

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

CAMPUS SERTÃO

ENGENHARIA CIVIL

RAFAEL ALVES DA SILVA

ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DA PONTE SOBRE O RIO
PEDRA NO MUNICÍPIO DE DELMIRO GOUVEIA- AL: ESTUDO DE CASO

DELMIRO GOUVEIA – AL

2019

RAFAEL ALVES DA SILVA

ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DA PONTE SOBRE O RIO
PEDRA NO MUNICÍPIO DE DELMIRO GOUVEIA- AL: ESTUDO DE CASO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de engenharia civil da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Campus Sertão, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientador: Prof. Msc. Rogério de Jesus dos Santos.

DELMIRO GOUVEIA – AL

2019

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus Sertão
Sede Delmiro Gouveia

Bibliotecária responsável: Renata Oliveira de Souza CRB-4 2209

S586a Silva, Rafael Alves da

Análise das manifestações patológicas da ponte sobre o rio pedra no município de Delmiro Gouveia – AL: estudo de caso / Rafael Alves da Silva. - 2019.

71 f. : il.

Orientação: Prof. Me. Rogério de Jesus dos Santos.
Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas.
Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2019.

1. Manifestações patológicas. 2. Segurança estrutural. 3. Concreto armado. 4. Ponte. 5. Delmiro Gouveia – Alagoas. I. Santos, Rogério de Jesus dos Santos. II. Universidade Federal de Alagoas. III. Título.

CDU: 624.012.45

Folha de Aprovação

RAFAEL ALVES DA SILVA

**ANÁLISE DE PATOLOGIAS DA PONTE SOBRE O RIO PEDRA NO
MUNICÍPIO DE DELMIRO GOUVEIA- AL: ESTUDO DE CASO**

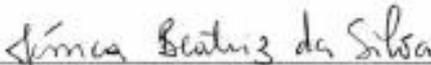
Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao
corpo docente do Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Alagoas – Campus do
Sertão e aprovado em 12 de dezembro de 2019.


Prof. Msc. Rogério de Jesus dos Santos (Orientador)

Banca Examinadora:


Prof. Msc. Rogério de Jesus dos Santos (Orientador)


Prof. Msc. Alverlando Silva Ricardo, UFAL – Campus Sertão (Avaliador)


Prof. Msc. Jéssica Beatriz da Silva, UFAL – Campus Sertão (Avaliador)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao Senhor dos Céus por ter me dado todas as oportunidades até aqui, me protegendo e me guiando pelo caminho do justo e do certo.

Agradeço a minha família, aos meus pais Saionara e Ricardo por me apoiar, proteger e me orientar por toda a minha vida, espero que estejam orgulhosos do seu filho. Ao meu irmão Ramon, as minhas avós Solange e Maria das Neves, as minhas tias, primos e primas também, a estes e outros que foram a minha base o meu agradecimento.

À minha namorada Josilane, esse presente maravilhoso que a faculdade me concedeu, sempre me apoiou nos momentos difíceis e fez, na maioria dos meus momentos os mais felizes nessa trajetória de graduação. Espero que essa seja somente uma das várias etapas que passaremos juntos, te amo muito meu amor.

Agradeço aos meus amigos de graduação: Juliano, Ericson, Éliton, Thauany, Karla, Leticia, Sanderson, Felipe, Bruno e Guilherme pelos momentos vividos. Em especial os 3 amigos que quero levar pra toda a vida: Eleilton, Rafael Santana e Leandro, pelas noites viradas em claro, pelos finais de semana estudando para provas ou para realização de projetos, mais uma vez meu muito obrigado. Tmj.

Ao meu orientador Prof. Msc. Rogério de Jesus dos Santos por toda colaboração e esforço por esse trabalho, sempre solícito e preocupado no andar dos estudos o tornando-o um dos profissionais que mais admiro. Aos professores que me motivaram a seguir a carreira acadêmica e profissional: Vinicius, Alverlando, Romildo, Antonio Netto, Rodrigo e Natielle.

Aos meus amigos e amigas do Grupo de Educação Tutorial, este que me formou e foi imprescindível na minha formação por me proporcionar experiências dentro e fora do âmbito da academia. Agradeço aos egressos e aos atuais petianos por me proporcionar todas as alegrias e aprendizados por essa passagem no grupo.

Em especial, quero agradecer aos meus dois amigos João Victor e Rafael Carvalho que, juntamente com Rafael Santana e Leandro, me proporcionaram uma das melhores experiências dentro da universidade e no laboratório de saneamento, meu muito obrigado meus amigos.

Aos meus amigos Leandro, Anderson, Filipe, ao meu mestre Alcides e sua esposa Élide, Aécio, Erasmo e todos os que não foram mencionados nessa mensagem, obrigado.

