UNIVERSIDADE DE SOROCABA
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO E ASSUNTOS ESTUDANTIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Agnaldo Novaes
André Ricardo dos Santos

CARACTERÍSTICAS E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM CONCRETO ARMADO, COM ESTUDO DE CASO EM VIADUTO

Sorocaba/SP
2023

Agnaldo Novaes
André Ricardo dos Santos

CARACTERÍSTICAS E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM CONCRETO ARMADO, COM ESTUDO DE CASO EM VIADUTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia Civil da Universidade de Sorocaba.
Orientador: Me. Mario Sérgio killian

Sorocaba/SP
2023

Agnaldo Novaes
André Ricardo dos Santos

CONCRETO ARMADO CARACTERÍSTICAS E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS INSPEÇÃO EM VIADUTO DE CONCRETO ARMADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do Diploma de Graduação em Engenharia Civil da Universidade de Sorocaba.

Aprovado em; 06/06/2023

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Me. Mario Sérgio killian
Universidade de Sorocaba

Prof. Me. Paulo Sérgio Salmazo
Universidade de Sorocaba

Prof(a). Ma. Luma Caroline de Barros
Universidade de Sorocaba

Prof.(a) Aline Cristine Nanuh da Silva
Universidade de Sorocaba

Nós dedicamos este trabalho a Deus, fonte de força e inspiração em nossa jornada acadêmica e na vida como um todo.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa gratidão a todas as pessoas e instituições que contribuíram de forma significativa para a realização deste trabalho de conclusão de curso. Sem o apoio e suporte desses indivíduos, esta conquista não seria possível.

Primeiramente, agradecemos a Deus pela força, sabedoria e inspiração concedidas ao longo dessa jornada acadêmica. Sua presença constante e fé inabalável foram fundamentais para superar os desafios e alcançarmos nossos objetivos.

Eu Agnaldo Novaes agradeço também aos meus filhos Agnaldo Novaes Junior e Maria Paulo Novaes que nos momentos mais difíceis estiveram ao meu lado me apoiando.

Eu André Ricardo dos Santos agradeço a minha esposa Juliana Cunha e minha filha Gabriela M. Santos pela compreensão em dias difícil e por todo apoio que elas me deram.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise abrangente das patologias encontradas em estruturas de concreto armado, buscando entender as causas raiz desses problemas e apresentar possíveis soluções para sua prevenção e reparo. O concreto armado é um dos materiais mais utilizados na construção civil. Ele é composto por uma mistura de cimento, água, agregados (areia e pedra) e armaduras de aço. As armaduras são responsáveis por resistir aos esforços de tração, enquanto o concreto resiste aos esforços de compressão. Essa combinação de materiais resulta em uma estrutura resistente e durável, capaz de suportar grandes cargas. As estruturas de concreto armado são utilizadas em diversas construções, desde pequenas casas até grandes edifícios e pontes. Elas apresentam algumas características importantes, como alta resistência à compressão, durabilidade, facilidade de moldagem e adaptação a diferentes formas e tamanhos. No entanto, mesmo com todas essas vantagens, as estruturas de concreto armado podem apresentar manifestações patológicas ao longo do tempo. Essas manifestações são defeitos que comprometem a resistência, a estabilidade e a durabilidade da estrutura, podendo causar riscos à segurança dos usuários e ao patrimônio. Para isso, foi realizado um estudo de caso em um viaduto local. O trabalho incluiu uma revisão bibliográfica sobre patologia no concreto armado, com foco em viadutos, com a inspeção visual de um viaduto na cidade de Sorocaba -SP, onde foi constatado e apontado algumas patologias pertinentes à estrutura de concreto armado e as possíveis correções.

Palavras-chave: Concreto. Manifestações Patológicas. Estruturas. Viaduto

ABSTRACT

This work aims to carry out a comprehensive analysis of the pathologies found in reinforced concrete structures, seeking to understand the root causes of these problems and to present possible solutions for their prevention and repair. Reinforced concrete is one of the most used materials in construction. It is composed of a mixture of cement, water, aggregates (sand and stone) and steel reinforcement. Reinforcements are responsible for resisting tensile stresses, while concrete resists compressive stresses. This combination of materials results in a strong and durable structure capable of withstanding heavy loads. Reinforced concrete structures are used in various constructions, from small houses to large buildings and bridges. They have some important characteristics, such as high compressive strength, durability, ease of molding and adaptation to different shapes and sizes. However, even with all these advantages, reinforced concrete structures can present pathological manifestations over time. These manifestations are defects that compromise the strength, stability and durability of the structure, and may pose risks to the safety of users and property. For this, a case study was carried out in a local viaduct. The work included a bibliographic review on pathology in reinforced concrete, focusing on viaducts, with a visual inspection of a viaduct in the city of Sorocaba -SP, where some pathologies related to the reinforced concrete structure and possible corrections were observed and pointed out.

Keywords: Concrete. Pathological Manifestations. Structures. Viaduct

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Vista aerea viaduto ferreo (Praça Lions) 36
Figura 2 - Locação do pilares 36
Figura 3 - Fissura 37
Figura 4 – Armadura exposta 37
Figura 5 – Armadura exposta 38
Figura 6 – Perda de cobrimento 38
Figura 7 – Armadura exposta em corrosão 39
Figura 8 – Armadura exposta 39
Figura 9 – Desplacamento com armadura exposta 40
Figura 10 – Lixiviação 40
Figura 11 – Alvenaria em ruina 41
Figura 12 – Armadura exposta 41
Figura 13 - Armadura exposta 42
Figura 14 - Lixiviação 42
Figura 15 - Armadura exposta 43
Figura 16 - Armadura exposta e desplacamento 43
Figura 17 - Armadura exposta 44
Figura 18 - Armadura exposta 44
Figura 19 – Drenos obstruidos 45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10
2 OBJETIVO 11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 12
3.1 Concreto 14
3.2 Concreto armado 15
3.3 Patologias do concreto armado 18
3.4 Patologia em viaduto de concreto armado 20
3.5 Fissuras 21
3.6 Deterioração do concreto 23
3.7 Corrosão das armaduras 24
3.8 Recalque 26
3.8.1 Recalque diferencial 27
3.8.2 Fissuras proveniente de recalque 27
3.8.3 Causa de recalque 28
3.8.4 Norma brasileira de recalque 28
3.9 Outras ações 29
4 SISTEMA CONSTRUTIVO DE VIADUTO 30
4.1 Pilares 30
4.2 Vigas 30
4.3 Lajes 31
4.4 Estacas de fundação 32
5 VISTORIA TÉCNICA VIADUTO 33
5.1 Norma de inspeção NBR 9452:2019 34
6 ESTUDO DE CASO VIADUTO 36
7 METODO DE RESTAURAÇÃO DAS PATOLOGIAS 46
8 RESULTADO 47
9 CONCLUSÃO 48

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho visa reunir de forma sucinta as informações das causas e efeitos das patologias de estruturas de concreto armado em viaduto, a fim de servir como um embasamento para os profissionais envolvidos em todas as etapas construtivas, pois a avaliação das estruturas é de extrema importância para o sucesso da execução do projeto de proteção e/ou recuperação das estruturas.

A informação e o conhecimento adequado sobre as causas, características, os mecanismos de deterioração e desenvolvimento dos diferentes tipos de patologias e seus impactos nas estruturas pode contribuir para a criação, acompanhamento e fiscalização adequada de projetos e também na tomada de decisões que atingem diretamente a qualidade e a vida útil das estruturas.

O concreto armado é um dos materiais mais utilizados na construção de viadutos devido às suas características de resistência e durabilidade. No entanto, ao longo do tempo, essas estruturas podem apresentar patologias decorrentes de diversos fatores, como erros de projeto, qualidade inadequada dos materiais, execução deficiente, exposição a ambientes agressivos e sobrecargas excessivas. Essas patologias comprometem a integridade estrutural dos viadutos e podem levar a problemas de segurança.

A metodologia da pesquisa foi a bibliográfica dentre os principais autores para o embasamento deste estudo serão Amaral (2011), Araldi (2013), Bastos (2013), Ribeiro (2014) dentre outros. Serão utilizados livros e artigos, dissertações, revista de engenharia civil e base de dados na Scielo publicados nos últimos dez anos por meio das palavras chaves: estruturas de concreto armado, características do concreto armado, manifestações patológicas.

2 OBJETIVO

Apresentar os principais tipos de patologias possíveis nas estruturas de concreto armado em viaduto, as origens e os impactos, desenvolver uma revisão sobre o uso de concreto armado e sua importância para a construção civil e discutir possíveis medidas para a proteção e/ou recuperação das estruturas.

Inspecionar um viaduto um viaduto no município de Sorocaba para identificar patologias no concreto armado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O termo patologia, de acordo com Helene (2019) assim como na ciência médica, está atrelado a doenças, sendo assim, as patologias do concreto armado são as “doenças” ou danos que acomete as estruturas, e resulte em alguma anomalia no seu funcionamento ou comprometa a integridade da mesma.

