



**CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LEON PEDRO JOSÉ SOUZA SILVA  
VINICIUS BARBOZA SANTOS**

**ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA DO AVANÇO PATOLÓGICO NAS PONTES DE  
CONCRETO ARMADO**

**RECIFE-PE**

**2023**

**LEON PEDRO JOSÉ SOUZA SILVA  
VINICIUS BARBOZA SANTOS**

**ANÁLISE BIBLIOGRÁFICA DO AVANÇO PATOLÓGICO NAS PONTES DE  
CONCRETO ARMADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Disciplina TCC II do Curso de Engenharia Civil do  
Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA, como  
parte dos requisitos para conclusão do curso.

Orientador: Dr. Janilson Alves Ferreira

**RECIFE-PE  
2023**

Ficha catalográfica elaborada pela  
bibliotecária: Dayane Apolinário, CRB4- 2338/ O.

G633i Silva, Leon Pedro José Souza.  
Análise bibliográfica do avanço patológico nas pontes de concreto armado/ Leon Pedro José Souza Silva; Vinicius Barboza Santos. - Recife: O Autor, 2023.  
28 p.

Orientador(a): Dr. Janilson Alves Ferreira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA. Bacharelado em Engenharia Civil, 2023.

Inclui Referências.

1. Pontes. 2. Concreto. 3. Estruturas. 4. Manutenção. 5. Reabilitação. I. Santos, Vinicius Barboza. II. Centro Universitário Brasileiro. - UNIBRA. III. Título.

CDU: 624

## RESUMO

Neste trabalho, foi realizado uma análise bibliográfica abrangente do avanço patológico em pontes de concreto armado, explorando os principais tipos de patologias e desafios enfrentados na preservação e manutenção dessas estruturas essenciais. Foi examinado a literatura disponível sobre os diferentes tipos de danos e deterioração que afetam as pontes de concreto armado, destacando as causas, consequências e mecanismos de deterioração, assim como a qualidade e escolha dos materiais utilizados na construção. Ao longo do trabalho, foi investigado as metodologias de identificação de danos e estratégias de reabilitação existentes na literatura científica. Além disso, foi discutido os avanços recentes em pesquisas e práticas de engenharia voltadas para a prevenção e mitigação de problemas patológicos em pontes de concreto armado. Concluindo, é enfatizado a importância crítica de uma abordagem holística na gestão da saúde estrutural das pontes, reconhecendo o papel fundamental que desempenham em nossa infraestrutura. Este estudo visa não apenas oferecer uma análise abrangente dos desafios existentes, mas também fornecer uma base sólida para o desenvolvimento contínuo de estratégias eficazes destinadas à preservação e extensão da vida útil das pontes de concreto armado.

**Palavras-chave:** Pontes. Concreto. Estruturas. Manutenção. Reabilitação. Patologias. Bibliografia

## **ABSTRACT**

In this work, we conducted a comprehensive bibliographic analysis of the pathological progression in reinforced concrete bridges, exploring the main types of pathologies and challenges faced in the preservation and maintenance of these essential structures. We began by examining the available literature on the different types of damage and deterioration affecting reinforced concrete bridges, highlighting the causes, consequences, and mechanisms of deterioration, as well as the quality and choice of materials used in construction. Throughout the study, we investigated methodologies for damage identification and rehabilitation strategies found in the scientific literature. Additionally, we discussed recent advances in research and engineering practices aimed at preventing and mitigating pathological problems in reinforced concrete bridges. We conclude by emphasizing the critical importance of a holistic approach in managing the structural health of bridges, recognizing the fundamental role they play in our infrastructure. This study aims not only to provide a comprehensive analysis of existing challenges but also to provide a solid foundation for the continuous development of effective strategies for the preservation and extension of the service life of reinforced concrete bridges.

**Keywords:** Bridges. Concrete. Structures. Maintenance. Rehabilitation. Pathologies. Bibliography.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 01 – Classes de agressividade ambiental (CAA) segundo a NBR 6118.....18

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Elementos estruturais de uma ponte.....	13
Figura 02 – Fissuras características de (A) esforços de compressão aproximada - mente axiais e (B) esforços de flexão na compressão.....	21
Figura 03 – Fissuras características de esforço de tração .....	22
Figura 04 – Fissuras características de esforço de tração .....	22
Figura 05 – Fissuras características de esforço de torção .....	23
Figura 06 – Fissuras características de esforço de torção .....	23
Figura 07 – Fissura por cisalhamento .....	23
Figura 08 – Fluxograma da metodologia.....	25
Figura 09 – Ataques de sulfato no pilar de ponte de concreto armado .....	28
Figura 10 – Pilar de concreto armado em deterioração devido a corrosão de armadura .....	28
Figura 11 – Pilar de concreto armado em deterioração devido a corrosão de armadura .....	29
Figura 12 – Lixamento da armadura para recuperação estrutura .....	31

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	09
<b>2. OBJETIVO GERAL</b> .....	11
2.1 Objetivo Específico.....	11
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	12
3.1 Pontes .....	12
3.1.1. Considerações iniciais e elementos .....	12
3.1.2. História da construção de pontes .....	13
3.1.3. Classificação de pontes.....	14
3.1.4 Normas utilizadas na construção de pontes.....	15
3.2 Concreto.....	16
3.2.1 Manifestações Patológicas.....	17
3.2.2 Mecanismos químicos de deterioração .....	18
3.2.3 Mecanismos biológicos de deterioração.....	21
3.2.4 Mecanismos mecânicos de deterioração .....	21
3.2.5 Mecanismos Físicos de deterioração .....	23
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	24
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	26
5.1 Concepção .....	26
5.2 Execução.....	26
5.3 Utilização.....	27
5.4 Prevenções das Patologias .....	27
5.4.1 Controle do ataque por sulfato .....	27
5.4.2 Controle da RAA (Reação Álcali-agregado) .....	28
5.4.3 Controle da corrosão causada por íons de cloreto e carbonatação .....	29
5.4.4 Prevenção, intervenção e manutenção dos mecanismos mecânicos(fissuras) .....	31
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	34
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	36

## 1. INTRODUÇÃO

A patologia das construções é a ciência que procura, de forma sistêmica, estudar os defeitos incidentes nos materiais 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 das suas formas de manifestação (BOLINA *et al.*, 2019).

O projeto e a construção de estruturas compõem uma área da engenharia civil na quais muitos engenheiros civis se especializam. Estes são os chamados engenheiros estruturais. A engenharia estrutural trata do planejamento, projeto, construção e manutenção de sistemas estruturais para transporte, moradia, trabalho e lazer (MARTHA, 2010).

Ponte é um elemento que compõem a mobilidade urbana, os autores El Debs (2007), define esse elemento estrutural como uma construção destinada a estabelecer a continuidade de uma via de qualquer natureza.

Por concreto armado, entende-se o concreto com barras de aço imersas. O concreto armado é um material de construção composto, no qual a ligação entre o concreto e armadura de aço é devida à aderência do cimento e efeito de natureza mecânica (LEONHARDT, 1977).