“Se o guerreiro se abater pela derrota e pela crítica de quem não luta por nada, nunca teremos uma vitória.”

Rafael Alves

RESUMO

Nas estruturas de obras de arte especiais de concreto armado (ex.: pontes e viadutos) a avaliação periódica das patologias possui grande importância visto a necessidade de manter um nível de segurança estrutural conforme as normativas vigentes, evitando assim a ruína e aumentando a proteção a vida como também a conservação do patrimônio. Contudo no Brasil, não é comum a realização de manutenção periódica nas pontes, conseqüentemente, manifestações são frequentemente observadas. Em alagoas, atualmente diversas estruturas não se enquadram dentro dos parâmetros exigidos em normas, oferecendo possíveis riscos aos seus usuários e ao meio. Diante disso, o presente trabalho analisa de forma visual e por meio de ensaios *in loco* as patologias presentes em alguns dos componentes estruturais da ponte sobre o Rio Pedra do município de Delmiro Gouveia – AL, baseadas nas normas vigentes: NBR 6118 (2014), NBR 7584 (2012), NBR 14178 (2001), NBR 15575 (2013), Norma DNIT/090 (2006), Norma DNIT/122 (2009), Manual de inspeção rodoviária DNIT/709 (2004) e LNEC E391 (2019). Com base nos resultados das análises, nota-se que a estrutura contém diversos locais onde há o comprometimento das armaduras devido a oxidação, além de carbonatação, existência de aberturas, focos de ataque de eflorescência, infiltração, entupimento do sistema de drenagem, entre outros. Por meio do ensaio de esclerometria foi possível constatar que houve redução de cerca de 23,3% da resistência entre os pilares mais e menos resistentes como também houve diferenças de resistência no valor de 16,19% entre faces de um mesmo pilar. De posse dos métodos construtivos atuais no âmbito da engenharia civil, a ponte analisada compreende um estado preocupante de estabilidade estrutural o que necessita de estudos mais profundos em que é possível traçar planos de manutenções corretiva e periódicas com o intuito de garantir a segurança quanto ao uso e revitalizar estruturalmente a obra.

Palavras-chave: Manifestações patológicas, pontes, concreto armado; manutenção.

ABSTRACT

In structures of special reinforced concrete works of art (eg bridges and viaducts) the periodic assessment of pathologies is of great importance given the need to maintain a level of structural safety in accordance with current regulations, thus avoiding ruin and increasing protection against life as well as heritage conservation. However, in Brazil, it is not common to perform periodic maintenance on the bridges, consequently, the manifestations are frequently observed. In Alagoas, currently several structures do not fit within the standards required by standards, offering potential risks to their users and the environment. Therefore, the present work analyzes visually and by means of in loco tests the pathologies present in some of the structural components of the bridge over the Pedra River of Delmiro Gouveia - AL, based on the current norms: NBR 6118 (2014), NBR 7584 (2012), NBR 14178 (2001), NBR 15575 (2013), Standard DNIT / 090 (2006), Standard DNIT / 122 (2009), Road Inspection Manual DNIT / 709 (2004) and LNEC E391 (2019) . Based on the results of the analysis, it is noted that the structure contains several places where there is the compromise of the reinforcement due to oxidation, as well as carbonation, openings, efflorescence attack foci, infiltration, clogging of the drainage system, among others. Through the sclerometry test it was possible to verify that there was a reduction of about 23.3% of the resistance between the more and less resistant columns, as well as 16.19% resistance differences between faces of the same pillar. With current construction methods in the field of civil engineering, an analyzed bridge comprises a state concerned with structural stability or the use of deeper studies in which it is possible to draw up corrective and periodic maintenance plans in order to ensure safety in use and structurally revitalize the work.

Key Words: Pathological manifestations, bridges, reinforced concrete, maintenance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Demolição de um edifício por implosão no centro de São Paulo.....	14
Figura 2 - Diferentes desempenhos de uma estrutura, com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos	15
Figura 3 - Gráfico evolutivo de custos de uma construção	17
Figura 4 - Armadura negativa de laje fora de posição.....	19
Figura 5 - Deformação aparente de uma ponte.....	20
Figura 6 - Exemplo de fissuração do tipo pele de crocodilo	21
Figura 7 - Diagrama de Pourbaix para o elemento Fe a temperatura 25 °C.....	22
Figura 8 - Exemplo de corrosão do concreto por eflorescência	23
Figura 9 - Ruptura de área de concreto causada por ataque químico expansivo.....	23
Figura 10 - Armadura em concreto não contaminado	24
Figura 11 - Tipos de corrosão do elemento de aço imerso no concreto	25
Figura 12 - Tipologia da corrosão de aço a) vista superior, b) vista lateral	26
Figura 13 - Movimentação de estrutura devido a temperatura.....	27
Figura 14 - Fissuras em lajes decorrentes à retração	28
Figura 15 - Fissuras em lajes devido à flexão (sobrecarga)	28
Figura 16 - Fissuras em vigas sob solicitação dos esforços a) flexão, b) tração, c) cortante, d) torção, e) perda de aderência e f) cargas concentradas	29
Figura 17 - Fissuras ocorridas por assentamento plástico	29
Figura 18 - Fissuração por movimentação de fôrmas e escoramentos	30
Figura 19 - Localização da ponte sobre o rio Pedra	31
Figura 20 - Divisão estrutural das análises.....	32
Figura 21 - Etapas metodológicas da análise da ponte sobre o Rio Pedra	32
Figura 22 - Esclerômetro Schmidt modelo N.....	33
Figura 23 - Bigorna para calibração do esclerômetro.....	34
Figura 24 - Área de ensaio e pontos de impacto	35
Figura 25 - Processo de ensaio de esclerometria.....	36
Figura 26 - Ábaco de esclerômetro de Schmidt Modelo N	36
Figura 27 - Fissurômetro	37
Figura 28 - Solução de fenolftaleína	38