> Dessa forma, a patologia das construções é a ciência que procura, de forma sistêmica, estudar os defeitos incidentes nos matérias construtivos, componentes e elementos ou na edificação como um todo, buscando diagnosticar as origens e compreender os mecanismos de deflagração e de evolução do processo patológico, além de suas formas de manifestação (HELENE, 2019, p. 08)

O processo construtivo de um edifício segundo Menezes (2010) é o conjunto de medidas tomadas e implementadas, numa sequência lógica, para a edificação do edifício. As estruturas de concreto armado são geralmente analisadas considerando que a estrutura geral já está construída quando ações futuras sobre ela são aplicadas. Este modelo é válido e preciso para ações horizontais, como o vento, por exemplo, e também para ações verticais quando toda a construção estiver concluída.

Neville (2013) cita que as causas físicas da deterioração do concreto armado podem ser subdivididas em duas categorias: desgaste superficial (ou perda de massa) devido à abrasão, erosão e cavitação; rachaduras devido a gradientes normais de temperatura e umidade, pressões de cristalização de sal nos poros, carga estrutural e exposição a temperaturas extremas, como congelamento ou fogo.

As causas químicas da deterioração do concreto são geralmente devidas à presença de substâncias químicas, que podem ocorrer devido a: hidrólise e lixiviação dos componentes da pasta de cimento por água pura; trocas iônicas entre os fluidos agressivos e a pasta de cimento; reações causais de produtos expansíveis, como expansão de sulfato, reação álcali-agregado e corrosão da armadura no concreto de acordo com Isaia (2011).

As causas biológicas de acordo com Ribeiro (2014) estão relacionadas principalmente à presença de microrganismos, que proporcionam ambientes corrosivos agressivos ao concreto e ao aço, por meio de bactérias oxidantes de enxofre ou sulfeto, que aceleram a deterioração dessas estruturas.

Por outro lado, segundo Helene (2019) durante a construção, algumas ações que também devem ser analisadas, como, por exemplo, o peso real, que vai sendo

adicionado gradativamente em diferentes etapas à medida que os pisos vão sendo construídos. Neste caso, é desejável realizar uma análise global considerando a sequência de construção.

De acordo com Tutikian e Pacheco (2013) a construção de edifícios pode ser classificada pelo seu conceito estrutural, pela intensidade da sua utilização e pelos materiais implantados. O conceito estrutural é considerado como as forças estruturais são transmitidas, que podem ser classificadas como reticuladas, planas ou espaciais.

> Estruturas reticuladas são aquelas com eixo reto em que uma dimensão (comprimento) prevalece em relação às dimensões da seção transversal. Estruturas reticuladas são o objeto deste estudo. Já as estruturas planas transmitem suas forças por meio de um plano de carregamento, como no caso de estruturas com alvenaria de suporte e lajes de concreto armado, por exemplo. As estruturas espaciais transmitem suas forças de maneiras diferentes, dependendo de seu formato e implementação (RIBEIRO, 2014, p. 14).

Conforme a NBR 15.696:2009, ABNT (2009), as fôrmas são estruturas provisórias destinadas a moldar o concreto fresco e suportar todas as ações desde as cargas variáveis decorrentes das pressões de concretagem do concreto fresco, até o momento em que o concreto endurece e pode ser autossustentável. Esta mesma norma classifica as bielas como estruturas temporárias com capacidade de suportar e transmitir às bases de sustentação da estrutura de escoramento todas as ações das cargas permanentes e variáveis decorrentes do lançamento do concreto fresco sobre a fôrma horizontal e vertical, até que o concreto se autofele-suporte.

No que diz respeito ao recondicionamento ou remanescentes de escoras, segundo Bastos (2013) esta norma define-os como estruturas auxiliares temporárias, instaladas sob uma estrutura de concreto que não tem capacidade de suportar totalmente as ações de cargas permanentes e / ou variáveis, transmitindo-as às bases de apoio rígidas ou flexíveis. É, portanto, necessário que o material da fôrma tenha alto módulo de elasticidade e resistência, alta estanqueidade, regularidade geométrica, textura superficial adequada, estabilidade dimensional e baixa aderência ao concreto.

Em edifícios de vários pisos segundo Amaral (2011) é muito comum a utilização de cofragem de madeira, uma vez que é fácil de manusear e a mesma peça tem capacidade de reciclagem, reduzindo assim o seu custo. Este aspecto é de extrema

importância, pois muitos estudos comprovam que a fôrma representa entre 30% e 40% do custo da estrutura de concreto armado.

3.1 Concreto

O concreto é um dos materiais mais utilizados na construção civil em todo o mundo. Sua história remonta a civilizações antigas, nas quais formas rudimentares de concreto eram utilizadas para a construção de estruturas.

Segundo, Stouhi, Dima (2020), na Antiguidade, os primeiros indícios do uso de materiais semelhantes ao concreto remontam ao Antigo Egito e à Antiga Mesopotâmia, por volta de 3000 a.C. Os egípcios utilizavam uma mistura de cal, argila e pedras para construir suas estruturas, enquanto os mesopotâmicos utilizavam um tipo de concreto de argila para fabricar tijolos e no Império Romano, a utilização do concreto alcançou seu auge durante o Império Romano, por volta de 300 a.C. Os romanos desenvolveram uma fórmula avançada de concreto conhecida como *"opus caementicium"*, que consistia em uma mistura de cal, areia, pedra vulcânica e água. Esse tipo de concreto era extremamente durável e resistente, permitindo a construção de grandes estruturas, como aquedutos, pontes e edifícios.

De acordo com o arquiteto e escritor romano Vitrúvio, o concreto romano era feito adicionando uma mistura de cal e pedras vulcânicas à água do mar:

"A cal, quando misturada com pedras vulcânicas chamadas puzolana, torna-se um concreto que, quando endurecido, aumenta de tal forma que parece se unir às próprias pedras, como se fossem todos um único bloco." (Vitrúvio, De Architectura, Livro II)

Essa citação destaca a utilização da puzolana como adição ao concreto romano, o que conferia propriedades de resistência e durabilidade.

Idade Média e Renascimento:

Após o declínio do Império Romano, a produção de concreto diminuiu consideravelmente. Durante a Idade Média e o Renascimento, houve uma redescoberta gradual do concreto e o desenvolvimento de novas técnicas de construção. No entanto, essas técnicas ainda não alcançavam a qualidade e a resistência do concreto romano.

Revolução Industrial e Desenvolvimentos Modernos:

A Revolução Industrial do século XVIII trouxe avanços significativos na produção de concreto. No século XIX, o engenheiro francês François Coignet desenvolveu um método de construção com concreto armado, utilizando uma mistura de concreto e barras de aço para reforço. Esse foi um marco importante na história do concreto, abrindo caminho para as técnicas modernas de construção.

A partir do século XX, o concreto passou por inovações constantes, como o desenvolvimento de aditivos, técnicas de mistura e reforço estrutural, tornando-o ainda mais versátil e resistente. (Vitrúvio. De Architectura. Livro II.)

3.2 Concreto armado

Conforme Azeredo (1997) denomina-se concreto armado “à associação do aço ao concreto, com a finalidade de melhorar a resistência desse a determinados tipos de esforços”.

Definições da NBR 6118:2014 (itens 3.1.2, 3.1.3 e 3.1.5): Elementos de concreto simples estrutural: elementos estruturais elaborados com concreto que não possui qualquer tipo de armadura ou que a possui em quantidade inferior ao mínimo exigido para o concreto armado. Elementos de Concreto Armado: aqueles cujo comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, e nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência. Armadura passiva: qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão, isto é, que não seja previamente alongada (VASCONCELOS, 2005).

O concreto é um conglomerado composto por cimento Portland, agregado miúdo, agregado graúdo e água, sendo atualmente o segundo material mais consumido pelo homem, superado apenas pela água (GRAZIANO, 2005).

Os esforços de compressão são contidos pelo concreto e esforços de tração são absorvidos pelo aço. Essas características são possíveis graças aos seguintes propriedades: à boa aderência entre ambos os materiais; à quase igualdade dos respectivos coeficientes de dilatação térmica e à proteção do aço contra a corrosão, quando este estiver envolvido pelo concreto (AZEREDO, 1997).

O concreto é empregado no estado plástico e com o passar do tempo endurece, adquirindo propriedades de resistência. Se bem tratado seu endurecimento continua durante muito tempo, mesmo após ter adquirido a resistência suficiente para obra. Já

o aço utilizado nas estruturas de concreto deve 18 apresentar suficiente homogeneidade, quanto às características geométricas e ser isento de defeitos, como bolhas, fissuras, esfoliações e corrosão (AZEREDO, 1997).

A estrutura é definida "como o conjunto das partes consideradas resistentes de uma edificação. Para que uma estrutura tenha sua capacidade resistente assegurada, é necessário conhecer o comportamento de suas peças ou elementos estruturais" (CLÍMACO, 2008).

Conforme a NBR 6118:2014, "as estruturas podem ser idealizadas como a composição de elementos básicos, classificados e definidos de acordo com sua forma geométrica e a sua função estrutural".

Em Guerrin (1987, p. 57) tem-se uma definição da funcionalidade da estrutura de concreto armado:

> A função da estrutura é uma função de resistência. Ela deve assegurar a estabilidade do conjunto solicitado por duas naturezas de esforços: -Esforços verticais: peso próprio da construção, processo para construções em estruturas em aço se destaca, pois o aço tem uma maior resistência mecânica se comparada a outros materiais. É um dos processos e sobrecargas de exploração, que comprimem o pavimento; laje, nervuras, vigas, pilares, são finalmente transmitido ao solo por intermédio da fundação. -Os esforços horizontais: devido ao vento e aos sismos. Classifica-se os elementos estruturais em elementos lineares e elementos de superfície.

