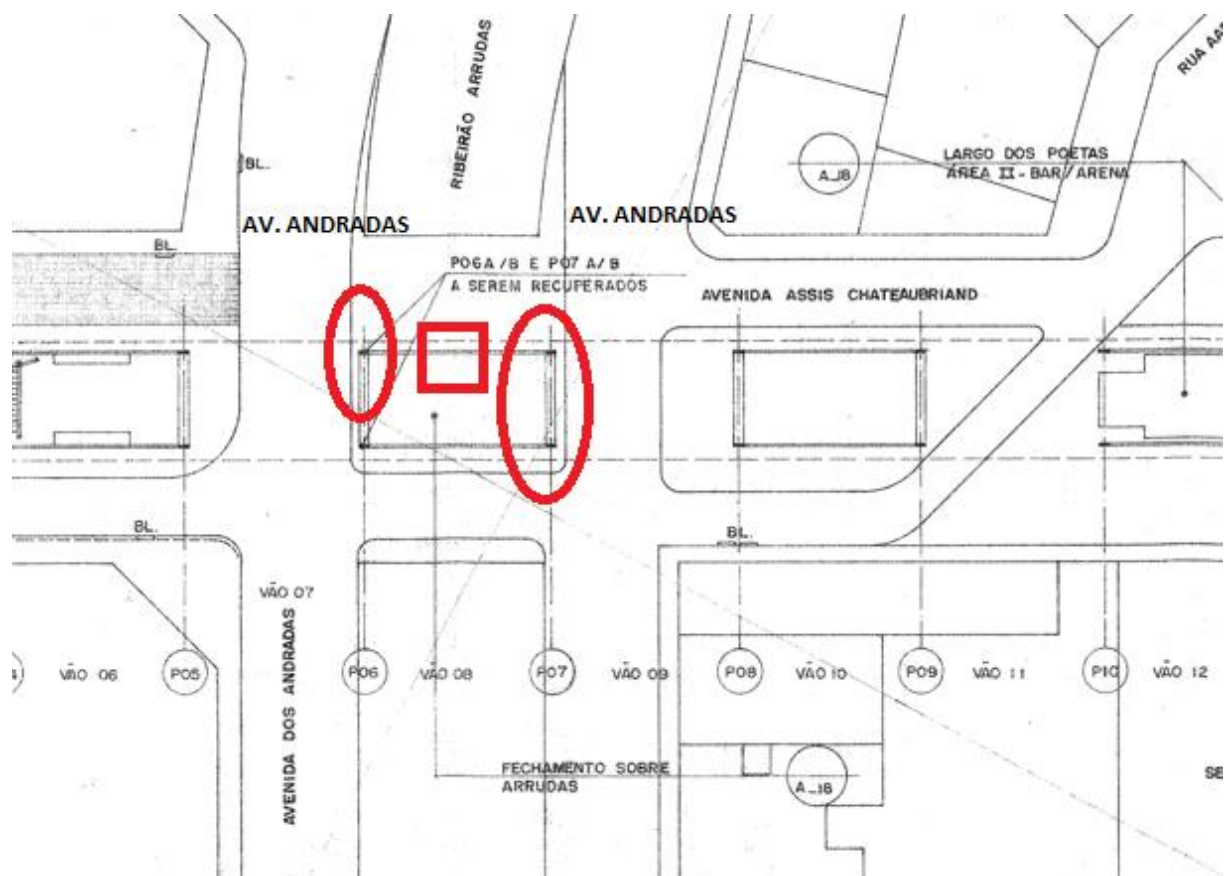


Figura18: Planta de referência de situação das manifestações patológicas das Figuras 14,15, 16 e 17, acesso em planta arquitetônica do viaduto Santa Tereza cedida pela Prefeitura de Belo Horizonte.

5.3.3 Avaliação das necessidades de reparo ou mitigações das manifestações patológicas

Na maioria dos casos esses problemas de corrosão das armaduras são efeitos que aparecem a longo prazo. Tal fato, leva os projetistas não se atentarem aos pontos necessários para evitá-los, haja vista que as manifestações patológicas não serão diretamente ligadas ao seu projeto. De acordo com Helene, Sales, *et al.*, (2018) uma redução de 5mm no concreto de cobrimento pode resultar em uma diminuição de até

15 anos a vida útil da estrutura de concreto armado, ou senão, acarretar em gastos que seriam desnecessários em reparação, caso o cobrimento seja projetado para dar maior durabilidade à estrutura.