Segundo Leonhardt (1977), o concreto surgiu no fim do século XIX, passou a substituir a pedra como material de construção, passou a dominar o mercado por volta dos anos de 1948 com a utilização da protensão.

Com o decorrer dos tempos a engenharia civil sempre buscou soluções para os problemas, aperfeiçoando a aptidão produtiva, a socialização entre as pessoas, evoluindo ao longo dos anos. As pontes são exemplos dessas soluções, pois diminui as distâncias ultrapassando obstáculos, tornando elementos fundamentais da mobilidade que ampliam e facilita o fluxo de mercadorias e integram pessoas.

Diante dos avanços tecnológicos na engenharia civil, as pontes de concreto armado ainda permanecem apresentando várias manifestações patológicas devido a erros de projetos, materiais de baixa qualidade e falta de manutenção, entre outros fatores.

Existem várias amostras anormais que afetam as pontes de cimento preparado que necessitam ser indagado o qual frequentemente compartilham características permitindo aos especialistas identificar sua origem, causas e consequências, tornando possível localizar intervenções ou meios de prevenção para

que sejam aplicadas. Esta revisão bibliográfica obtém a finalidade de abordar patologias em pontes de concreto armado a exemplo de corrosão, fissuras, lixiviação entre outras.

Deste modo, serão discutidas suas origens, causas e tipologias, bem como os tratamentos para reforçar estruturas afetadas, visando garantir segurança e durabilidade. Enfatiza-se a importância da prevenção e manutenção de estruturas, com eficiente fiscalização e controle de qualidade em todas as etapas dos projetos de construção civil.

## **2. OBJETIVO GERAL**

Realizar uma análise bibliográfica abrangente sobre o avanço das patologias em pontes de concreto armado, buscando entender a progressão dos problemas com o decorrer do tempo e os seus impactos na estrutura.

### **2.1 Objetivo Específico**

- Identificar e descrever as principais patologias documentadas que afetam pontes de concreto armado, investigando suas características, causas e consequências.
- Apresentar as abordagens e estratégias de prevenção e reabilitação para lidar com as patologias em pontes de concreto armado, dando foco nas melhores práticas e soluções eficazes.
- Definir as fases específicas nas quais as patologias nas pontes de concreto armado geralmente se manifestam.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Pontes**

##### **3.1.1 Considerações iniciais e elementos**

Pontes são elementos construtivos muito importantes para a mobilidade urbana. De acordo com os autores, Marchetti (2008) e Pfeil (1979), denomina-se Ponte a obra destinada a permitir a transposição de obstáculo à continuidade de uma via de comunicação qualquer. Os obstáculos podem ser: rios, braços de mar, vales profundos, vias etc.

Destaca-se que as pontes se diferenciam das demais obras de artes especiais (viadutos e passarelas) por transpor passagens molhadas. Denomina-se viaduto quando o obstáculo transposto é um vale ou outra via. (Marchetti, 2008)

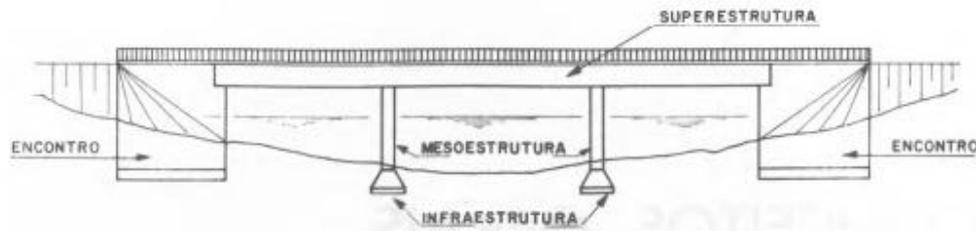
Passarela: quando se trata de construção destinada exclusivamente para pedestres e/ou ciclistas (EL DEBS, MOUNIR KHALIL, 2007).

As pontes possuem uma subdivisão em três elementos estruturais principais, superestrutura, infraestrutura e mesoestrutura.

Conforme a figura 1, Pfeil (1979) define que a infraestrutura ou fundação, é a parte da ponte por meio da qual são transmitidos ao terreno de implantação da obra, rocha ou solo, os esforços recebidos da mesoestrutura. Constituem a infraestrutura os blocos, as sapatas, as estacas, os tubulões etc., assim como as peças de ligação de seus diversos elementos entre si, e destes com a mesoestrutura como, por exemplo, os blocos de cabeça de estacas e vigas de enrijecimento desses blocos.

Mesoestrutura é a parte da ponte constituída pelos pilares. É o elemento que recebe os esforços da superestrutura e os transmite à infraestrutura (MARCHETTI, 2008).

A superestrutura é, segundo Marchetti (2008), constituída de vigas e lajes. Pfeil (1979) afirma que a superestrutura é o elemento de suporte imediato do estrado, que constitui a parte útil da obra, sob ponto de vista de sua finalidade.

**Figura 01:** Elementos estruturais de uma ponte

Fonte: PFIEL (1979).

Cada elemento estrutural possui sua funcionalidade, Pfeil (1979) discorre sobre três funções principais: A função viária da ponte é, por excelência, dar continuidade à estrada na transposição de um obstáculo. A função estática consiste em conduzir as cargas da posição onde elas se encontram até o solo. A ligação da ponte com a estrada é feita pelos elementos situados nas extremidades da obra, tais como encontros, cortinas, alas laterais, muros auxiliares etc.

### 3.1.2 História da construção de pontes

As pontes são um dos meios encontrados pela humanidade para transpor áreas alagadas, Leonhardt (1979) discorre sobre a história das pontes e sua evolução com o tempo.

O tipo de ponte mais recente construída pela humanidade é a de concreto protendido, tal infraestrutura surgiu a partir de 1938, porém só veio dominar o mercado 10 anos após seu surgimento, em 1948, devido a Segunda guerra mundial.

Antecedendo as pontes de concreto protendido, em 1900 surgiram as pontes de concreto armado, também chamadas na época de pontes de concreto de ferro. Inicialmente eram executados arcos tri articulados, onde o concreto substituía as pedras como material de construção.

As pontes de ferro construídas a partir do fim do século XVIII, devido ao surgimento das ferrovias, grandes construções eram necessárias para suportar as enormes cargas devido aos trens da época.

As pontes de pedra tiveram surgimento, já antes de cristo. Os chineses e os romanos já construíam abóbadas de pedras. Mas não só tais civilizações dominaram esse tipo de construção, os turcos realizaram grandes construções, em forma de arco gótico aliviado (arco ogival).

Apesar de todo esse desenvolvimento, as primeiras pontes foram construídas por povos primitivos, sua principal obra prima era a madeira, que com as cordas em forma de vigas.