Segundo a NBR 6118:2014 os elementos lineares "são aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes maior dimensão da seção transversal, sendo também denominadas barras". Dentro dos elementos lineares, há uma designação para cada tipo de peça conforme sua função e geometria, sendo assim temos as vigas, que são elementos lineares dispostos na horizontal, que recebem basicamente esforços de flexão. Já os pilares são elementos lineares de eixo reto, dispostos na vertical, nos quais os esforços predominantes são de compressão, advindos do peso próprio da estrutura além de outras cargas. Os tirantes são elementos lineares de eixo reto com forças predominantes de tração. E arcos são elementos lineares curvos com predominância das forças normais de compressão.

Já os elementos de superfície, são aqueles "elementos em que uma dimensão, usualmente chamada de espessura, é relativamente pequena em face das demais" (NBR 6118:2014).

Esses elementos podem ser classificados como: - Placas: Elementos de superfície plana sujeitos principalmente a ações normais ao seu plano. As placas de

concreto são usualmente denominadas lajes. - Chapas: Elementos de superfície plana sujeitos principalmente a ações contidas em seu plano. Chapas de concreto em que o vão for menor que três vezes a maior dimensão da seção transversal são usualmente denominadas vigas parede. -Cascas: elementos de superfície não plana. -Pilares parede: elementos de superfície plana ou casca cilíndrica, usualmente dispostos na vertical e submetidos preponderantemente à compressão. Para que se tenha um pilar parede, em alguma dessas superfícies, a menor dimensão deve ser menor que 1/5 da maior, ambas consideradas na seção transversal da peça. (CLÍMACO, 2008).

Para a moldagem das estruturas de concreto armado é utilizado o sistema de fôrmas, este que é composto pelas fôrmas, escoramento, cimbramento e os andaimes. Sua função é suportar as cargas da edificação, cargas acidentais durante a construção, e manter as dimensões das peças até que o concreto atinja a resistência especificada em projeto (NBR 6118:2014).

O concreto tem boa resistência à compressão e pequena resistência à tração. A resistência à tração, cerca de 10% da resistência à compressão, além de pequena é imprecisa, pois o material se comporta de maneira aleatória quando tracionado. Quando o concreto não é bem executado, a retração acentuada pode provocar fissuras na região tracionada da peça, eliminando completamente a resistência à tração, antes mesmo de atuar qualquer solicitação. Devido a essa natureza aleatória, a resistência à tração do concreto é geralmente desprezada nos cálculos (GRAZIANO, 2005).

A utilização conjunta dos dois materiais permite que o concreto resista aos esforços de compressão e que o aço resista aos esforços de tração, como é o caso das vigas mistas e do concreto armado. Contudo, no concreto armado convencional, a parte tracionada da seção não trabalha, havendo, portanto, um desperdício de material. Pode-se, então, utilizar o aço para comprimir o concreto, de tal modo que ele não seja tracionado, ou tenha uma tração pequena, quando atuarem as cargas externas. O artifício da protensão consiste em introduzir esforços prévios na peça de concreto, que reduzam ou anulem as tensões de tração provocadas pelas solicitações em serviço. Nessas condições, a fissuração deixa de ser fator determinante no dimensionamento da peça (AZEREDO, 1997).

3.3 Patologias do concreto armado

Patologias do concreto armado segundo Vasconcelos (2005, p.47)

Custo: os componentes do concreto estão disponíveis em quase todas as regiões do Brasil. É importante calcular o custo global da estrutura considerando-se o custo dos materiais, da mão de obra e dos equipamentos, bem como o tempo necessário para a sua elevação.

Adaptabilidade: as estruturas de concreto permitem as mais variadas formas, porque o concreto no estado fresco pode ser moldado com relativa facilidade, o que favorece o projeto arquitetônico. A estrutura, além de resistir às diversas ações atuantes, pode compor também a arquitetura. O concreto pré-moldado pode ser uma opção estrutural e arquitetônica à estrutura de concreto convencional.

Resistência ao fogo: uma estrutura deve resistir às elevadas temperaturas devidas ao fogo e permanecer intacta durante o tempo necessário para a evacuação de pessoas e permitir interromper o incêndio. As estruturas de concreto sem proteção externa, tem uma resistência natural de 1 a 3 horas.

Resistência a choques e vibrações: as estruturas de concreto geralmente têm massa e rigidez que minimizam vibrações e oscilações, provocadas pelas ações de utilização e o vento. Os problemas de fadiga são menores e podem ser bem controlados.

Conservação: desde que o projeto e a execução tenham qualidade, as estruturas de concreto podem apresentar grande resistência às intempéries, aos agentes agressivos e às ações atuantes. Geralmente, os fatores mais importantes são a resistência do concreto e o correto posicionamento das armaduras, obedecendo os cobrimentos mínimos exigidos.

Impermeabilidade: o concreto comum, quando bem executado, apresenta muito boa impermeabilidade. Os principais aspectos negativos das estruturas de concreto são os seguintes segundo Vasconcelos (2005, p.14):

Baixa resistência à tração: a resistência do concreto à tração é baixa se comparada à sua resistência à compressão, cerca de apenas 10 %, o que o sujeita à fissuração. A armadura de aço, convenientemente projetada e disposta, minimiza esse problema, atuando de forma a restringir as aberturas das fissuras a valores aceitáveis, prescritos pelas normas de modo a não permitir a entrada de água e de agentes agressivos, e não prejudicar a estética e a durabilidade da estrutura. O

Concreto Protendido pode ser uma opção ao Concreto Armado, especialmente no caso de ambientes muito agressivos, por possibilitar o projeto de peças sem fissuras, ou fissuras que possam surgir apenas sob carregamentos menos frequentes ao longo do tempo de vida útil da estrutura.

Fôrmas e escoramentos: a construção da estrutura de concreto (moldado no local) requer fôrmas e escoramentos que necessitam ser montados e posteriormente desmontados, acarretando custos elevados de material e de mão de obra. Como opção, o concreto pré-moldado elimina a necessidade de escoramentos, reutiliza as fôrmas e diminui o tempo de construção da estrutura.

Baixa resistência do concreto por unidade de volume: o concreto apresenta baixa resistência comparativamente ao aço estrutural, e elevada massa específica (2.450 kg/m3), o que resulta na necessidade de estruturas com elevados volumes e consequentemente pesos próprios muito elevados, caracterizando-se no principal aspecto negativo das estruturas de concreto. Por exemplo, considerando um aço estrutural com resistência de 250 MPa e massa específica de 7.850 kg/m3, o concreto deve ter resistência de 78 MPa para apresentar a mesma relação resistência/massa. Como a resistência dos concretos utilizados situa-se geralmente na faixa de 25 a 50 MPa, a elevada massa específica do concreto torna-se um aspecto negativo.

de volume com o tempo: o concreto pode fissurar sob alterações de volume provocadas pela retração e pela fluência12, o que pode dobrar a flecha num elemento fletido.

As principais falhas encontradas em estruturas de concreto pela citação de Clímaco (2008, p. 51-53) são:

Deterioração do Concreto: A deterioração do concreto pode ter sua origem devido as seguintes causas:

Ataque de águas sulfatadas: os sulfatos de magnésio, sódio e cálcio atacam a pasta de cimento Portland comum, causando a desagregação do concreto.

Deformações Excessivas**:** as deformações excessivas – flechas – de vigas do concreto armado podem ser devidas a falhas de execução (recalques no cimbramento) ou a fluência do concreto comprimido.

Defeitos Causados pelo Fogo: altas temperaturas provocadas pelo fogo provocam fissurações do concreto, e caso o fogo/incêndio apresentar grande duração, as armaduras convencionais ou protendidas são afetadas, sofrendo deformações plásticas.

Falhas de Concretagem: as falhas de concretagem são defeitos provenientes da época da construção, decorrendo de imperfeições na colocação ou compactação do concreto, podendo deixar as armaduras expostas e sujeitas a corrosão.

Agregados reativos: certos agregados reagem com o cimento, provocando a deterioração do concreto.

Eflorescência: a percolação de água, através de vazios ou fissuras do concreto, produz dissolução do hidróxido de cálcio e outros compostos, os quais formam eflorescências ou incrustações na superfície.

Corrosão da Armadura: de acordo com Graziano (2005) as armaduras situadas no interior do concreto são protegidas contra corrosão pela forte alcalinidade do concreto, porém quando a falhas na concretagem e/ou a espessura de cobrimento do concreto sobre a armadura é pequena, a armadura fica exposta, sofrendo corrosão.

As fissuras também facilitam a corrosão das armaduras. A formação de ferrugem é acompanhada de aumento de volume de armadura, provocando ruptura da camada de cobrimento de concreto.

A corrosão das armaduras é acelerada em presença dos agentes agressivos e em zonas marítimas.

Fissuras: as fissuras sob ação de cargas de serviço, normalmente o concreto armado apresenta pequenas fissuras nas zonas tracionadas, com aberturas capilares. Fissuras maiores, facilmente visíveis, podem indicar um comportamento irregular da estrutura ou um excesso de carga (CLÍMACO, 2008).