O cobrimento das armaduras as oferece uma proteção física do concreto e uma proteção química dada pela água que se encontra nos poros do concreto que é altamente alcalina. Essa barreira química pode perder sua eficiência caso haja carbonatação do concreto ou contaminação por cloretos (HELENE, SALES, *et al.*, 2018). E, como mencionado no item 5.3.1, o processo de oxidação da armadura pode alterar suas características físicas e mecânicas, podendo influenciar na resistência da estrutura.

Sem cobrimento e a armadura exposta o processo de corrosão continua de forma acelerada e podendo ser acompanhado de perda de massa das armaduras, e agravado pelo processo de lixiviação dos materiais. Desta forma, é fato que deve ser realizada uma reparação nos locais com o objetivo de não só mitigar, mas também proteger novamente a armaduras do processo de corrosão e lixiviação.

Segundo Souza e Ripper (1998), qualquer processo de corrosão por menor que seja, deve ser o mais rapidamente interrompido, uma vez que, sua evolução levará à perda de resistência da estrutura, formações de óxidos geradores de tensões internas e deslocamento do concreto, e pode em seu estágio mais evoluído inviabilizar a recuperação da estrutura.

Com isso, pode-se afirmar que é necessário esse reparo mesmo que de forma preventiva para cessar a evolução da corrosão e promover uma nova camada de proteção das armaduras expostas. Dessa forma haverá, no mínimo a mitigação do processo de corrosão evitando assim perdas de resistência dos componentes estruturais envolvidos.

Segundo Thomaz (2020), a recuperação de uma estrutura de concreto armado com corrosão das armaduras pode ser feita iniciando com a remoção do concreto solto naquela região, e mediante lixamento ou jateamento com areia deve-se remover a parte oxidada da armadura. Após, realiza-se a limpeza da barra, e a impermeabilização com produto anticorrosivo. Por fim, aplica-se uma camada de

resina epóxi nas barras e cavidades do concreto e argamassa com baixo fator água/cimento.

5.4 FACE INFERIOR DO TABULEIRO DO VIADUTO

5.4.1 Causa e origens

Este é um problema que provavelmente foi ocasionado na construção do viaduto, onde não foi previsto um detalhamento para a execução de uma junta de dilatação estanque ou com sistema de drenagem. O desgaste na face superior do tabuleiro também pode ser a causa desse problema, uma vez que há ali um intenso tráfego de veículos diariamente, o que solicita a estrutura e as juntas continuamente.

5.4.2 Conceitos e definições

As juntas de dilatação são de grande importância para o funcionamento adequado das estruturas de concreto armado. São elas que absorvem todas as tensões provenientes da movimentação dos materiais que compõem a estrutura. Uma junta de dilatação inexistente ou má dimensionada pode trazer sérios danos para a estrutura, dentre eles fissuras, perda de resistência, lixiviação, entre outros.

De acordo com Souza e Ripper (1998), a falta de detalhamento e de vedação das juntas de dilatação, permitem a passagem de água do estrado da ponte para a parte inferior, podendo danificar as armaduras e também os aparelhos de apoio que ali se encontram. Além disso, podem surgir como no caso da Figura 19, manchas que descaracterizam a estrutura, mostrando que ali estão ocorrendo reações de corrosão ou carbonatação do concreto.



Figura 19: Dente Gerber e junta de dilatação do viaduto, imagem de autoria própria

5.4.3 Avaliação da necessidade de reparo ou mitigação da manifestação patológica

Pode ser observado na Figura 19 que há um acúmulo de umidade na junta. Deve-se então verificar se há entre as juntas armaduras em processo de corrosão. Caso haja, o problema deveria ser imediatamente sanado, tratando as armaduras, e vedando adequadamente as juntas. Ou, criar um sistema de drenagem adequado, para a água pluvial. Isso é importante pois, o processo de corrosão das armaduras, aliado à constante percolação da água, gera o processo de lixiviação. Tal processo, pode ocasionar em uma drástica redução na seção transversal da armadura e consequentemente da resistência do conjunto estrutural do viaduto.