Figura 29 - Ponte sobre Rio da Pedra	40
Figura 30 - Armadura exposta abaixo do tabuleiro	40
Figura 31- Armadura exposta abaixo do passeio.....	41
Figura 32 - Armadura exposta na base do pilar 2 e no apoio da ponte	41
Figura 33 - Abertura no pilar 4.....	43
Figura 34 - Aberturas no início do passeio.....	43
Figura 35 - Aberturas no final do passeio	44
Figura 36 - Abertura entre o apoio da ponte e o passeio	44
Figura 37 - Aberturas no passeio.....	45
Figura 38 - Furo encontrado na parte central do passeio.....	45
Figura 39 - Desnível na base do guarda corpo	46
Figura 40 - Situação do guarda corpo.....	47
Figura 41 - Juntas de dilatação entre a ponte e a estrada.....	47
Figura 42 - Eflorescência presente em vigas, pilares e lajes.	48
Figura 43 - Eflorescência existente na parte inferior do tabuleiro	48
Figura 44 - Entupimento do sistema de drenagem da ponte	49
Figura 45 - Presença de plantas sob a ponte.....	49
Figura 46 - Molde dos impactos do Pilar 1	50
Figura 47 - Aplicação dos golpes do esclerômetro no Pilar	51
Figura 48 - Aplicação da solução de fenolftaleína na base do pilar 2.....	54
Figura 49 - Aplicação da solução de fenolftaleína na base do pilar 3	54
Figura 50 - Aplicação da fenolftaleína na junção da ponte	55
Figura 51 - Aplicação da fenolftaleína na parte central do pilar 4	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificações das causas dos processos e deterioração do concreto.....	18
Quadro 2 - Classificação das fissuras de acordo com o tamanho da abertura.....	26
Quadro 3 - Análise das águas do rio Pedra no ano de 2018	42
Quadro 4 - Resultados da calibração do esclerômetro	51
Quadro 5 - Resultados do ensaio de esclerometria.....	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVOS	12
1.1.1. OBJETIVOS GERAIS	12
1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	12
1.2. JUSTIFICATIVA	12
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1. CONCEITO DE PATOLOGIA EM ESTRUTURAS	14
2.2. TIPOS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	17
2.2.1. PATOLOGIAS DO CONCRETO POR FALHAS NA CONCEPÇÃO DO PROJETO OU DURANTE A EXECUÇÃO	18
2.2.2. PATOLOGIAS RESULTANTES DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS E PEDESTRES	19
2.2.3. PATOLOGIAS RESULTANTE POR AÇÕES AMBIENTAIS	20
2.2.4. PATOLOGIAS RESULTANTE POR AÇÃO CORROSIVA.....	21
2.2.5. FISSURAS	26
3. METODOLOGIA	31
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	31
3.2. ETAPAS METODOLÓGICAS	33
3.3. MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.3.1. ENSAIO DE ESCLEROMETRIA	33
3.3.2. ENSAIO DE ABERTURAS	37
1.3.3. DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO... 38	
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
REFERÊNCIAS	58

1. INTRODUÇÃO

O estudo das patologias nas estruturas de concreto armado vem tomando grande espaço na construção civil como principal ferramenta para evitar a deterioração precoce e o colapso das estruturas. As manifestações patológicas podem ser originadas em todas as etapas de uma construção, desde a fase de projeto como também ao longo de sua vida útil.

Qualidade, tempo e economia são parâmetros primordiais quando empregados na construção, contudo ao se prezar a economia acima da qualidade e segurança muitos dos empreendimentos são propensos a apresentar falhas desde sua concepção. “Infelizmente alguns dos profissionais envolvidos na produção da obra são os primeiros a tentar mascarar falhas e lesões... Eles temem prejuízos financeiros, sem levar em conta que estas decisões tomadas, em questão de tempo, se manifestem em forma de lesões, possivelmente mais graves” (DOREA et. al., 2010).