3.4 Patologia em viaduto de concreto armado

. As patologias na construção civil podem ocorrer por diversos motivos, sendo os principais a falta de projeto, uso de materiais de baixa qualidade, mão de obra sem qualificação e falta de acompanhamento da obra (HELENE; PEREIRA, 2007).

De maneira geral, qualquer elemento da edificação pode apresentar patologias, seja uma cerâmica mal colocada, uma viga mal projetada ou uma parede de alvenaria pintada com a tinta errada. Neste artigo iremos focar nas patologias perceptíveis pelo usuário da edificação, que geralmente causam desconforto e oferecem riscos (LIMA, 2007).

As formas patológicas encontradas são variáveis conforme a sua origem, mas pode-se considerar que com maior frequência encontra-se: Fissuras/trincas, infiltração, carbonatação, lixiviação e corrosão de armaduras

3.5 Fissuras

As fissuras são aberturas ou rachaduras que podem ocorrer em diferentes partes da estrutura do viaduto, como nas lajes, pilares, vigas e juntas. Elas podem ser causadas por diferentes fatores, incluindo sobrecargas, movimentos diferenciais, recalques, retração do concreto, expansão térmica e corrosão de armaduras.

Adverte Fernándes Cánovas (1988) que, no caso das estruturas de concreto armado, a fissuração e trincas são um dos mais importantes sintomas patológicos.

Já no entendimento de Souza (1998), as fissuras podem ser consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto, sendo o dano de ocorrência mais comum aquele que, a par das deformações muito acentuadas, mais chama a atenção dos leigos, proprietários e usuários aí incluídos, para o fato de que algo de anormal está para acontecer conforme demonstra a figura 2 em tipos de fissura em alvenaria.

Destaca-se que as fissuras são ocorrências muito comuns em qualquer edificação e são, portanto, as manifestações que mais chamam a atenção dos usuários. Elas surgem por diversas causas, e é muito importante, que antes de tratar uma fissura ou trinca, se descubra a causa do problema para que ela seja eliminada, já que a fissura ou trinca é apenas uma consequência de algum problema que está ocorrendo.

De acordo com Mourão (2016), todos os elementos com proximidade à edificação, de forma ocasional ou permanente podem de alguma maneira colaborar para o surgimento de patologias que atingem diversos elementos na estrutura de uma construção.

Diversos fatores podem acarretar na formação de fissuras na alvenaria estrutural, os principais e mais comuns mecanismos de formação de fissuras nas paredes de alvenaria estrutural são: Recalque da fundação; sobrecarga de carregamentos; variações térmicas; retração; movimentação higroscópica e reações químicas. Outro fator que ocasiona a formação de fissuras é a utilização de diferentes

tipos de materiais com diferentes propriedades, utilizados em conjunto (THOMAZ, 1989)

Quanto a classificação das fissuras, elas podem ser classificadas dentre outras maneiras, quanto a sua espessura e quanto a sua atividade. Quanto a espessura, as fissuras são classificadas de acordo com sua abertura. Aquelas que apresentam espessura inferior a 0,05 mm são chamadas de microfissuras, as que têm espessura com até 0,5 mm são chamadas de fissuras e, as que apresentam abertura maior que 0,5 mm e menor que 1,0 mm são chamadas de trincas (MOURÃO, 2016).

As fissuras podem ser classificadas em função da sua atividade, elas podem ser ativas ou passivas. As fissuras ativas são aquelas que sofrem alteração da sua espessura à medida que as variáveis que as provocaram sofrem alterações, atuando como juntas induzidas pela estrutura. Se caso elas apresentem um aumento ao longo do tempo pode ser considerado um problema estrutural, onde deve ser determinado através de observações e analises da estrutura. Já as fissuras passivas são consideradas estabilizadas, já que são provenientes de solicitações que não apresentam variações significativas ao longo do tempo (CORSINI, 2010; MOURÃO, 2016).

As fissuras de flexão são verticais, têm início na zona de tração máxima ou na zona de momento fletor máximo e prosseguem até a zona de compressão; eventualmente, quando é grande a deficiência de armadura, as fissuras de flexão podem se estender além do início da zona de compressão. Em vigas, nas proximidades dos centros dos vãos, as fissuras de flexão podem ser encontradas nas faces inferiores, prolongando-se pelas faces laterais; nos apoios podem ser encontradas nas faces superiores, prolongando-se pelas faces laterais (HELENE; PEREIRA, 2007).

As Fissuras verticais podem aparecer na espessura de argamassa vertical entre os blocos ou se desenvolver na vertical, atravessando argamassa e blocos. Na diagonal: desenvolvem-se predominantemente a partir dos vértices das aberturas de portas e janelas.

Frequentemente verificam-se trincas verticais em paredes de concreto que retraem sem qualquer impedimento, tendo abertura máxima na parte superior e, naturalmente restrições em sua base.

3.6 Deterioração do concreto

A deterioração do concreto é uma patologia comum em viadutos, especialmente devido à exposição a agentes agressivos, como ação do gelo e degelo, carbonatação, ataque químico de substâncias corrosivas, como água salina ou produtos químicos, e penetração de umidade. A deterioração pode levar à perda de resistência, desplacamento, desagregação do concreto e exposição das armaduras, aumentando o risco de corrosão.

Em cada um dos principais casos de deterioração das estruturas de concreto, a água está implicada no mecanismo de expansão e fissuração e como veículo de difusão de agentes agressivos.

No caso da lixiviação do concreto, ocorre a dissolução e o arraste do hidróxido de cálcio [Ca(OH)2] da massa endurecida, pela ação do fluxo contínuo da água através da estrutura do material. O potencial hidrogeniônico (pH) do concreto é diminuído, dando lugar à decomposição de outros hidratos, aumentando sua porosidade e facilitando a desintegração (SOUZA & RIPPER, 1998). Surgem como resultado da lixiviação as formações do tipo estalactites e estalagmites.

Conforme MEHTA & MONTEIRO (1994), efeitos químicos deletérios incluem a lixiviação da pasta de cimento por soluções ácidas, reações expansivas envolvendo ataque por sulfatos, reações álcali agregados e corrosão das armaduras no concreto. Efeitos físicos incluem desgaste da superfície, fissuras causadas pela pressão de cristalização de sais nos poros e exposição a temperaturas extremas, tais como congelamento ou fogo. Na prática, vários processos químicos e físicos de deterioração atuam ao mesmo tempo, podendo inclusive reforçar-se mutuamente.

A água pode atacar o concreto, através da lixiviação/hidrólise de componentes da pasta do cimento endurecido, quando entra em contato com a pasta de cimento, tende a hidrolisar ou dissolver os componentes que contém cálcio, causando a diminuição da durabilidade, já que a lixiviação do hidróxido de cálcio–Ca (OH)2 torna o concreto mais poroso e mais permeável, e, portanto, mais suscetível à penetração de agentes agressivos. (MOURÃO, 2016).

O fenômeno da carbonatação do concreto ocorre onde o concreto está exposto à alta concentração de gás carbônico (CO_2) originados do meio atmosférico urbano. O dióxido de carbono penetra nos poros do concreto, dilui-se na umidade presente na estrutura e forma o composto chamado ácido carbônico (H_2CO_3). Este ácido reage

com alguns componentes da pasta de cimento hidratada e resulta em água e carbonato de cálcio (CaCO3). O carbonato de cálcio não deteriora o concreto, porém durante a sua formação consome os álcalis da pasta e reduz o pH (HELENE, OLIVEIRA, 1990)

O concreto normalmente possui pH entre 12,6 e 13,5. Ao se carbonatar, estes números reduzem para valores próximos de 8,5. A carbonatação inicia-se na superfície da estrutura e forma a frente de carbonatação, composta por duas zonas com pH distintas. Esta frente avança em direção ao interior do concreto e quando alcança a armadura ocorre a despassivação do aço e este se torna vulnerável. Quanto menor o cobrimento do concreto mais rápido ocorrerá o ataque à estrutura (mourão, 2016).

De acordo com Mehta e Monteiro (1994) se os poros estiverem preenchidos com água, quase não haverá carbonatação, devido à baixa taxa de difusão do CO2 na água. Caso os poros estejam secos (concreto seco em estufa), o CO2 difundirá entre eles, mas a carbonatação não ocorrerá pela falta de água. Se os poros estiverem parcialmente preenchidos com água, a frente de carbonatação avançará até profundidades onde os poros apresentem esta condição favorável.

Deve-se ter em mente que a profundidade de carbonatação é crescente nas bordas e fissuras, tendo-se cuidado na escolha do local do teste. É interessante que os resultados estejam acompanhados da inspeção da espessura de cobrimento das armaduras para que uma avaliação do grau de despassivação possa ser feita (MOURÃO, 2016).

Carmona Filho (2000) ressalta que o fato da armadura estar envolvida por concreto carbonatado não representa necessariamente que as barras estejam corroídas, pois podem estar em equilíbrio eletroquímico, porém instável, com risco de desencadeamento de um processo corrosivo.

3.7 Corrosão das armaduras

A corrosão das armaduras é uma das patologias mais preocupantes em viadutos. Ela ocorre quando as armaduras de aço do concreto armado entram em contato com agentes corrosivos, como a umidade e os sais presentes no ambiente. A corrosão causa a expansão do aço, resultando em fissuras, desplacamento do concreto e perda de capacidade estrutural.