5.5 ESCADAS E LOCAL DE FEIRAS

5.5.1 Causas e origens

Se tratando de pisos, a umidade do solo pode ser um sério problema. É fato que, o viaduto Santa Tereza se encontra às margens do rio arrudas, e o solo na região onde o piso está danificado apresenta-se úmido. Além disso, a tráfego intenso de pessoas durante eventos e shows também podem contribuir para o descolamento do piso mostrado na Figura 20. A intensa solicitação do piso ao tráfego e a umidade

podem ser as causas dessa patologia, que não traz danos estruturais, mas inviabiliza o uso ao qual esta área foi destinada.



Figura 20: Área de feira e apresentações no viaduto, imagem de autoria própria.

O viaduto Santa Tereza é um dos pontos de encontros para shows, apresentações, feiras e outros eventos em Belo Horizonte. Dessa forma, na planta baixa do viaduto é sugerido uma parte do viaduto para estes fins, o qual é mostrado abaixo na Figura 21, de situação da manifestação patológica.

5.5.2 Conceitos e definições

Para adequada utilização do espaço se faz necessária a camada de revestimentos, uma vez que, se trata de uma área utilizada para eventos e tráfego de pessoas. A camada de pavimentação ou revestimentos irá facilitar tanto a manutenção quanto a limpeza do local, bem como, melhorar a satisfação dos usuários/pedestres. A camada de revestimentos de piso na área deverá cumprir com a função estética, de regularização e estanqueidade, de modo a oferecer maior conforto e segurança aos usuários.

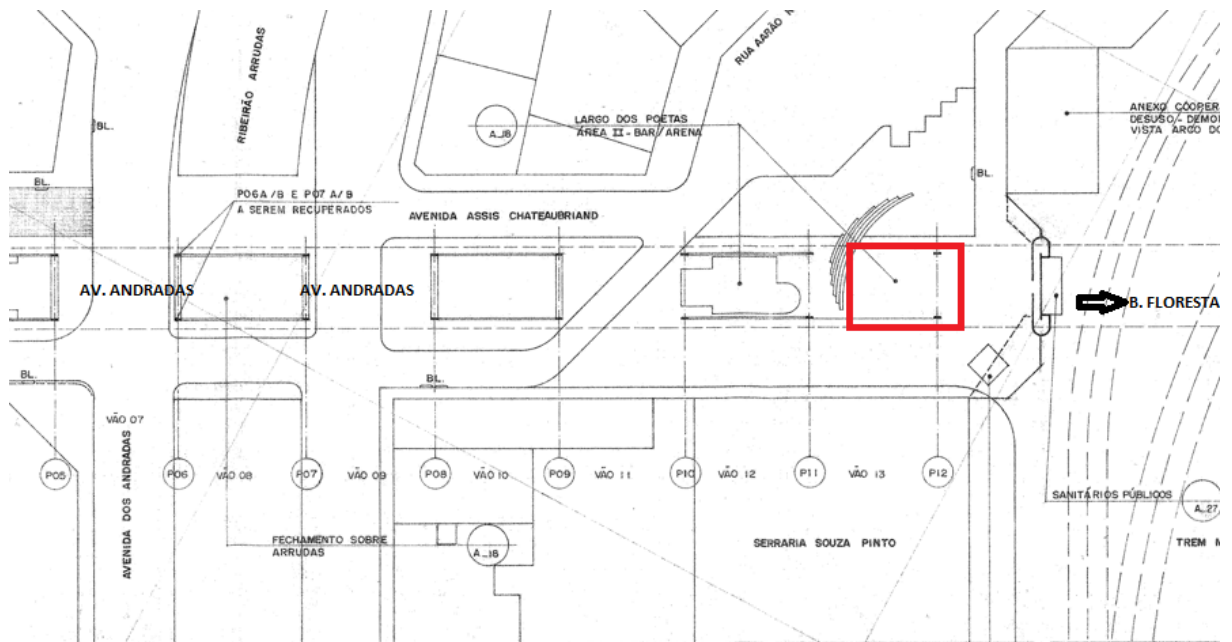


Figura 21: Área de apresentações e feiras do viaduto, acesso em planta baixa do viaduto Santa Tereza cedida pela Prefeitura de Belo Horizonte.