Segundo Souza & Ripper (1998) o estudo das patologias implica em novos aprendizados e abordagens de estruturas a serem construídas ou reformadas, aliado aos aspectos econômicos, sociais e ambientais, torna-se mais efetivo a concepção e revitalização de obras.

No contexto geral dos estudos da patologia estrutural no Brasil, ainda não é dado a relevância ideal para a prevenção, cuidado e tratamento dos sinistros ocorridos nas construções que pode ser devido ao desconhecimento dos métodos e ensaios para identificação das patologias e possíveis tratamentos. Em razão disso, o presente trabalho tem o propósito de investigar as anomalias e sinistros da ponte sobre o rio Pedra localizada na avenida Caxangá no município de Delmiro Gouveia – AL.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho teve como objetivo realizar estudos do estado e preservação dos elementos estruturais da ponte sobre o rio Pedra localizada no município de Delmiro Gouveia – AL, além da quantificação das patologias apresentadas na obra.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Identificar e quantificar as patologias mais relevantes da ponte através de ensaios visuais e *in loco*;
2. Analisar e discutir a resistência superficial dos elementos de sustentação da ponte.

1.2. JUSTIFICATIVA

A escolha do tema surgiu a partir da vontade do autor em ter uma experiência no âmbito da vistoria da construção civil e controle de qualidade das obras além de abordar em um contexto geral a importância da preservação e manutenção do patrimônio público e proteção a vida. Após a escolha do tema, foi pesquisado construções antigas nos arredores da cidade com aspecto histórico, de importância para o município e que fosse necessária uma análise/vistoria do objeto a ser estudado.

Após pesquisas *in loco* no município juntamente com pesquisas bibliográficas já feitas pela universidade, foi escolhido a ponte sobre o rio Pedra para análise visto que os estudos feitos por Ramalho (2017) foram de cunho visual e quantitativo. Disposto de instrumentos laboratoriais para ensaios *in loco* como: esclerometria, solução de fenolftaleína e fissurômetro, foi capaz de aprofundar mais os estudos na ponte e obter resultados mais concisos de sua preservação.

Foi pontuado também a razão de importância da via para o município, já que a ponte é localizada sobre uma das estradas principais do município que faz ligação com outras cidades da região que, por consequência, influi na logística, turismo e economia do referido município.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do presente trabalho é dividida em 5 capítulos descritos resumidamente pela seguinte forma:

- Capítulo 1: Uma breve introdução abordando, de forma geral, o tópico estudado, juntamente com o propósito, objetivos gerais, objetivos específicos e a justificativa do trabalho.
- Capítulo 2: É feita a fundamentação do trabalho, aprofundando temas como: elementos estruturais, classificação e histórico das pontes, além de conceito e tipos de patologias.
- Capítulo 3: Nesse capítulo é descrito as características do objeto de estudo, os tipos de ensaios feitos os processos metodológicos dos mesmos com base nas regulamentações vigentes e os materiais utilizados.
- Capítulo 4: Nesse capítulo é apresentado os resultados decorrentes dos ensaios realizados e argumentações acerca dos mesmos.
- Capítulo 5: Nesse capítulo é descrito as conclusões e observações finais do trabalho, além de algumas sugestões para trabalhos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

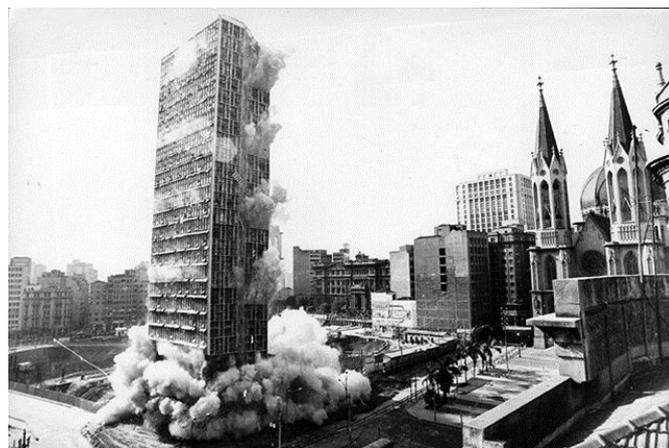
2.1. CONCEITO DE PATOLOGIA EM ESTRUTURAS

Devido ao intenso crescimento populacional e movimentação do mercado da construção civil juntamente com as inovações, foi-se acentuando maiores riscos principalmente através de estudos dos erros acontecidos que tem como exemplo a deterioração precoce ou acidentes (CÁNOVAS, 1988).