Desde o princípio, as pontes construídas pelos povos civilizados eram em forma de arte. Atualmente as pontes, junto com os viadutos, passarelas e túneis são construções com projetos específicos para cada situação em particular classificados como Obras de arte especiais (OAEs).

### 3.1.3 Classificação de pontes

Diversos autores classificam as pontes de diversas formas diferentes, citando os principais tipos de classificação:

- I. Segundo a extensão dos vãos (Total) MARCHETTI, 2008:
  - a) Vãos de até 2 metros – Bueiros
  - b) Vãos de 2 m a 10m – Pontilhões
  - c) Vãos maior que 10m – Pontes
  
- II. Segundo o tipo construtivo da estrutura MARCHETTI, 2008:
  - a) “*In loco*”: A superestrutura é executada no próprio local da ponte, na posição definitiva, sobre escoramento apropriado (cimbramento, treliça etc.), apoiando-se diretamente nos pilares.
  - b) “Pré-moldada: Os elementos da superestrutura são executados fora do local definitivo (na própria obra, em canteiro apropriado ou em usina distante) e, a seguir, transportados e colocados sem os pilares. A pré-moldagem da superestrutura, em geral, não é completa (são pré-moldados quase sempre, apenas os elementos do sistema principal, vigas principais), o restante da superestrutura deve ser executado “*in loco*”.
  - c) “Em balanços sucessivos”: Neste caso, a ponte tem sua superestrutura executada progressivamente a partir dos pilares já construídos. Cada parte nova da superestrutura apoiando-se em balanço na parte já executada. A grande vantagem deste processo construtivo é a eliminação total (quase

sempre) dos escoramentos intermediários, isto é, eliminando-se os cimbramentos, treliças etc. Trata-se de uma execução "*In loco*", porém, com características especiais.

- d) "Em aduelas ou segmentos": Este processo construtivo é semelhante ao dos balanços sucessivos, permitindo eliminar o cimbramento, sendo também utilizado em obras de concreto protendido. Difere, porém, do processo anterior, em que as partes sucessivamente colocadas em balanço e apoiadas no trecho já construído são pré-moldadas.

III. Segundo o sistema estrutural PFEIL, 1979; EL DEBS, 2007:

- a) Ponte em laje;
- b) Ponte em viga reta de alma cheia;
- c) Ponte em viga reta de treliça;
- d) Ponte em quadro rígido;
- e) Ponte em abóbada;
- f) Ponte em arco superior;
- g) Ponte pênsil;
- h) Ponte Estaiada.

### **3.1.4 Normas utilizadas na construção de pontes**

A adição do aço ao concreto em forma de armadura se tornou essencial para vencer vãos de grandes dimensões, visto que o concreto não é um material dúctil e tais armaduras sejam elas simples (concreto armado), ou pré-tracionadas (concreto protendido) supriam tais fragilidades do concreto até certo ponto. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), assim como o Departamento Estadual de Rodagens trás especificações importantes para a construção e monitoramento de obras em concreto armado e OAEs, sendo algumas delas:

- ABNT NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto — Procedimento;
- ABNT NBR 6122:1996 – Projeto e execução de fundações;

- ABNT NBR; 6123:1988 – Forças devidas ao vento em edificações Procedimento;
- ABNT NBR 7187:2003 – Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento;
- ABNT NBR 7188:2013 – Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas;
- ABNT NBR 9452:2019 - Execução de obras de concreto - Procedimento;
- ABNT NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas - Procedimento (cargas acidentais);
- ABNT NBR 9062:2017 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado;
- DNER 368/94 - Manual de Inspeção de Pontes;
- DNER 698/100:1996 – Manual de projeto de obras de arte especiais.

### **3.2 Concreto**

Botelho (2016) define o concreto como uma pedra artificial, constituída da mistura de pedras de um ou dois tamanhos, areia, cimento e água. Esse material se popularizou muito dentro da construção civil, Monteiro e Mehta (2008) apontam três motivos para sua grande adesão na engenharia, o primeiro está na resistência dele à água, diferentemente da madeira e do aço comum, o concreto não possui grande deterioração tornando-o o material ideal para construção de estruturas de controle, armazenamento e transporte de água. O segundo motivo apresentado é que elementos estruturais de diferentes formas e tamanhos podem ser feitos de concreto. O terceiro e principal motivo é o baixo custo pois seus principais componentes são relativamente baratos e facilmente encontrados em qualquer lugar do mundo.

Os autores ainda acrescentam as vantagens da utilização do concreto em frente a estruturas de aço, pois o concreto não corrói, não precisa de tratamento superficial e sua resistência aumenta com o tempo, além da resistência ao fogo e ao carregamento cíclico.

Existem vários tipos de concreto, seus principais tipos são: concreto simples, concreto armado, concreto protendido. Botelho (2016), diz que o material concreto usado sozinho, como nos blocos e em pequenos tubos, é chamado de concreto

simples. Concreto armado é o concreto que normalmente contém barras de aço, que é projetado sob a premissa de que os dois materiais atuam juntos na resistência às forças de tração (Mehta, Monteiro, 2008). Botelho (2016) afirma que se a armadura de aço, antes de sua utilização, sofrer uma tensão externa de compressão, chamamos isso de concreto protendido.

### **3.2.1 Manifestações Patológicas**

O termo patologia é historicamente conhecido como sendo atrelado à ciência médica; todavia, há várias décadas, também tem sido empregado em outras áreas do conhecimento, como a de obras civis, sempre atrelado ao estudo das doenças e danos de algo ou alguém. (HELENE, 2019).

A ABNT NBR 9452-2019 Inspeção de pontes, viadutos e passarelas de concreto — Procedimento utiliza o termo patologia como estudo técnico e especializado do fator (ou conjunto de fatores) que gera determinada anomalia, bem como das alterações por esta trazida ao elemento em análise e à OAE.

As tabelas 1 e 2 da norma, definem as classificações e alguns parâmetros com relação as OAEs relacionadas a patologia, as pontes podem receber notas de 1 a 5 sendo atribuído nota 5 a situação excelente e nota 1 a situação crítica.

Os parâmetros da ficha de classificação (tabela 2) da NBR 9452-2019 são três, tais eles estrutural funcional e durabilidade. Os elementos avaliados na ponte são: superestrutura, mesoestrutura, infraestrutura, elementos complementares e pista.

Bolina *et al.* (2019) classifica de 3 formas os mecanismos de deterioração no concreto, sendo eles, mecanismos químicos, mecanismos físicos e mecanismos biológicos.

### **3.2.2 Mecanismos químicos de deterioração**

O meio ambiente e os requisitos de projeto mínimo possuem relação com relação a vida útil do projeto, a NBR 6118 classifica a agressividade de cada ambiente conforma a tabela abaixo:

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

Bolina *et al.* (2019) diz que a NBR 6118 em conjunto com as principais normas regulamentadoras de projeto do mundo diz os mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto são a lixiviação, expansão por sulfato e a reação álcali-agregado. Já os mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura são a despassivação por carbonatação e despassivação por íons cloreto.