Helene (2012) define a corrosão das armaduras de concreto como um fenômeno de natureza eletroquímica que pode ser acelerado pela presença de agentes químicos externos ou internos ao concreto. No concreto armado, o aço encontra-se no interior de um meio altamente alcalino no qual estaria protegido do processo de corrosão devido à presença de uma película protetora de caráter passivo.

Um dos produtos de hidratação do cimento é a portlandita, hidróxido de cálcio [Ca(OH)2], que confere ao concreto um pH por volta de 12,5, envolvendo a armadura em meio alcalino. Esta alcalinidade fornece resistência à corrosão, mesmo em ambientes onde a corrosão é favorável.

A corrosão das armaduras apresenta-se na maioria das estruturas de concreto deterioradas. Assim que se inicia o processo, a taxa de corrosão é controlada pela condutividade do concreto, pela diferença de potencial entre as áreas catódicas e anódicas e pela taxa de oxigênio que alcança o catodo (FUSCO, 2008).

Os danos causados pela corrosão de armadura geralmente são manifestados por fissuras no concreto paralelas à direção da armadura, delimitando e ou desprendendo o recobrimento. Em componentes estruturais que apresentam uma elevada quantidade de umidade, os primeiros sintomas de corrosão evidenciam-se por meio de manchas de óxido nas superfícies do concreto. Ao produzir-se por efeito da corrosão óxido expansivo, com aumento de volume de aproximadamente oito a dez vezes do volume original, criam-se fortes tensões no concreto, que levam a que este se rompa por tração, apresentando fissuras que seguem as linhas das armaduras principais e, inclusive, dos estribos, se a corrosão foi muito intensa (FERNÁNDES CÁNOVAS, 2008).

Uma adequada durabilidade do concreto das estruturas “depende de sua fabricação com materiais não expansivos e de sua capacidade de resistir às agressões provenientes do meio externo” (FUSCO, 2008, p. 48). A corrosão do concreto provoca a sua deterioração, afetando a estabilidade e a durabilidade das estruturas. A armadura não é suscetível de sofrer corrosão, a não ser que ocorram contaminação e deterioração do concreto.

Os constituintes do concreto impedem a corrosão do material metálico resistindo à entrada de contaminantes. Dessa forma, quanto mais o concreto se mantiver inalterado, mais protegida estará a armadura. Gentil (2003) leva em consideração que a corrosão e a deterioração observadas em concreto podem estar associadas a fatores mecânicos, físicos, biológicos ou químicos.

Monteiro et al. (2000) afirmam que o grande esforço de pesquisa para melhoria da microestrutura do concreto possibilitou a obtenção de estruturas de concreto resistentes à corrosão. Entretanto, pouco tem sido pesquisado quanto ao aço, de forma a se obter um melhor desempenho à corrosão.

O uso de misturas inibidoras de corrosão, a pintura epóxi das armaduras e a proteção catódica são basicamente os maiores avanços tecnologicamente conhecidos como o propósito de aumentar a vida útil das estruturas de concreto armado expostas a ambientes corrosivos.

3.8 Recalque

(SILVA, 1998) cita que o recalque de fundação em viadutos refere-se ao assentamento diferencial que ocorre nas fundações dessas estruturas devido a diversas razões, como o peso da própria estrutura, a carga do tráfego, a variação das condições do solo, entre outros fatores.

Os recalques de fundação podem ser causados por vários mecanismos, tais como a compressibilidade do solo, o adensamento, a compactação diferencial do solo, a presença de camadas de solo de diferentes características e a presença de água. Esses fatores podem levar a uma distribuição desigual das cargas sobre as fundações, resultando em recalques diferenciais.

Para evitar ou mitigar os recalques em viadutos, são realizados estudos geotécnicos e projetos de fundações adequados. É importante avaliar as características do solo e considerar medidas como o uso de estacas, sapatas, lajes de distribuição de carga, entre outros elementos estruturais, para distribuir as cargas de forma mais uniforme e minimizar os recalques diferenciais.

Além disso, a manutenção regular das fundações e a monitorização dos recalques ao longo do tempo são práticas importantes para identificar e tratar quaisquer problemas que possam surgir. Engenheiros geotécnicos e estruturais são os profissionais responsáveis por projetar e acompanhar a construção de viadutos, levando em consideração os aspectos geotécnicos para garantir a estabilidade e a segurança dessas estruturas.

3.8.1 Recalque diferencial

A diferença entre os recalques de dois elementos de uma fundação denomina-se recalque diferencial. O recalque diferencial impõe distorções aos elementos estruturais das edificações de tal forma que, dependendo de sua magnitude, poderão gerar fissuras ou trincas na mesma (SILVA, 1998).

Diversos estudos de campo já foram desenvolvidos para se investigar o grau dos danos promovidos aos edifícios, pela ocorrência de recalques diferenciais, considera para diferentes distorções angulares, diferentes possibilidades de danos. Silva (1998)

3.8.2 Fissuras proveniente de recalque

O problema mais comum decorrente de um recalque de fundações é o aparecimento de fissuras, tanto em elementos de fechamento quanto em peças estruturais. É importante salientar que fissuras em paredes nem sempre são devidas às fundações. Assim sendo, o surgimento de uma fissura precisa ter um diagnóstico confirmado antes de qualquer intervenção.

Quando o recalque diferencial se localiza numa extremidade do prédio, Thomaz (2001) explica que primeiro aparecem fissuras inclinadas e depois uma rachadura vertical no limite entre a região que está recalcando e a que está imóvel. Os recalques geralmente se tornam visíveis primeiro nas paredes, mas quando se acentuam, as vigas e cintas de fundação podem apresentar problemas aparecendo fissuras típicas de esforços de cisalhamento ou flexão.

Para mensurar o avanço das fissuras aplica-se selos de gesso ou lamínulas de vidro bem finas, usadas em microscopia, sobre as fissuras. Estes materiais são bastante frágeis, quebrando com facilidade se houver qualquer alteração na abertura. Podem também ser utilizados, aparelhos denominados fissurômetros, com precisão mínima de 0,1mm (THOMAZ, 2001).

3.8.3 Causa de recalque

• Rebaixamento do Lençol Freático: caso haja presença de solo compressível no subsolo, ocorre aumento das pressões geostáticas nessa camada, independente da aplicação de carregamentos externos;

• Solos Colapsíveis: Solos de elevadas porosidades, quando entram em contato com a água, ocorre a destruição da cimentação inter granular, resultando um colapso súbito deste solo;

• Escavações em áreas adjacentes à fundação mesmo com paredes ancoradas, podem ocorrer movimentos, ocasionando recalques nas edificações vizinhas;

• Vibrações oriundas da operação de equipamentos como: bate-estacas, rolos-compactadores vibratórios, tráfego viário etc.;

• Escavação de Túneis: qualquer que seja o método de execução, ocorrerão recalques da superfície do terreno (SILVA, 1998, p. 14).

3.8.4 Norma brasileira de recalque

De acordo com a ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6122 NBR 6122:2022 – Projeto e Execução de Fundações é considerado como um movimento vertical descendente de um elemento estrutural. Quando o movimento for ascendente, denomina-se levantamento. Convenciona-se representar o recalque com o sinal positivo.

Prevenção de recalques diferenciais.

Os objetivos principais dos métodos preventivos de compactação e adensamento prévio das camadas de solos menos resistentes são:

• Diminuir a porosidade

• Elevar a resistência

• Minimizar os recalques primários (no caso de solos colapsíveis).

• Diminuir os efeitos prejudiciais de recalques secundários aos sistemas estruturais das edificações (no caso de solos argilosos moles)

3.9 Outras ações

Desgaste de juntas de dilatação: As juntas de dilatação são elementos projetados para acomodar a expansão e a contração térmica do viaduto. Com o tempo, essas juntas podem sofrer desgaste devido ao tráfego, vibrações e movimentos da estrutura. O desgaste das juntas pode levar a problemas como infiltração de água, desalinhamento e deslocamento das placas, o que compromete a integridade estrutural.

Instabilidade estrutural: A instabilidade estrutural pode ocorrer devido a falhas no projeto, falta de manutenção adequada, carregamentos excessivos ou eventos extremos, como terremotos. Essa patologia pode resultar em colapso parcial ou total da estrutura do viaduto, representando um risco grave para a segurança pública.

É importante destacar que a identificação precoce das patologias em viadutos, juntamente com a implementação de medidas corretivas adequadas, é essencial para garantir a segurança e a funcionalidade contínua da estrutura. Para isso, é fundamental contar com inspeções regulares, avaliações estruturais, manutenção preventiva e reparos oportunos por parte de profissionais especializados em engenharia civil e estrutural.

4 SISTEMA CONSTRUTIVO DE VIADUTO

No sistema construtivo de um viaduto em concreto armado, são utilizados diferentes elementos estruturais, tais como pilares, vigas, lajes, estacas de fundação, entre outros. Esses elementos são projetados para suportar as cargas provenientes dos veículos, bem como as cargas devido ao próprio peso da estrutura.

4.1 Pilares

Existem diferentes sistemas construtivos para pilares de viaduto, e a escolha depende do projeto, das especificações e das condições locais.