De forma exclusiva, o material concreto por se tratar de um complexo conjunto pseudo-sólido formado por vários elementos, deve ser observado e analisado com os mais modernos procedimentos. De modo geral, patologia das estruturas é definido pelo campo do estudo das origens, formas de manifestação e consequências das falhas e sistemas de degradação das estruturas (SOUZA & RIPPER, 1998).

Souza & Ripper (1998) complementa que com o envelhecimento das estruturas e a análise de diferentes comportamentos dos elementos de acordo com o tempo há a necessidade de se estabelecer modelos e métodos construtivos a tratar de manutenções preventivas e corretivas na estrutura afim de se evitar o colapso como visto na implosão de um prédio no centro de São Paulo, mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Demolição de um edifício por implosão no centro de São Paulo



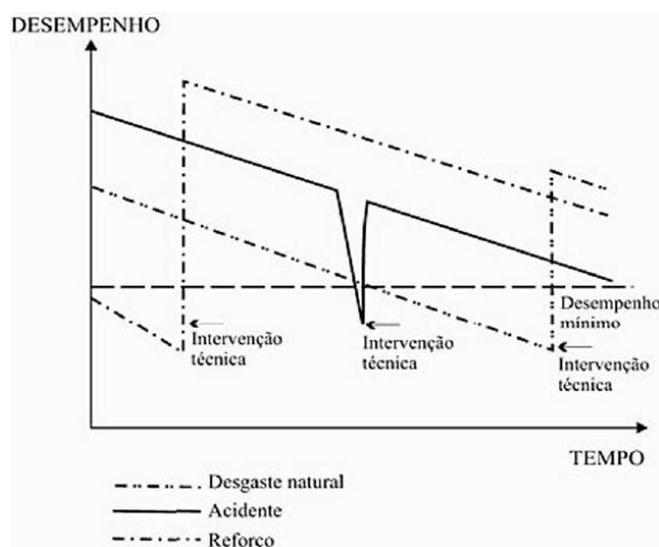
Fonte: NASCIMENTO, 2013.

De acordo com a resolução ISO 13823 (2008), a vida útil das estruturas corresponde ao período efetivo de tempo ao qual os elementos estruturais atendam aos requisitos de projeto, sem manutenções ou reparos previstos. A estrutura deve apresentar

um nível específico de segurança contra ruína, considerando o pior cenário de combinações de carregamento, ou seja, a situação de estado-limite último (NBR 15575, 2013).

Souza & Ripper (1998) define desempenho da estrutura como o comportamento de cada elemento estrutural ao longo da vida útil, e que seu estado ao longo do tempo será o reflexo do resultado desenvolvido nas etapas concepção, de execução e manutenção do projeto. A maioria dos danos apresentados pelas estruturas são do tipo evolutivo, que em prazos curtos ou longos, a estrutura pode chegar a uma situação de alarme ou perigo (CÁNOVAS, 1988), conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 - Diferentes desempenhos de uma estrutura, com o tempo em função de diferentes fenômenos patológicos



Fonte: SOUZA & RIPPER, 1998.

Na Figura 2 é representado três tipos de estruturas com diferentes desempenhos ao longo da vida útil em função das manifestações patológicas ocorridas. No primeiro exemplo representado pela linha contínua espessa, é retratado uma estrutura que em determinado momento teve a ocorrência repentina de um mal súbito (ex: acidente) ao qual foi necessária uma intervenção técnica para corrigir o dano e obter novamente o desempenho mínimo concebido em projeto.

O segundo exemplo, representado pela reta traço-ponto duplo, mostra o comportamento por desgaste natural da estrutura onde pode-se observar que no momento

da intervenção técnica, a estrutura volta a desempenhar acima do mínimo estrutural de projeto.

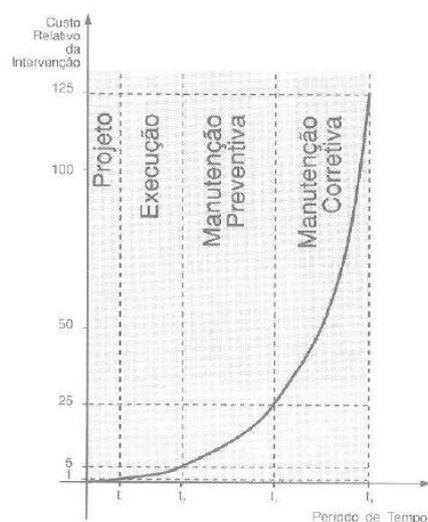
No terceiro exemplo, representado pela reta traço-ponto, observa-se que a estrutura inicialmente já conta com um desempenho abaixo do mínimo, pode inferir que esse baixo desempenho pode ser devido as falhas de projeto ou execução carecendo de reforço estrutural.