5.5.3 Avaliação da necessidade de reparo ou mitigação da manifestação patológica

Contudo pode-se perceber que essas áreas se encontram inutilizáveis, e com manifestações patológicas que, gradativamente, vão se alastrando e deteriorando o viaduto. A Figura 20, mostra o piso do que seria a área de feiras do viaduto. Porém nota-se a necessidade de reparos para recuperação estética e funcional do local. Ao lado encontram-se as escadas de acesso à parte superior do viaduto que estão em situação intransitável, devido à presença de lixo, dejetos humanos e deslocamentos das peças.

É fato afirmar que, tais problemas não são apenas técnicos e sobre a vida útil da estrutura. É também um problema social, uma vez que se trata de uma área de refúgio e abrigo para diversos transeuntes, os quais, podem utilizar o espaço para dormirem, e também para as necessidades fisiológicas, fazendo com que o local fique também com problemas sanitários. Dessa forma, se faz necessário a recuperação do local para os devidos fins de utilização.

A recuperação pode ser feita com um contrapiso na área afetada, com uma camada de brita ao fundo para minimizar os efeitos da umidade por ascensão. Esse contrapiso piso deve ser impermeabilizado e, posteriormente o piso pode ser assentado. Um detalhe importante e que também contribuirá para conservação e utilização do local é a construção de banheiros públicos próximos às áreas dos eventos, uma vez que o local também apresenta mal cheiro e sujeira, de modo que, inviabiliza o seu uso cultural.

6 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi investigar através de uma análise tátil-visual as manifestações patológicas do Viaduto Santa Tereza, localizado no centro de Belo Horizonte. Para isso, foi necessário realizar um estudo do processo de causas das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, bem como, os de reparos das manifestações já estabelecidas.

De acordo com os dados coletados, as informações pertinentes à cada caso que foram pontuadas, bem como a análise do conjunto, que permitem concluir que o viaduto precisa de alguns reparos pontuais. Na maioria dos casos encontrados, será suficiente a manutenção preventiva ou corretiva.

Foram encontradas na extremidade oeste do viaduto (extremidade junto à rua da Bahia), em sua parte inferior, manifestações patológicas, predominantemente, nos pilares. Rachaduras nas placas de proteção da base dos pilares ou deslocamento destes revestimentos são comuns nessa área. Tal fato, se deve principalmente à exposição desses materiais à elevadas temperaturas (há indícios de chamas nos locais). Essa variação térmica, gera tensões internas que podem ocasionar o deslocamento, bem como, as rachaduras nas placas.

Alguns pilares da parte central, mostram indícios de descolamento do concreto e armaduras em processo de corrosão. Ainda não se encontram em estado crítico, de modo, a comprometer estruturalmente o viaduto. Mas, é cabível uma manutenção corretiva, cessando assim o processo de corrosão das armaduras e reavendo a camada de cobrimento das mesmas. A realização do teste de carbonatação com fenolftaleína, seria interessante de modo a certificar-se das áreas carbonatadas do concreto, sendo uma opção para trabalhos futuros e estudos mais aprofundados do viaduto.

Também foram encontradas manifestações patológicas no tabuleiro do viaduto. Uma delas se mostra em formas de manchas e bolores, na junção Gerber do tabuleiro. A falta de um sistema de transporte adequado de águas pluviais, gera o acúmulo de umidade nas juntas. Esta umidade ocasiona reações no sistema que formam manchas

esverdeadas no viaduto. Tal fato, além de descaracterizar a estética do viaduto, pode estar causando reações prejudiciais para o concreto e corrosão das armaduras. Há também armaduras em processo de corrosão na face superior do tabuleiro, as quais devem ser tratadas e recobertas com uma camada de concreto, argamassa e revestimento.

No local onde ocorrem a maioria dos eventos no viaduto, na parte inferior do viaduto, o piso encontra-se com vários trechos sem revestimento. Observou-se no local que o solo se apresenta úmido, o que favorece para o descolamento do piso. Há que se considerar também que esta é região de tráfego intenso, implicando em maiores solicitações no piso. Tais fatores aliados à umidade ascendente no local, causa o descolamento e desagregação do piso.