#### a) Lixiviação

De acordo com a NBR 6118, a lixiviação é o mecanismo responsável por dissolver e carrear os compostos hidratados da pasta de cimento por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras. Segundo Bolina *et al.* (2019) apesar de a lixiviação dos compostos cálcicos do concreto não ser um problema com consequências imediatas à estrutura, deve-se atentar que, normalmente, haverá armaduras e/ou cordoalhas no interior dos elementos. Logo, nesse caso, a alcalinidade do concreto estará sendo reduzida, haverá uma percolação de umidade nele e a corrosão será, portanto, uma questão de tempo.

#### b) Ataques por sulfato

A NBR 6118 define que ataques por sulfato como a expansão por ação de águas ou solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado. Segundo Mascarenhas *et al.* (2019) Os sulfatos deterioram o concreto devido às suas ações expansivas. Podem ser encontrados no solo, na água do mar e no concreto. Os mais comuns são sulfatos de sódio, de cálcio e de magnésio

Bolina *et al.* (2019) fala que esse ataque pode se manifestar sob a forma de expansão e fissuração do concreto ou sob a forma de diminuição progressiva do módulo de elasticidade e perda de massa. No primeiro caso, ocorre o aumento da porosidade do material, deixando-o susceptíveis a novos ataques, provindos de outros agentes do meio externo. No segundo caso, a principal consequência é a perda de coesão dos produtos de hidratação do cimento, com lixiviação, reduzindo a área de seção transversal resistente dos elementos e, portanto, sua tensão máxima admissível.

#### c) Reação álcali-agregado

Bolina *et al.* (2019) define que reação álcali-agregado é uma reação química que ocorre devido à presença de agregados reativos e hidróxidos alcalinos da pasta de cimento hidratada, em presença de umidade. Essa reação é chamada de reação álcali-agregado (*alkali-aggregate reaction – AAR*) e possui como consequência a formação de um gel higroscópico que, na presença de umidade, é capaz de se hidratar e aumentar de volume, gerando fissuras e perda de resistência de elementos contaminados. O autor dá uma breve explicação sobre os principais tipos de ataque por álcalis, que são: reação álcali-silica, reação álcali-silicato e reação álcali-carbonato.

#### d) Corrosão

Corrosão é, conceitualmente, a interação destrutiva de um metal com o ambiente, promovendo a sua dissolução em íons metálicos por meio de reações químicas ou eletroquímicas. O mecanismo de corrosão eletroquímica, mais frequente, é fundamentado no desencadeamento de reações de oxidação (regiões anódicas) e de redução (regiões catódicas), (BOLINA *et al.*, 2019).

Segundo Mehta & Monteiro (2007), a corrosão do aço no concreto é um processo eletroquímico. Os potenciais eletroquímicos que formam células de corrosão podem ser gerados de duas formas: na primeira as células de composição podem ser formadas quando dois metais diferentes são embutidos no concreto, como barras de aço e tubulações de alumínio, ou quando há variações significativas nas características superficiais do aço; na segunda as células de concentração podem se

formar na vizinhança da armadura devido às diferenças na concentração de íons dissolvidos, como álcalis e cloretos.

e) Carbonatação

A carbonatação é um processo físico-químico que consiste na reação do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), presente no ar, dissolvido no interior da fase aquosa dos poros do concreto, com os hidróxidos do cimento Portland hidratado. A reação se desenvolve, principalmente, com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), resultando no carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), o qual acidifica o concreto (BOLINA *et al.*, 2019).

f) Íons cloreto

Os íons cloreto podem vir do ambiente externo ou ser incorporados na fase de produção da estrutura de concreto. Como fonte externa, os íons cloreto são originados de maresia ou névoa salina, zonas de respingo ou variação de maré, sais de degelo de neve, solos contaminados e limpezas com uso de ácido muriático (BOLINA *et al.*, 2019).

A penetração de água do mar ou de sais de degelo é uma fonte comum de íons cloreto que são capazes de destruir as camadas protetoras normalmente presentes na superfície do aço da armadura, que é um dos pré-requisitos ao início do processo corrosivo. Outro pré-requisito é a resistividade elétrica do concreto, que depende da permeabilidade do concreto e da concentração iônica da solução do poro (MEHTA; MONTEIRO, 2007).

g) Atuação da água na deterioração química

Bolina *et al.* (2019) diz que a água tem participação decisiva nos mecanismos químicos de deterioração, seja por três motivos, o primeiro é por diluir os agentes agressivos e facilitar o ingresso deles no interior do concreto, o segundo é por viabilizar as transformações químicas, funcionando como um reagente e o terceiro é pelo fato de inibir o ingresso de gases no interior do concreto, os quais causam transformações de natureza química.

### 3.2.3 Mecanismos biológicos de deterioração

A agressão de cunho biológico é produzida no concreto aparente por fungos, bactérias, algas ou musgos. Os agentes são encontrados em zonas úmidas e com baixa ventilação, como em ambientes voltados para a direção Sul e Oeste no hemisfério sul, e para o Norte e Leste no hemisfério norte, áreas marítimas e locais próximos a redes de esgoto (BOLINA *et al.*, 2019).

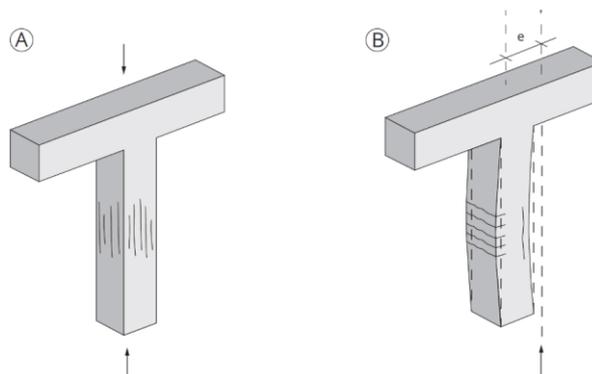
### 3.2.4 Mecanismos mecânicos de deterioração

Segundo Bolina *et al.* (2019) são mecanismos que afetam a resistência estrutural do elemento, com origem no projeto, execução ou uso ineficiente. As principais patologias causadas por agentes mecânicos nas estruturas de concreto armado são fissurações por esforços de flexão, esmagamento, flexo-compressão, cisalhamento, torção e tração, bem como degradações por choques de veículos e por incêndios. (MASCARENHAS *et al.*, 2019)

#### a) Compressão

Segundo Botelho (2016), ocorre compressão numa estrutura quando suas partes sofrem encurtamento, aproximação; um pilar sobre compressão quando em trabalho. A solicitação de compressão, mais comum em pilares, provoca instabilidades que dependem de seu comprimento lateral destravado (flambagem), inércia, área da seção transversal, travamento lateral e vinculação, ou seja, fatores que remetem ao índice de esbeltez (BOLINA *et al.*, 2019).