Souza & Ripper (1998) comenta que mesmo que exista um planejamento de manutenção definido, cada elemento estrutural pode, em função das patologias, se deteriorar até chegar no limite irreversível por falhas na concepção e/ou execução do projeto, enquanto outras obras podem chegar ao final das suas vidas úteis concebidas em projeto tendo ainda um bom desempenho.

A deterioração do concreto armado pode ser agrupada em duas categorias: por desgaste superficial ou perda de volume devido à abrasão, à erosão ou cavitação. Ou pela categoria de fissuração devido à temperatura, umidade, cristalização de sais nos poros e carregamentos estruturais (DNIT, 2006).

Do ponto de vista de Cánovas (1988), é preciso ter ciência da dificuldade de se determinar os principais motivos de um acidente e, conseqüentemente classificar as causas existentes juntamente com estatísticas fiéis, uma vez pode-se haver influência pessoal por apreço à obra na determinação da razão do sinistro. Para escolher e aplicar a terapia mais indicada para o elemento estrutural sob o fenômeno patológico, é fundamental conhecer seu construtor, o projeto da obra para revisão e análise, conhecer os elementos empregados no cimento e dispor dos dados do terreno.

Figura 3 - Gráfico evolutivo de custos de uma construção



Fonte: HELENE, 1992.

As etapas construtivas são divididas em quatro períodos: projeto, execução, manutenção preventiva e corretiva como mostrado na Figura 3, segundo Helene (1992) essa metodologia é chamada de “Lei de Sitter” onde os custos obedecem a uma evolução de comportamento de uma progressão geométrica de razão de quinto grau.

2.2. TIPOS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

As manifestações patológicas também chamadas de lesões, falhas ou sinistros, podem ser descritos e classificados a partir de ensaios visuais e laboratoriais. Os sinistros mais usuais ocorridos nas estruturas de concreto são: eflorescências, flechas excessivas, corrosão de armaduras, fissurações, segregação de material, entre outros (HELENE, 1992).

Fusco (2012) comenta que a maioria dos mecanismos de agressão do concreto depende da ação de agressores externos que adentram ao elemento por meio de poros e fissuras conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Classificações das causas dos processos e deterioração do concreto

Causas dos processos de deterioração das estruturas	
Causas intrínsecas (inerentes às estruturas)	Falhas humanas
	Causas naturais próprias ao material concreto
Causas extrínsecas (externas ao corpo estrutural)	Ações externas

Fonte: SOUZA & RIPPER, 1998.

De acordo com o Quadro 1, em sua totalidade, as patologias surgem devido às causas naturais ou por falhas por mão de obra ou por qualidade seja de serviço ou de material.

As obras de concreto devem ser inspecionadas de forma periódica para que eventuais deformações e sinistros sejam detectadas e diagnosticadas com antecedência para o devido tratamento e correção, especialmente em obras portuárias, complexos industriais, obras marítimas, represas, entre outras (CÁNOVAS, 1988). As diversidades dos sinistros podem acontecer desde a concepção de projeto até o longo da sua utilização como será mostrado a seguir as principais formas de patologias.

2.2.1. PATOLOGIAS DO CONCRETO POR FALHAS NA CONCEPÇÃO DO PROJETO OU DURANTE A EXECUÇÃO

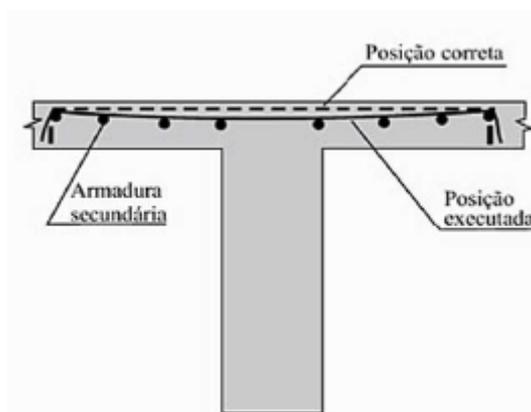
Souza & Ripper (1998) definem como defeitos de construção que, na maioria das vezes, são consequentes das deficiências técnicas na concepção do projeto estrutural ou de locação e de qualificação profissional na execução da obra que podem tornar a possibilidade do aparecimento de problemas patológicos.

Na maioria dos defeitos das obras decorre da incorreta armação das peças e também devido ao próprio processo de fabricação do concreto (CÁNOVAS, 1988). A falta de detalhes de projeto ou mesmo com muitas informações pode levar ao profissional executor ao erro, assim como erros de conceito estrutural, erro de medição do traço correto, deslocamentos de armaduras não projetadas devido à falta de fixadores, entre outros.