Baseando-se nas informações e resultados contidos neste trabalho, nota-se que o viaduto não tem riscos graves ou iminência de ruptura quanto aos seus aspectos estruturais. Mas, se faz necessário a realização de reparos preventivos e corretivos no viaduto, pois as manifestações patológicas tendem a progredir com o passar do tempo. Também se fazem necessários reparos e tratativas em manifestações patológicas de caráter estéticos e funcionais, tais como, na área de pisos e escadas com descolamento de revestimento de piso, como mostrado neste trabalho. Em outros casos, deve-se atentar aos aspectos estruturais e realizar a manutenção corretiva nos locais onde as armaduras estão em processo de corrosão. Essas manifestações foram mostradas no item de descolamento e corrosão de armaduras, nas qual é sugerido a manutenção corretiva.

Vale mencionar que caberia o estudo de viabilidade da construção de banheiros no local. Dessa forma, pode-se mitigar danos aos pilares devido à urina de transeuntes no local, pois, o viaduto Santa Tereza também é local de realização de eventos. As causas de algumas das manifestações patológicas levantadas neste trabalho se referem também à aspectos sociais, que também devem ser pautados. E por fim, as vistorias preventivas serem realizadas no viaduto, de modo a reduzir os custos de manutenção, aumentar a vida útil e segurança. Tais vistorias se fazem ainda mais

importantes, uma vez que, o viaduto também é palco para eventos culturais em Belo Horizonte e patrimônio histórico-cultural da cidade.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15575-1 Edificações Habitacionais- Desempenho Parte 01:** Requisitos Gerais. 4. ed. [S.l.]: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013.

ABNT. **NBR 15575-2 Edificações Habitacionais - Desempenho Parte 2:** Requisitos para os sistemas estruturais. 4º. ed. [S.l.]: [s.n.], Associação Brasileira de Normas Técnicas 2013.

ABNT. **NBR 6118 Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento.** 3. ed. [S.l.]: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.

ABNT. **NBR 5462 Confiabilidade e manutenibilidade,** Associação Brasileira de Normas Técnicas (1994)

ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras.** São Paulo: PINI, 1992.

CORR, D. J. et al. Investigating entrained air voids and Portland cement hydration with low-temperature scanning electron microscopy. **Cement & Concrete Composites**, v. 26, p. 1007–1012, 2004.

CREA-RJ, CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E ARQUITETURA-RJ LAUDO PERICIAL, (2016)

FERREIRA, R. M. **Avaliação de ensaios de durabilidade do betão,** 2000.

FREIRE, D. Especialistas temem caos em SP com queda de viaduto na marginal. **Veja**, São Paulo, Novembro 2018.

GENTIL,V. Corrosão, Livros técnicos e Científicos Editora LTC, Rio de Janeiro, 2011.

HELENE, P. Envelhecimento e inspeção de pontes e viadutos, São Paulo, 1998.

HELENE, P. Envelhecimento e inspeção de pontes e viadutos. **Engenharia estrutural**, São Paulo, 1998.

HELENE, P. et al. **Corrosão e Degradação em Estruturas de Concreto**. 2º. ed. São Paulo: Elsevier, 2018.

LAPA, J. S. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto armado**, 2008

MARQUES, F. **Uma cidade se inventa: Belo Horizonte na visão de seus escritores**. Belo Horizonte: Scriptum, v. Único, 2015.

MEIRA, G. R. e PADARATZ, I. J. **Custos de recuperação e prevenção em estruturas de concreto armado: uma análise comparativa**, 2002.

MENDES, L. C. et al. **Pontes de concreto armado em meios de elevada agressividade ambiental**, 2010.

MORAIS, M. V. V e SOBRAL, A.V.C. **O efeito da urina sobre as estruturas de concreto armado com e sem proteção anticorrosiva**, 2019.

PANNONI, F. D. **Princípio da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio**, 4º ed, 2007.

PERDIGÃO, J. **Viaduto Santa Tereza**. Belo Horizonte: [s.n.], 2016.

PINHEIRO, P. **Exame de urina, leucócitos, nitrito, hemoglobina** (2018)

SILVA, F. B. **Patologia das Construções: uma especialidade da engenharia civil**, 2011

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

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios, causas, prevenções e recuperação**. [S.l.]: [s.n.], 2020.