**Figura 02:** Fissuras características de (A) esforços de compressão aproximadamente axiais e (B) esforços de flexão na compressão

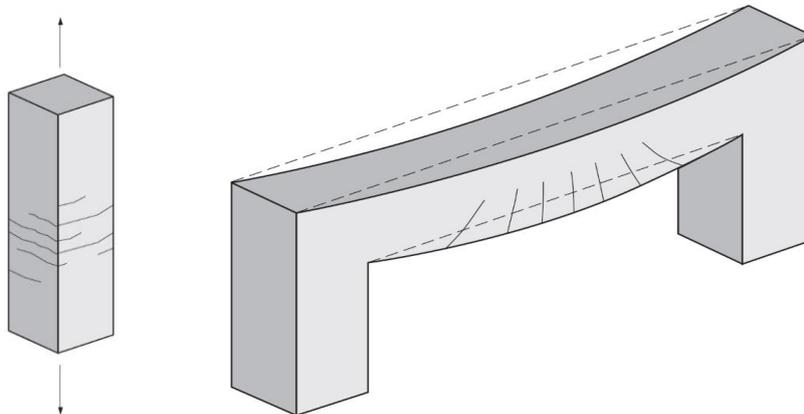


Fonte: Bolina *et al.*, 2019.

### b) Tração

Segundo Botelho (2016), ocorre tração numa estrutura quando suas partes sofrem estiramento, afastamento. De acordo com Bolina *et al.*, (2019) os esforços de tração axial são comuns em pilares em que a ação predominante é a horizontal, como a do vento. O concreto não possui bom comportamento quando relacionado a tração. Apesar de a tração axial pura ser um tipo de sollicitação pouco frequente nas estruturas de concreto armado convencionais, quando incidente, e desde que a peça não consiga suportá-la, surgem fissuras perpendiculares às armaduras principais ou ao eixo longitudinal da peça, atravessando a seção de uma face à outra.

**Figura 03 e 04:** Fissuras características de esforço de tração

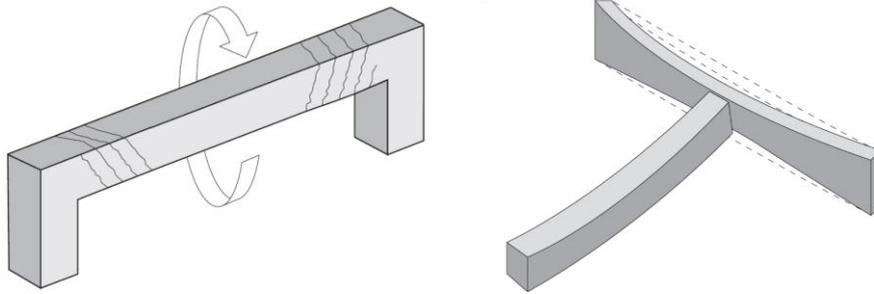


Fonte: Bolina *et al.*, 2019.

### c) Torção

Segundo Botelho, (2016) a torção ocorre quando numa estrutura agem forças forçando a estrutura a girar em torno do seu eixo de simetria. Bolina *et al.* discorre que a torção ocorre com mais frequência em vigas secundárias descontínuas que, ao fletirem, submetem a viga principal, na qual se apoiam, a um esforço de torção, principalmente quando a sua esbelteza é menor do que a da viga principal.

**Figura 05 e 06:** Fissuras características de esforço de torção

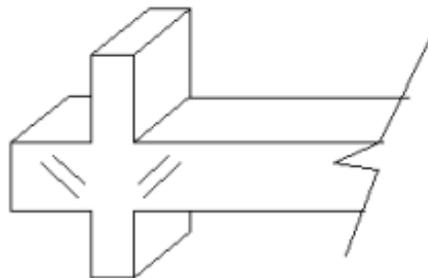


Fonte: Bolina *et al.*, 2019

#### d) Cisalhamento

Segundo Botelho (2016), acontece cisalhamento quando existe uma tendência de cortar uma estrutura. De acordo com Mascarenhas *et al.*, (2019) Uma estrutura de Concreto Armado, quando submetida a esforços cisalhantes, tende a apresentar fissuras diagonais.

**Figura 07:** Fissura por cisalhamento



Fonte: Mascarenhas *et al.*, (2019)

### 3.2.5 Mecanismos Físicos de deterioração

Os mecanismos físicos de deterioração se desenvolvem devido a agentes que submetem a peça a esforços internos, como os esforços produzidos pela movimentação térmica volumétrica ou pelo congelamento da água nos poros do concreto, que tencionam o elemento. Quando ultrapassada a resistência à tração, surgem fissuras. Nesses mecanismos, a causa do fenômeno é mecânica, ou seja, é a insuficiência estrutural da peça a solicitações produzidas internamente no material. Seus principais tipos são retração do concreto, movimentação térmica, ação de gelo e degelo e desgaste superficial por erosão ou cavitação (BOLINA *et al.*, 2019).

#### 4. METODOLOGIA

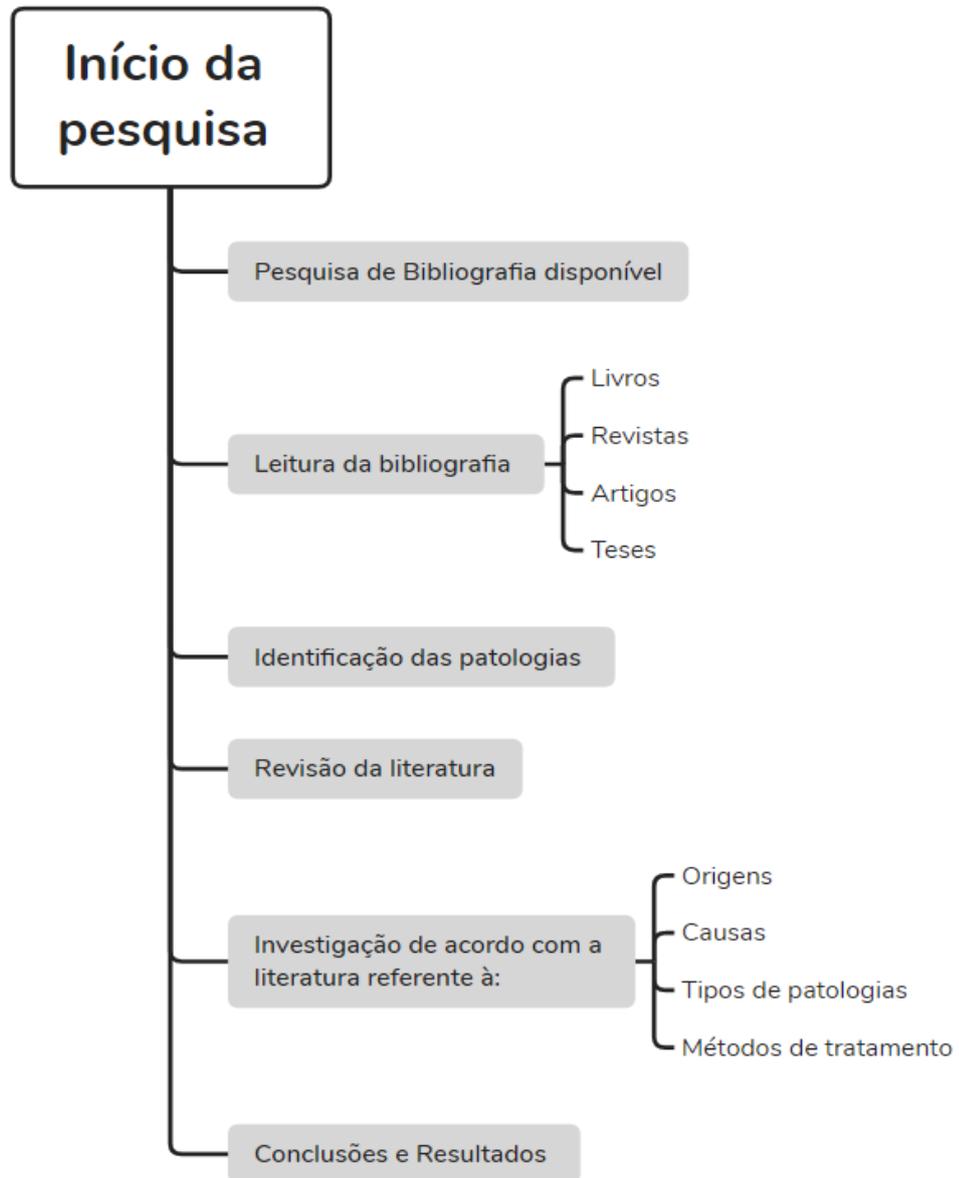
Segundo Santos (2012) método científico é um dispositivo ordenado, um conjunto de procedimentos sistemáticos que o pesquisador emprega para obter o conhecimento adequado do problema que se propõe resolver.