Souza & Ripper (1998) destaca que além dessas causas citadas anteriormente, um dos maiores problemas patológicos frequentes são a falta ou imperfeição da camada de cobrimento suficiente do concreto, deficiência no sistema de ancoragem e deficiências no sistema de emenda de armaduras. O mesmo autor comenta que a deficiência ou o desfalque do cobrimento do concreto faz com que a armadura seja mais vulnerável a ataques de agentes agressivos externos, facilitando o aparecimento de patologias.

A consequência da carência ou falta de ancoragem resulta em um quadro de fissuração que, na maioria das vezes, pode gerar graves consequências conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 - Armadura negativa de laje fora de posição



Fonte: SOUZA & RIPPER, 1998.

Em relação à deficiência nas emendas, uma excessiva concentração de barras e emendas podem provocar um quadro de fissuras de grande gravidade mostrado na Figura 4.

2.2.2. PATOLOGIAS RESULTANTES DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS E PEDESTRES

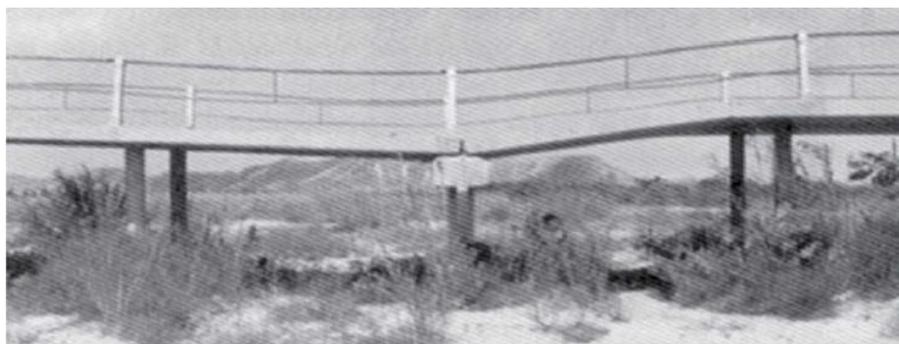
De acordo com o manual de recuperação de pontes e viadutos fornecido pelo DNIT (2010), há a possibilidade do aparecimento de patologias nas pontes por consequência de fatores externos, como: efeitos dinâmicos (fadiga e ações cíclicas), eventuais colisões de veículos, frequência e concentração de esforços advindos de veículos (especialmente veículos de grandes cargas), entre outros.

Do ponto de vista de Souza & Ripper (1998), os choques de veículos contra os elementos estruturais resultam no desgaste superficial até a ruína parcial ou total das peças sem uma proteção adicional pré-existente.

2.2.3. PATOLOGIAS RESULTANTE POR AÇÕES AMBIENTAIS

Efeitos atmosféricos como chuva, granizo e neve contribuem com o aparecimento de patologias nas estruturas do concreto armado (DNIT, 2010). Em geral, no que tange as estruturas especiais, os efeitos das variações do nível de água, efeitos sísmicos, variação de temperatura, ação de cloretos e sulfatos contidos nos corpos hídricos e efeitos de insolação não uniforme incidindo no elemento estrutural são as ações principais cooperam na deformação e alteração da obra conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Deformação aparente de uma ponte

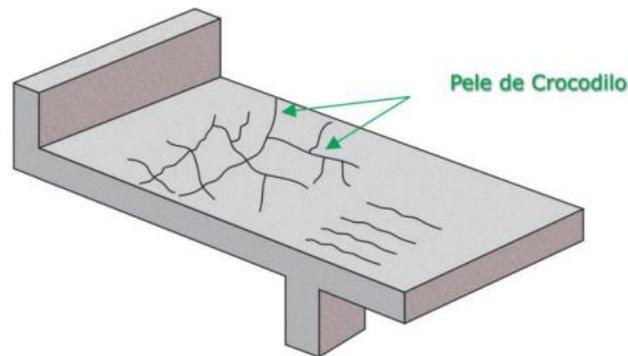


Fonte: PFEIL, 1979.

As ocorrências desses eventos naturais são imprevisíveis, em tese essas solicitações são abruptas e de alta intensidade como exemplos: sismos, inundações e principalmente vento como mostrado na Figura 10. “... no Brasil, os arquivos indicam que os acidentes mais graves e comuns são os devidos à ação do vento (em galpões industriais, principalmente) e aos incêndios”. (PFEIL, 1979).

Segundo Cánovas (1988), os fatores de maior influência sob o concreto armado durante o inverno são as geadas, a umidade, o vento, a chuva e a neve. A geada prejudica o concreto na fase de endurecimento onde os vasos capilares do concreto são preenchidos com água congelada que impõe uma pressão no concreto, que ainda não tem resistência à tração suficiente para suportar, resultando em um quadro alto de desagregação e fissuras como por exemplos aberturas do tipo pele de crocodilo conforme a Figura 6.

Figura 6 - Exemplo de fissuração do tipo pele de crocodilo



Fonte: MENEGHETTI, 2016.