Pilares moldados *"in loco":* Nesse sistema, os pilares são construídos diretamente no local da obra. As formas temporárias são montadas para dar a forma desejada aos pilares, e o concreto é então colocado nas formas e deixa-se curar antes de remover as formas. Esse sistema permite a adaptação do projeto às condições específicas do local e a flexibilidade na geometria dos pilares.

Pilares pré-moldados: Nesse sistema, os pilares são fabricados fora do local da obra, em uma fábrica ou central de pré-moldados. Eles são transportados para o local da construção e instalados de acordo com o projeto. Esse sistema oferece vantagens como maior controle de qualidade, rapidez na execução e redução dos impactos no tráfego durante a construção.

Pilares mistos: Esse sistema combina elementos pré-moldados e moldados "in loco". Por exemplo, a parte inferior do pilar pode ser pré-moldada e a parte superior moldada no local. Essa abordagem pode proporcionar eficiência construtiva, permitindo a combinação de elementos pré-fabricados com as características específicas necessárias em cada parte do pilar.

4.2 Vigas

Existem diferentes sistemas construtivos para vigas de viaduto, e a escolha depende do projeto, das condições locais e dos requisitos específicos. Alguns dos sistemas construtivos mais comuns incluem:

Vigas pré-fabricadas: Nesse sistema, as vigas são fabricadas fora do local de construção, em uma fábrica ou central de pré-moldados. Elas são transportadas para

o local da obra e instaladas utilizando equipamentos apropriados, como guindastes. Esse sistema permite uma construção mais rápida e controlada, reduzindo o tempo e os impactos no tráfego durante a execução.

Vigas moldadas *"in loco":* Nesse sistema, as vigas são construídas no próprio local da obra, utilizando formas temporárias para dar a forma desejada. O concreto é então colocado nas formas, envolvendo as armaduras, e deixa-se curar antes da desforma. Esse sistema é mais utilizado quando as vigas possuem geometria complexa ou quando é necessário adaptar o sistema construtivo às condições específicas do local.

4.3 Lajes

O sistema construtivo de lajes de viaduto também pode variar dependendo do projeto, das especificações e das técnicas adotadas.

Lajes pré-moldadas: Nesse sistema, as lajes são fabricadas fora do local da obra, em uma fábrica ou central de pré-moldados. Elas são transportadas para o local da construção e instaladas no posicionamento adequado. Esse sistema oferece vantagens como maior controle de qualidade, rapidez na execução e redução dos impactos no tráfego durante a construção.

Lajes moldadas *"in loco":* Nesse sistema, as lajes são construídas diretamente no local da obra, utilizando formas temporárias para dar a forma desejada. O concreto é então colocado nas formas e deixa-se curar antes de remover as formas. Esse sistema é mais utilizado quando são necessárias lajes de formas complexas, espessuras variáveis ou quando é necessário adaptar o sistema construtivo às condições específicas do local.

Lajes protendidas: Nesse sistema, as lajes são reforçadas com cabos de aço ou barras de aço protendidas. A protensão é aplicada antes de a laje estar sujeita às cargas de serviço, criando uma força de compressão na laje para neutralizar as tensões de tração resultantes das cargas. Isso melhora a resistência e o desempenho das lajes, permitindo a redução da espessura e o aumento do vão livre dos viadutos.

Lajes nervuradas: Nesse sistema, as lajes são projetadas com nervuras (vigotas) que aumentam a rigidez e a capacidade de carga da laje. As nervuras podem ser de concreto armado ou pré-moldadas, e o espaço entre elas é preenchido com

concreto. Esse sistema permite uma redução na quantidade de concreto utilizado e proporciona lajes mais leves.

4.4 Estacas de fundação

O sistema construtivo de estacas de fundação de viadutos varia de acordo com as condições do solo, o tipo de carga a ser suportada e outros fatores geotécnicos. Abaixo estão alguns dos sistemas construtivos comumente utilizados para estacas de fundação de viadutos:

Estacas pré-moldadas cravadas: Nesse sistema, as estacas são fabricadas previamente e transportadas para o local da obra. Elas são cravadas no solo usando equipamentos adequados, como martelos hidráulicos ou vibratórios. Esse sistema é eficiente em termos de tempo de execução e adequado para solos que permitem cravação, como areias e argilas moles.

Estacas pré-moldadas perfuradas e concretadas "in loco": Nesse sistema, as estacas são pré-moldadas e transportadas para o local da obra. Um furo é perfurado no solo utilizando uma perfuratriz, e à estaca é então inserida no furo. Em seguida, o concreto é despejado no furo para preencher o espaço entre a estaca e o solo circundante. Esse sistema é adequado para solos que não permitem a cravação das estacas.

Estacas escavadas: Nesse sistema, o solo é escavado para a criação de um furo de estaca. Após a escavação, à estaca é inserida no furo e, em seguida, o concreto é despejado. Durante o processo de concretagem, é comum utilizar revestimentos temporários para evitar o desmoronamento das paredes do furo. Esse sistema é adequado para solos mais coesivos e estratificados.

Estacas hélice contínua: Nesse sistema, uma broca com uma hélice contínua é utilizada para perfurar o solo e, simultaneamente, o concreto é injetado através da haste central da broca. Após atingir a profundidade desejada, uma armadura de aço é inserida na estaca. Esse sistema é adequado para solos coesivos e arenosos.

Estacas de tubulão: Nesse sistema, um furo é escavado no solo e, em seguida, é inserido um tubo de concreto armado. O concreto é despejado no tubo e a armadura é posicionada. Esse sistema é adequado para solos mais coesivos e para situações em que é necessário atravessar camadas de solo resistente.

5 VISTORIA TÉCNICA VIADUTO

A vistoria técnica em um viaduto é um processo essencial para avaliar o estado de conservação, a segurança e a integridade estrutural da infraestrutura. Essa vistoria é realizada por engenheiros especializados, com conhecimento em engenharia civil e estrutural, e tem como objetivo identificar possíveis patologias, defeitos ou problemas que possam comprometer a estabilidade e o desempenho do viaduto.

Durante a vistoria técnica de um viaduto, são realizadas as seguintes atividades:

Inspeção visual: Os engenheiros realizam uma inspeção visual detalhada de todos os elementos do viaduto, como lajes, pilares, vigas, juntas, guarda-corpos, fundações e elementos de drenagem. Eles verificam o estado geral da estrutura, observando a presença de fissuras, desplacamentos, deterioração do concreto, corrosão das armaduras, desgaste das juntas de dilatação, entre outros possíveis problemas.

Medição e registro de dados: Durante a vistoria, são realizadas medições de deformações, inclinações, aberturas de fissuras e outros parâmetros relevantes. Esses dados são registrados para análises posteriores e comparações com possíveis vistorias anteriores.

Avaliação estrutural: Com base na inspeção visual e nos dados coletados, os engenheiros realizam uma avaliação estrutural do viaduto. Eles analisam a capacidade de carga, a estabilidade, a resistência e a integridade da estrutura, levando em consideração as normas e os critérios técnicos aplicáveis.

Identificação de patologias: Durante a vistoria, são identificadas as patologias presentes no viaduto, como fissuras, corrosão, desgaste de juntas, desplacamentos, entre outros. É feita uma descrição detalhada dessas patologias, incluindo sua localização, extensão e gravidade.

Recomendações e medidas corretivas: Com base nas informações coletadas e na análise estrutural, são feitas recomendações e propostas de medidas corretivas para solucionar as patologias identificadas. Isso pode envolver reparos localizados, reforço estrutural, substituição de elementos danificados, melhorias na drenagem, entre outras ações.

Após a vistoria técnica, um relatório é elaborado, descrevendo todas as informações coletadas, as patologias identificadas, a avaliação estrutural realizada e

as recomendações de manutenção e reparo. Esse relatório é uma ferramenta importante para orientar as ações de manutenção e conservação do viaduto, visando garantir sua segurança e prolongar sua vida útil.

5.1 Norma de inspeção NBR 9452:2019

No Brasil, a norma técnica que estabelece os requisitos para a inspeção de viadutos é a NBR 9452:2019 - Inspeção de Pontes e Viadutos de Concreto. Essa norma, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), estabelece diretrizes para a inspeção visual, avaliação e documentação das condições de pontes e viadutos de concreto, com o objetivo de identificar possíveis patologias, avaliar a integridade estrutural e definir as ações de manutenção adequadas.

A NBR 9452:2019 define os procedimentos e critérios para a inspeção, classificação e avaliação do estado de conservação de pontes e viadutos, abrangendo diversos aspectos, como a inspeção visual dos elementos estruturais, a identificação de patologias, a análise das condições de serviço e segurança, e a elaboração de relatórios de inspeção.

Essa norma estabelece requisitos mínimos para a inspeção, incluindo:

Frequência de inspeção: Define a periodicidade recomendada para a realização das inspeções, considerando fatores como a idade da estrutura, o tráfego, o ambiente e a ocorrência de eventos extremos.

Critérios de avaliação: Define critérios para classificar e avaliar as condições da estrutura, incluindo a identificação de patologias, o dimensionamento dos danos, a análise de segurança e a determinação da vida útil remanescente.

Relatório de inspeção: Estabelece os requisitos para a elaboração do relatório de inspeção, incluindo a documentação fotográfica, a descrição das patologias encontradas, a análise de risco e as recomendações de manutenção e reparo.

Tipos de inspeção: Estabelece os diferentes tipos de inspeção que podem ser realizados, como a inspeção visual geral, inspeção especializada, inspeção funcional, entre outros.