Köche (2016) diz que a pesquisa bibliográfica é a que se desenvolve tentando explicar um problema, utilizando o conhecimento disponível a partir das teorias publicadas em livros ou obras congêneres. O mesmo, complementa que Pode-se utilizar a pesquisa bibliográfica com diferentes fins: a) para ampliar o grau de conhecimentos em uma determinada área, capacitando o investigador a compreender ou delimitar melhor um problema de pesquisa; b) para dominar o conhecimento disponível e utilizá-lo como base ou fundamentação na construção de um modelo teórico explicativo de um problema, isto é, como instrumento auxiliar para a construção e fundamentação das hipóteses; c) para descrever ou sistematizar o estado da arte, daquele momento, pertinente a um determinado tema ou problema.

Neste trabalho utiliza-se a pesquisa bibliográfica como método de pesquisa com o intuito de ampliar o grau de conhecimento sobre as patologias em pontes de concreto armado e abordar formas de prevenção, intervenção e manutenção das mesmas. De acordo com Castilho *et al.* (2011) pesquisa bibliográfica é baseada na consulta de todas as fontes secundárias relativas ao tema que foi escolhido para realização do trabalho. Abrange todas as bibliografias encontradas em domínio público como: livros, revistas, monografias, teses, artigos de Internet.

Dessa forma, a pesquisa foi conduzida mediante a revisão da literatura, que incluiu a leitura e a análise de artigos científicos, teses, revistas e livros de autores referentes a cada tópico abordado neste trabalho, principalmente abordando as patologias identificadas nas pontes de concreto armado. Nesse processo, foram investigadas as origens, causas, tipos e os métodos de tratamento apropriados.

Figura 08: Fluxograma da metodologia



Fonte: Autores (2023)

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste relatório, destacamos os principais tipos de problemas nas pontes de concreto e as potenciais origens associadas a cada categoria de falha, com o propósito de informar os profissionais do setor sobre as questões que podem surgir durante três fases principais: concepção, execução e utilização.

### **5.1 Concepção**

Souza & Ripper (1998) definem que a concepção de uma construção durável implica a adoção de um conjunto de decisões e procedimentos que garantam à estrutura e aos materiais que a compõem um desempenho satisfatório ao longo da vida útil da construção. Eles explicam que as principais falhas tendem a se ocasionar devido a estudos preliminares insuficientes, anteprojetos equivocados, exemplificando: projetos inadequados, falta de compatibilidade entre a estrutura e a arquitetura, detalhes construtivos inexecutáveis, falta de padronização e erros de dimensionamento. Relacionando as falhas de projetos com o surgimento de problemas patológicos graves.

### **5.2 Execução**

De acordo com Oliveira (2013), com o início da etapa de execução (construção), uma variedade de problemas pode se manifestar, relacionados a vários fatores, tais como falta de ambiente de trabalho adequado (cuidado e motivação), falta de capacitação profissional da equipe, ausência de controle de qualidade na execução, má qualidade de materiais e componentes, negligência técnica e até mesmo sabotagem.

A ocorrência de problemas patológicos cuja origem está na etapa de execução é devida, basicamente, ao processo de produção, que é em muito prejudicado por refletir, de imediato, os problemas socioeconômicos, que provocam baixa qualidade técnica dos trabalhadores menos qualificados, como os serventes e os meio-oficiais, e mesmo do pessoal com alguma qualificação profissional (SOUZA & RIPPER, 1998).

### 5.3 Utilização

Conforme Junior *et. al.* (2020) citando Trindade (2015) ressalta a possibilidade de danos estruturais devido ao descuido ou desconhecimento, posteriores à entrega da obra ao usuário. Complementando que o uso de uma estrutura deveria ser considerado como qualquer outro equipamento, seja mecânico ou elétrico, isto é, o uso deve ser pautado pelo respeito ao projeto e todas as manutenções indicadas pelos responsáveis técnicos realizadas de forma adequada.

De acordo com Souza & Ripper (1998) explanam que podem haver causas intrínsecas e extrínsecas, os autores relacionam as causas intrínsecas da estrutura com a sua fase de utilização implicando restrição a um único aspecto, a ausência de manutenção, posto que todos os demais serão fatores extrínsecos. Como fatores extrínsecos ele correlaciona 3 tipos que são alterações estruturais, sobrecargas exageradas, alterações das condições do terreno e fundação, ações mecânicas como choques de veículos, recalque de fundações, etc.

### 5.4 Prevenções das Patologias

A durabilidade e a resistência das pontes de concreto armado são cruciais para a mobilidade urbana e a segurança pública. Este tópico explora os principais métodos de prevenção e manutenção de patologias em pontes citados anteriormente no tópico 02, visando prolongar sua vida útil e reduzir custos de manutenção.

#### 5.4.1 Controle do ataque por sulfato

Mehta, Monteiro (2008) cita a *BRE digest*, descreve que os fatores que influenciam o ataque por sulfato são (1) a quantidade e natureza do sulfato presente, (2) o nível da água e sua variação sazonal, (3) o fluxo de água subterrânea e a porosidade do solo, (4) a forma de cons. tração e (5) a qualidade do concreto.