De acordo com a norma, Inspeção cadastral, é a primeira inspeção realizada na obra e deve ser efetuada imediatamente após sua conclusão, instalação ou assim que se integra a um sistema de monitoramento e acompanhamento viário. Deve

também ser realizada quando houver alterações na configuração da obra, como alargamento, acréscimo de comprimento, reforço, mudança no sistema estrutural.

Inspeção rotineira Inspeção de acompanhamento periódico, visual, com ou sem a utilização de equipamentos e/ou recursos especiais para análise ou acesso, realizado em prazo não superior a um ano. Na inspeção rotineira deve ser verificada a evolução de anomalias já observadas em inspeções anteriores, bem como novas ocorrências, reparos e/ou recuperações efetuadas no período.

Inspeção especial, a inspeção especial deve ter uma periodicidade de cinco anos, podendo ser postergada para até oito anos, desde que se enquadre concomitantemente aos seguintes casos:

a) obras com classificação de intervenção de longo prazo (notas de classificação 4 e 5, conforme Tabela 1);

b) obras com total acesso a seus elementos constituintes na inspeção rotineira.

Inspeção extraordinária, a inspeção extraordinária é gerada por uma das demandas não programadas a seguir, associadas

ou não:

a) necessidade de avaliar com mais critério um elemento ou parte da OAE, podendo ou não ser

gerada por inspeção anterior;

b) ocorrência de impacto de veículo, trem ou embarcação na obra;

c) ocorrência de eventos da natureza, como inundação, vendaval, sismo e outros.

6 ESTUDO DE CASO VIADUTO

Inspeção de rotina viaduto férreo na cidade de Sorocaba

VISTORIA TÉCNICA VIADUTO

Objeto:

Viaduto férreo (Praça Lions), localizada entre a Av. Dom Aguirre e Av. Dr. Afonso Vergueiro. Esta inspeção de rotina foi designada para apontar patologia existente na estrutura.

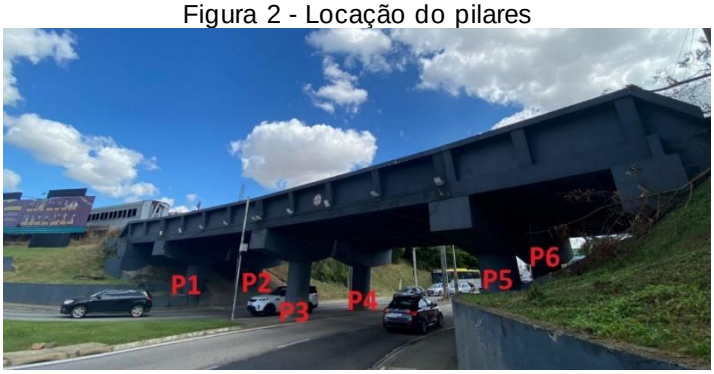
Figura 1 - Vista aérea viaduto férreo (Praça Lions)

Fonte: Google maps dados do mapa 2023

Locação de pilar:

O viaduto é composto por 6 pilares distribuídos linearmente em pares com um vão entre ele, conforme figura 2

Figura 2 - Locação do pilares



Fonte: Foto do autor 2023

Registro de patologia no viaduto (Praça Lions):

Fissura na viga de sustentação do caixão do viaduto próximo ao pilar 6, dentro da fissura presença de vegetação, conforme figura 3.

Figura 3 - Fissura

Fonte: Foto do autor 2023

Pilar 3 com perda de cobrimento do concreto deixando a armadura exposta, armadura exposta em corrosão com pintura incorreta sobre a patologia, conforme figura 4.

Figura 4 – Armadura exposta

Fonte: Foto do autor 2023

Pilar 6 com perda de cobrimento do concreto com a armadura, deixando exposto armadura em estado de corrosão, conforme figura 5

Figura 5 – Armadura exposta

Fonte: Foto do autor 2023

Pilar 6 com perda de cobrimento do concreto com a armadura, pintura incorreta sobre a parte exposta, conforme figura 6.

Figura 6 – Perda de cobrimento

Fonte: Foto do autor 2023

Base do pilar 1 com perda de cobrimento do concreto com a armadura em estado avançado de corrosão, armadura exposta em corrosão com pintura incorreta sobre a armadura exposta, conforme figura 7.

Figura 7 – Armadura exposta em corrosão

Fonte: Foto do autor 2023

Viga do pilar 1 com desplacamento do concreto sobre a armadura, deixando sem cobrimento em estado avançado de corrosão na armadura, pintura incorreta sobre a armadura exposta, conforme figura 8.

Figura 8 – Armadura exposta

Fonte: Foto do autor 2023

Viga do pilar 4 com desplacamento de concreto sobre a armadura, deixando sem cobrimento e em estado avançado de lixiviação e corrosão da armadura, pintura incorreta sobre a armadura exposta, conforme figura 9.

Figura 9 – Desplacamento com armadura exposta

Fonte: Foto do autor 2023

Próximo ao pilar 2 com parte do fundo do caixão com lixiviação deixando com perda de cobrimento da armadura, armadura em estado de corrosão com pintura incorreta sobre a armadura, conforme figura 10.

Figura 10 – Lixiviação

Fonte: Foto do autor 2023

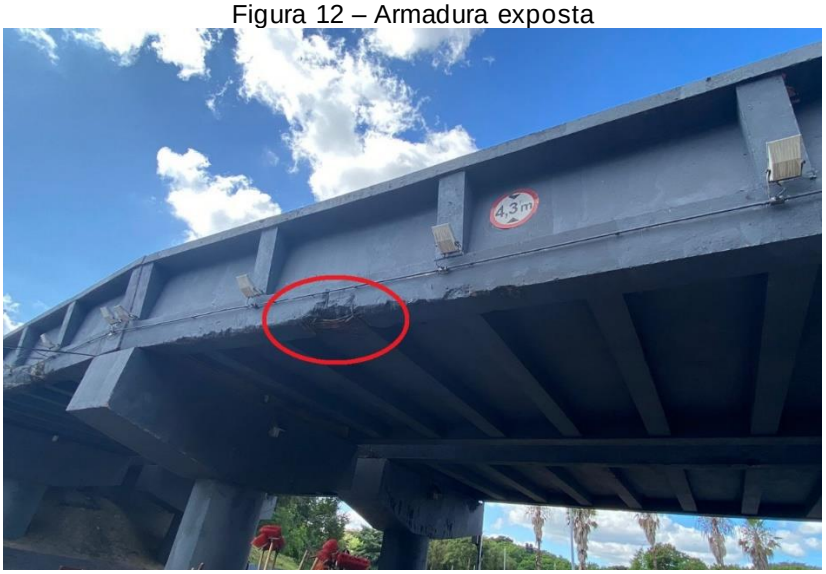
Próximo ao pilar 6 com parte da estrutura de alvenaria da base do viaduto está em estado de ruina, conforme figura 11.

Figura 11 – Alvenaria em ruina

Fonte: Foto do autor 2023

Entre o pilar 2 e pilar 4 na viga caixão está com a armadura exposta devido a choque de veículos com medida superior à altura da estrutura, pintura incorreta sobre a armadura exposta, conforme figura 12.

Figura 12 – Armadura exposta



Fonte: Foto do autor 2023

Entre o pilar 4 e pilar 6 na viga caixão está com a armadura exposta, devido a choque de veículos com medida superior à altura da estrutura, pintura incorreta sobre a armadura exposta, conforme figura 13.

Figura 13 - Armadura exposta

Fonte: Foto do autor 2023

Viga do pilar 1 com presença de eflorescência, conforme figura 14.

Figura 14 - Lixiviação

Fonte: Foto do autor 2023

Viga de apoio do pilar 6 com eflorescência e com a armadura sem cobrimento em estado de corrosão, conforme figura 15.

Figura 15 - Armadura exposta

Fonte: Foto do autor 2023

Viga de apoio do pilar 5 com a armadura sem cobrimento e em estado avançado de corrosão, desplacamento e fissura, conforme figura 16.

Figura 16 - Armadura exposta e desplacamento

Fonte: Foto do autor 2023

Viga do pilar 2 com a armadura sem cobrimento e em estado de corrosão, pintura incorreta sobre a armadura exposta, conforme figura 17.

Figura 17 - Armadura exposta

Fonte: Foto do autor 2023

Lateral direta e lateral esquerda da viga do pilar 1 com a armadura sem cobrimento e em corrosão com pintura incorreta sobre a armadura exposta, conforme figura 18.

Figura 18 - Armadura exposta

Fonte: Foto do autor 2023

Presença de muita vegetação na região dos drenos, ocasionando o entupimento e acumulo de agua sobre a parte superior do viaduto, conforme figura 19

Figura 19 – Drenos obstruídos

Fonte: Foto do autor 2023

7 METODO DE RESTAURAÇÃO DAS PATOLOGIAS

Existem vários métodos de recuperação de patologias do concreto armado, dependendo da natureza e extensão do problema. Sugestão de alguns dos métodos comuns de recuperação utilizados na indústria da construção civil.