Os autores complementam que se não é possível impedir a água com sulfato de atingir o concreto, a única defesa contra o ataque por sulfato está no controle do fator (5). Neste caso é recomendada a utilização de concreto de baixa permeabilidade, como a melhor proteção contra ataque por sulfato. Os fatores que contribuem para a baixa permeabilidade do concreto são: Espessura adequada do concreto, alto

consumo do cimento, baixa relação água/cimento e adensamento adequado, bem como cura do concreto no estado fresco apropriado.

**Figura 09:** Ataques de sulfato no pilar de ponte de concreto armado



Fonte: Bolina *et al.* (2019)

#### 5.4.2 Controle da RAA (Reação Álcali-agregado)

Os fatores mais importantes que influenciam o fenômeno da reação álcali-agregado são: (1) o teor de álcalis do cimento e consumo de cimento do concreto; (2) a contribuição do Íon alcalino de outras fontes, como aditivos, adições, agregados contaminados com sal, e penetração de água do mar ou solução de sais de degelo no concreto; (3) a quantidade, dimensão e reatividade dos constituintes reativos presentes no agregado; (4) disponibilidade de umidade para a estrutura de concreto; e (5) a temperatura ambiente (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

**Figura 10:** Reação álcali-agregado em bloco de concreto armado



Fonte: Bolina *et al.* (2019)

Os autores citam alguns métodos para o controle da RAA, possuindo a maior prioridade, o método seria a utilização de cimento Portland de baixa alcalinidade. Se um cimento Portland de baixa alcalinidade não está disponível, o teor total de álcalis no concreto pode ser reduzido fazendo-se substituição parcial do cimento de alta alcalinidade por adições cimentícias ou pozolânicas, como a escória de alto-forno moída, vidro vulcânico (pumicita moída), argila calcinada, cinza volante ou sílica ativa. Outra opção para reduzir a expansão do concreto é amenizar a reatividade do agregado reativo fazendo-se uso de 25 a 30% de calcário ou qualquer outro agregado não-reativo, quando economicamente viável.

#### 5.4.3 Controle da corrosão causada por íons de cloreto e carbonatação

Como a água, o oxigênio e os cloretos desempenham um importante papel na corrosão das armaduras e na fissuração do concreto, fica claro que a permeabilidade do concreto é a chave para controlar os vários processos envolvidos nesses fenômenos. É permitido aos elementos de concreto armado que, em serviço, permaneçam secos ou protegidos da umidade, conter até 1% de Cl<sup>-</sup> em relação à massa de material cimentício do concreto (MEHTA; MONTEIRO. 2008).

**Figura 11:** Pilar de concreto armado em deterioração devido a corrosão de armadura



Fonte: Bolina *et al.* (2019)

Os parâmetros que influenciam a penetração dos íons cloreto no concreto são praticamente os mesmos envolvidos na penetração de CO<sub>2</sub>. São eles: o tipo de cimento, a relação água/cimento, o grau de saturação dos poros, o efeito do cátion que acompanha o íon cloreto, a existência de fissuras, a carbonatação e a temperatura. (BOLINA *et al.* 2019)

De acordo com o Mehta e Monteiro (2008) as concessionárias de rodovias preferem assumir um custo inicial extra do uso de uma membrana impermeável à água, ou da aplicação de uma fina camada de concreto impermeável nas superfícies recém-construídas ou, por fim, da execução de reparos em superfícies inteiras de elementos de concreto armado e protendido, desde que estes possuam grandes dimensões e configuração plana.

Membranas impermeáveis à água, normalmente pré-fabricadas e do tipo folha, são usadas quando protegidas de danos físicos por meio do revestimento de sua superfície com concreto asfáltico; portanto, sua integridade superficial fica limitada à vida útil do concreto asfáltico, que é cerca de 15 anos. A cobertura (revestimento superficial) com concreto estanque ou impermeável, com espessura de 37,5 a 63 mm, oferece uma proteção mais durável contra a penetração de fluídos agressivos para o interior de elementos de concreto armado ou protendido (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

Bolina *et al.*(2019) define um método de intervenção, apresenta 4 origens possíveis sendo elas geralmente associadas a (I) excesso de carregamento, como aqueles oriundos da modificação do uso ou de sobrecargas não previstas, (II) insuficiência de armaduras, (III) fluência do concreto ou (IV) retirada prematura dos escoramentos.

Para ambos os casos, uma intervenção parcial na estrutura na região das armaduras é feita, com o intuito de remover o concreto do entorno da barra. A superfície do concreto existente é apicoada, visando garantir uma melhor aderência entre o concreto existente e o material de reparo. Ainda pode ser utilizada uma argamassa com sílica ativa para auxiliar na aderência. Porém, o mais importante é que a superfície esteja limpa e seca, isenta de pó e graxas. O tratamento da barra de aço é feito por meio do lixamento da sua superfície corroída, com uma escova de malha de ferro ou por jateamento de areia, até que sejam removidos os produtos de corrosão. Depois, realiza-se um jateamento seco ou úmido, objetivando a remoção do

pó e dos resíduos gerados pelos processos de lixamento e apicoamento (BOLINA *et al.* 2019).

**Figura 12:** Lixamento da armadura para recuperação estrutural



Fonte: Oliveira (2022)

A reconstituição da parte removida da estrutura deve ser feita com uma argamassa cimentícia à base de polímeros, no caso de ataque por carbonatação ou por íons cloreto; com uma base epóxi ou poliéster, quando se necessita de velocidade de término do processo; ou com uma argamassa cimentícia modificada com polímeros, quando houver alto teor de íons cloreto. O aumento da geometria da peça, expandindo também o cobrimento nominal das armaduras, pode ser necessário. Cabe ressaltar que, dependendo do meio agressivo, técnicas mais avançadas de prevenção podem ser utilizadas, como a extração eletroquímica de íons cloreto, para os mecanismos de ataque por íons cloreto, ou a realcalinização eletroquímica, para os mecanismos de ataque por carbonatação. (BOLINA *et al.* 2019).

#### **5.4.4 Prevenção, intervenção e manutenção dos mecanismos mecânicos (fissuras)**

Segundo Bolina *et al.* (2019) fissuras devidas à flexão são uma manifestação patológica que se apresenta como fissuras superficiais distribuídas até aproximadamente a meia altura da linha neutra da peça. Essas fissuras ocorrem exclusivamente nos pontos da estrutura submetidos a esforços máximos de flexão, ou seja, momentos positivos ou negativos. Elas podem ter várias origens, geralmente

associadas a (I) excesso de carregamento, como sobrecargas não previstas ou modificações no uso, (II) insuficiência de armaduras, (III) fluência do concreto ou (IV) retirada prematura dos escoramentos.