Preparação da superfície afetada, removendo todas as partes soltas, contaminantes e corrosão visível da superfície do concreto ao redor da armadura exposta, limpar e preparar a área, preparar uma proteção contra corrosão aplicando um agente anticorrosivo na armadura exposta, agentes anticorrosivos comumente podem ser primers epóxi, inibidores de corrosão ou revestimentos específicos projetados para proteger as armaduras contra a umidade e a corrosão, reparo do concreto ao redor da armadura exposta isso pode envolver a aplicação de argamassa de reparo, concreto projetado, concreto de reparo com aditivos especiais ou materiais compósitos para restaurar a integridade estrutural. Indicado o possível reparo nas anomalias da figura números 2,3,4,5,6,7,8,9,10,12,13,15,16,17 e 18.

A recuperação por carbonatação acelerada, esse método envolve a aplicação controlada de dióxido de carbono (CO2) na superfície do concreto para acelerar o processo natural de carbonatação. Isso aumenta o pH do concreto, o que pode ajudar a reduzir a corrosão das armaduras. Indicado o possível reparo nas anomalias da figura número 15.

Proteção adicional, depois que o reparo estiver concluído, é recomendável aplicar uma camada de proteção adicional na superfície, como um revestimento de polímero, pintura ou sistema de impermeabilização. Essa camada adicional ajudará a proteger o concreto e a armadura contra a exposição contínua a agentes agressivos.

A recuperação de alvenaria quebrada da figura 11 com a remoção do material danificado da alvenaria, utilizando um material de reparo adequado para preencher a área danificada com novos blocos de concreto com a argamassa apropriada e finalizando com a pintura.

A limpeza regular dos drenos de um viaduto é de extrema importância por várias razões:

Na figura 19 indicado fazer a limpeza dos drenos para garantir a drenagem adequada da água da chuva, prevenir inundações, evitar o acúmulo de água e impedir a corrosão das armaduras, contribuindo para a durabilidade, integridade estrutural e segurança geral do viaduto.

8 RESULTADO

A inspeção do viaduto, resultou na constatação de algumas manifestações patológicas em diversos pontos, durante a inspeção e avaliação da estrutura do viaduto foi encontrado algumas anomalias, como: fissuras, corrosão das armaduras, carbonatação da armadura, lixiviação do concreto, degradação do concreto, desplacamento, infiltração de água, eflorescência nos pilares de sustentação, desgaste superficial da viga de sustentação por causa dos caminhões que por falta de sinalização da altura do viaduto acabam batendo seu baú na viga.

Mesmo que não haja risco iminente de colapso, é uma medida importante para garantir a segurança e a durabilidade, a realização de uma inspeção minuciosa periodicamente para identificar e classificar as patologias presentes no viaduto e recomendações de reparo e manutenção com base nos resultados da análise, implementar medidas de manutenção corretivas e preventivas para evitar a progressão das patologias existentes e prevenir o surgimento de novas patologias.

9 CONCLUSÃO

Após analisar as patologias que podem afetar o concreto, é possível concluir que a compreensão desses problemas é fundamental para garantir a durabilidade e a segurança das estruturas. Ao longo do trabalho, foi discutido algumas das principais patologias encontradas no concreto armado, como a corrosão das armaduras e desplacamentos, ao inspecionar o viaduto com algumas armaduras em corrosão, conclui-se que a corrosão das armaduras representa um problema significativo que requer atenção e ação imediata. A presença de armaduras corroídas em um viaduto é preocupante, uma vez que as armaduras desempenham um papel crucial na sustentação e resistência da estrutura, o desplacamento resulta em deterioração e perda de resistência estrutural.

A implementação de medidas preventivas, como vistorias e o uso de materiais de qualidade, a aplicação de técnicas construtivas adequadas e a manutenção regular, são fundamentais para minimizar a ocorrência dessas patologias.

No entanto, é importante ressaltar que a prevenção e o tratamento das patologias no concreto exigem uma abordagem abrangente, envolvendo desde o projeto até a construção e a manutenção. A conscientização dos profissionais da construção, a capacitação técnica e a adoção de padrões de qualidade são cruciais para evitar e lidar efetivamente com as patologias no concreto.

Em resumo, a compreensão das patologias no concreto é essencial para garantir a integridade e a longevidade das estruturas e adoção de medidas preventivas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, J. E. **Durabilidade, proteção e recuperação das estruturas**. Notas de aula. Especialização em Construção Civil (Especialização / Aperfeiçoamento) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

AMARAL, J. C. **Tensões originadas pela retração em elementos de concreto com deformação restringida considerando-se o efeito da fluência**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

ANDRADE, Carmen. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras.** São Paulo: Pini, 1992.

ARALDI, E. **Reforço de pilares por encamisamento de concreto armado: Eficiência de métodos de cálculo da capacidade resistente comparativamente a resultados experimentais**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 2. ed. Rio Grande, 2014.v.2.

ARQUEZ, A. N. **Aplicação de laminado de polímero reforçado com fibras de Carbono (PRFC) inserido em substrato de microconcreto com fibras de aço para reforço à flexão de vigas de concreto armado.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 6118:2014 Projeto de estruturas de concreto — Procedimento.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122:2022 Projeto e execução de fundações.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 9452:2019 Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto – Procedimento**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15692:2020 Dispositivos auxiliares — Cilindro canalizador de tráfego.**

AZEREDO, H. A. de (1997). **O edifício até sua cobertura.**Ed Edgard Blucher LTDA, 2ª Ed.

BASTOS, P. S. S. **Apostila de lajes de concreto**. 2013. Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2013.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado.** Tradução e adaptação de: Maria Celeste Marcondes et al., coordenação técnica L. A. Falcão Bauer. São Paulo: Editora PINI,1988.

CANOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. 1 Ed. Tradução de M. C. Marcondes; C. W. F. dos Santos; B. Cannabrava. São Paulo: Ed. Pini, 2008.

CLÍMACO, J. C. T. D. S. **Estruturas de concreto armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação. 2ª**. ed. Brasília: UnB, 2008. v. 1.

CORSINI, R; MOURÃO Trinca ou fissura 2010. **Artigo – Revista Téchine**. Disponível em:http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/160/trinca-ou-fissura-como-seoriginam-quais-os-tipos-179241-1.asp.Acesso em 15 mar 2023.

FRANCO, M.; VASCONCELOS, A.C. (1991). **Pratical assessment of second order effects in tall buildings**. In: COLLOQUIUM ON THE CEB-FIP MC 90, Rio de Janeiro. Proceedings... Rio de Janeiro : COPPE/UFRJ, 1991. p.307- 324.

FUSCO, P. B. **Estruturas de concreto: Solicitações Tangenciais.** 1ª. ed. São Paulo: PINI, 2008.v.1.

Graziano. Prof.Francisco Paulo .**Recuperação de Estruturas** – EPUSP – PEF - texto de 2005.

GUERRIN ; QUEIROZ; SILVA; FAURE, CARVALHO DOI:**Clio Arqueológica** , V33N1, p.10-25 10.20891/clio.V33N1p10-25.

HELENE, Paulo. ANDRADE, Tibério. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** São Paulo: Ibracon, 2007. V2, Cap. 27, p. 905 -944.

ISAIA, Geraldo C. (Ed.). **Concreto: ciência e tecnologia**. v.1. São Paulo: Ibracon, 2011.

LIMA, J. M.; PACHA, J. R. S**. Patologias das estruturas de concreto armado com ênfase à execução**. Centro Tecnológico da Universidade Federal do Pará. Belém.

MILITITSKY, J.; SCHINAID MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MILITITSKY, J.; SCHINAID, F. **Patologias das Fundações**. 1ª. ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2005. 191p.

MONTEIRO, P. J. M. et al.. Pesquisas sobre a Durabilidade do Concreto Realizadas em Berkeley. In:JORNADAS SUDAMERICANAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, XXIX, 2000, Punta Del Este,**Memórias**... Punta Del Este: [S.d], 2000.

MOREIRA, Vicente C; RIPPER, Thomaz; SOUZA. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Atlas, 1998.

NEVILLE, A. **Tecnologia do concreto**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

OLIVEIRA, A. M; HELENO, PAULO - **Fissuras, Trincas e Rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. 2012. 54f. Monografia (Especialização em Gestão de avaliações e perícias) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PADARATZ, Ivo José. Notas de aula – **Patologia das Edificações**. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2000.

RIBEIRO, D. et al. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, controle e Métodos de Análise.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SILVA, Denise A., Notas de Aula – **Patologia das Construções. Universidade Federal de Santa Catarina,** Florianópolis-SC, 1998.

STOUHI, DIMA. **A história da arquitetura: do Neolítico à Mesopotâmia e Egito Antigo** [History of Architecture: Megaliths, Mesopotamia, and Ancient Egypt] Mai 2020. ArchDaily Brasil.

THOMAZ, Ércio. **Tecnologia**, Gerenciamento e Qualidade na Construção. IPT/EPUS/PINI, São Paulo-SP, 2001.

TUTIKIAN, B; PACHECO; M. Boletín **Técnico - Inspección, Diagnóstico y Prognóstico en la Construcción Civil**. Merida, 2013.

TUTIKIAN, B. F. T. ; BOLINA, F. L. B. ; HELENE, P. R. L. H. **Patologia das Estruturas**. 2019. São Paulo.

VITRUVIO, M. P. **Arquitectura II: Libros VI-X** (Biblioteca Clásica Gredos nº 422) (Spanish Edition) eBook Kindle Edição Espanhol . Gredos.