No que diz respeito aos reparos, nos casos (I) e (II), é necessário realizar uma revisão do projeto estrutural para verificar a necessidade de complementar a área de armadura existente. Muitas vezes, alterar a geometria do elemento estrutural não é viável. Após essa análise, determina-se se a estrutura requer reparo ou reforço. O elemento estrutural danificado deve ser escorado para aliviar as tensões, redistribuindo-as aos elementos adjacentes. Se for necessário reforço estrutural, as armaduras adequadas são adicionadas, seguindo o procedimento detalhado no caso de corrosão com perda de seção de aço. Outra alternativa é o reforço por meio da colagem de fibras de carbono ou chapas metálicas na superfície afetada.

No caso de uma manifestação patológica induzida por (III), a probabilidade de surgimento de fissuras é pequena. No entanto, se elas ocorrerem, o selamento das juntas com resina epoxídica ou acrílica é suficiente. No entanto, é necessário monitorar o problema para verificar se há evolução ou acomodamento.

No cenário apresentado em (IV), uma análise da magnitude da deformação deve ser realizada. Se a deformação estiver dentro dos limites do estado-limite de serviços estabelecidos na NBR 6118 (ABNT, 2014a), um reparo semelhante ao mencionado em (III) pode ser realizado. Caso as deformações ultrapassem os limites admitidos na norma, a estrutura deve ser reforçada.

Fissuras devidas ao esforço cortante são outra manifestação patológica, caracterizadas por fissuras superficiais inclinadas a aproximadamente  $45^\circ$ , próximas aos apoios. Essas fissuras geralmente estão associadas a (I) excesso de carregamento, como modificações no uso ou sobrecargas não previstas, ou (II) insuficiência de armadura.

Para os reparos, é fundamental realizar uma verificação estrutural prévia do elemento existente para determinar se é necessário um reforço ou uma recuperação da peça. O elemento fissurado deve ser escorado para aliviar as tensões. Em seguida, inserem-se as barras necessárias na região afetada. Também é possível realizar o reforço estrutural com lâminas de fibra de carbono ou chapas metálicas, aplicadas junto à face lateral do elemento fissurado. Além disso, é importante realizar uma análise das armaduras existentes para verificar seu estado de conservação.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, abordou-se profundamente o tema das pontes de concreto armado, abrangendo sua definição, história, classificação, normas de construção e manifestações patológicas. Os objetivos específicos delineados foram alcançados, permitindo uma compreensão dessas estruturas fundamentais, suas anomalias e suas patologias na engenharia civil.

Com base nos resultados das investigações realizadas, foi possível observar e evidenciar que as patologias ao qual afetam os elementos estruturais representam um desafio para a construção civil. Essas manifestações patológicas podem decorrer de diversos fatores, se não forem tratadas adequadamente deste modo, a realização de pesquisas que buscam investigar, caracterizar e diagnosticar essa problemática que comprometem a integridade das estruturas é indispensável para que a recuperação dos elementos danificados seja feita de forma eficiente.

Em face do exposto, permanece a necessidade de compreender, para obter um nível satisfatório de qualidade nas constituições de pontes de concreto armado, com a prevenção de manifestações patológicas, é imprescindível que diversas áreas envolvidas, incluindo a viabilidade social, econômica e ambiental, trabalhem de maneira integrada. Isso aborda desde a qualificação da mão de obra de execução como pedreiros, ajudantes, mestre de obras, assim como os projetistas que realizam a fase de concepção da construção, até seleção de materiais de qualidade, o conhecimento detalhado do solo e das condições ambientais requer uma abordagem holística e cooperativa para assegurar a durabilidade e a qualidade das estruturas.

No entanto, o planejamento prévio, a execução e a manutenção de projetos na construção civil devem ser conduzidos por profissionais qualificados, sob constante importância da fiscalização no controle rigoroso da procedência e qualidade dos materiais, equipamentos e de todas as atividades envolvidas. A colaboração entre essas áreas é fundamental para garantir um resultado suficiente para evitar a ocorrências indesejáveis na engenharia. Sendo assim, todos os aspectos do processo de construção devem atender a padrões mínimos de aceitação e estar em harmonia conforme normas.

Logo, a temática transportou de forma benéfica com percepção a grande importância das manifestações patologias em qualquer tipo de construção civil. Assim a manutenção periódica das obras de arte especiais (OAE's), seja preventiva ou

corretiva, abona, de fato, o prolongamento da vida útil visando à conservação estrutural e principalmente garantir a segurança dos cidadãos que a usufruem.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118:2023. **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9062:2017. **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9452:2019. **Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro.
- BOLINA, Fabricio Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; HELENE, Paulo. **Patologia de estruturas**. Oficina de Textos, 2019.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Concreto Armado-Eu te Amo-para Arquitetos**. Editora Blücher, 2016.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado-eu te amo-volume 1**. BLUCHER, 2008.
- BOTELHO, Manoel Henrique Campo; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado-Eu te amo**. Editora Blücher, 2018.
- CASTILHO, Auriluce Pereira; BORGES, Nara Rubia Martins; PEREIRA, Vânia Tanús. **Manual de metodologia científica**. Goiás: Ulbra, p. 10-11, 2011.
- DE SOUZA, Vicente Custodio Moreira; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. Pini, 1998.
- EL DEBS, Mounir Khalil; TAKEYA, Toshiaki. **Introdução às pontes de concreto**. São Carlos, 2007.
- JÚNIOR, Joaquim Júlio Almeida et al. **Patologia em concreto armado e seus métodos de recuperação estrutural**. Revista Científica Novas Configurações–Diálogos Plurais, v. 2, n. 1, p. 43-58, 2021.
- KÖCHE, José Carlos. **Fundamentos de metodologia científica**. 2016.
- LEONHARDT, Fritz. **Construções de concreto: princípios básicos da construção de pontes de concreto**. Rio de Janeiro: Interciência, v. 6, 1979.
- LEONHARDT, Fritz; MÖNNING, Eduard. **Construções de concreto-volume 3: princípios básicos sobre a armação de estruturas de concreto armado**. Rio de Janeiro: Interciência, 1978.
- LEONHARDT, FRITZ; MÖNNIG, E.; FRIDMAN, David. **Construções de concreto-volume 1: princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado**. Tradução de: David Fridman. Rio de Janeiro: Interciência, 1977.
- MARCHETTI, Osvaldemar, 2008. **PONTES DE CONCRETO ARMADO**. 1 Reimpressão 2009. Editora BLUCHER.

MARTHA, Luiz. **Análise de estruturas: conceitos e métodos básicos**. Elsevier Brasil, 2010.

MASCARENHAS, Fernando Júnior Resende et al. **Patologias e inspeção de pontes em concreto armado: Estudo de caso da ponte Governador Magalhães Pinto**. Engevista, v. 21, n. 2, p. 288-302, 2019.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, PJM; **CONCRETO MICROESTRUTURA, Propriedade. Materiais**. 2ª Edição. IBRACON, 2014.

OLIVEIRA, Daniel Ferreira. **Levantamento de causas de patologias na construção civil**. 2013.