O vento, segundo Cánovas (1988), amplia os efeitos das baixas temperaturas infligindo ao concreto uma perda de calor acelerada principalmente na superfície. A umidade, no caso de haver uma condição de massa de ar seco, pode induzir ao concreto um deslocamento de água para a superfície criando uma condição de retração e fissuração com forma de pele de crocodilo como visto na Figura 6.

Os efeitos da chuva e neve geram variações volumétricas do concreto que se convertem em dilatações e contrações não previstas em projeto (CÁNOVAS, 1988).

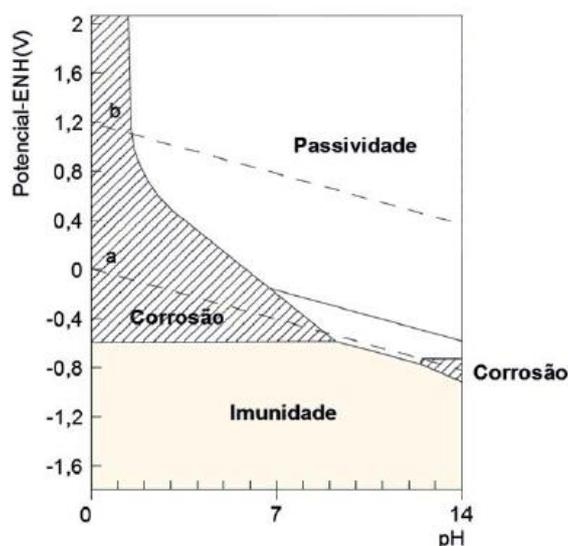
2.2.4. PATOLOGIAS RESULTANTE POR AÇÃO CORROSIVA

Cánovas (1988) afirma que as ações físicas podem desgastar e destruir os elementos de concreto, já as ações de natureza química são as maiores causadoras de deterioração das estruturas gerando altos gastos em proteção e manutenções anualmente.

O interior do concreto possui alta alcalinidade proveniente da hidratação do concreto, o que protege a armadura de aço da corrosão é a existência de uma película protetora chamada de proteção química passiva que ampara a integridade do concreto (CASCUDO, 1997).

Na região onde se encontra o elemento de aço juntamente com a película protetora a corrosão não é exatamente nula, mas é exponencialmente baixa no valor em que a aparência da barra de aço se mantém inalterada (MEIRA, 2017). Para o elemento de aço sofrer o aumento do efeito de corrosão, deve-se iniciar condições termodinâmicas favoráveis para a despassivação da armadura.

Figura 7 - Diagrama de Pourbaix para o elemento Fe a temperatura 25 °C



Fonte: POURBAIX, 1974.

Segundo Andrade (1988), o diagrama de Pourbaix mostrado na Figura 8 estabelece as condições de pH e potencial elétrico aos metais sob situação de imunidade a corrosão, passividade e corrosão.

Dividem a corrosão do concreto armado em dois fatores, fatores químicos e eletroquímicos. A corrosão química é acometida no concreto em que a argamassa de cimento entra em reação com as propriedades alguns elementos químicos como sais, ácidos e bases (SOUZA & RIPPER, 1988).

A corrosão eletroquímica, de acordo com Helene (1993), é resultado na formação de óxidos/hidróxidos de ferro com um aumento no volume inicial (origem) usualmente criando uma crosta superficial aos elementos de aço denominada de oxidação ou ferrugem.

- Corrosão química:

De acordo com Souza & Ripper (1998), a corrosão química do concreto é dividida em três tipos: corrosão por lixiviação, por reação iônica e por expansão.

a) Corrosão por lixiviação:

A corrosão por lixiviação ou fenômeno da eflorescência baseia-se no deslocamento forçado do hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) do cimento endurecido devido a entrada de compostos hídricos contaminados como exemplo águas pantanosas, ácidas,

subterrâneas resultando na corrosão das armaduras e na diminuição do pH do concreto (SOUZA & RIPPER, 1988).

Figura 8 - Exemplo de corrosão do concreto por eflorescência



Fonte: SABAI, 2017.

Com o ataque de águas contaminadas, o concreto começa a apresentar alto nível de porosidade e ao estar vulnerável às intempéries externas, com o tempo, começa o processo de desintegração como pode-se observar na Figura 9.

b) Corrosão por reação iônica:

A reação iônica é definida pela reação química dos íons presentes em algumas substâncias presentes no concreto. Os principais elementos químicos iônicos reagentes são: Magnésio ($MgSO_4$), amônio (NH_4), cloro (Cl) e nitrato (HNO_3) (SARTOTI, 2008).

c) Corrosão por expansão:

Figura 9 - Ruptura de área de concreto causada por ataque químico expansivo



Fonte: ANDRADE, 1988.

Souza & Ripper (1998) comentam que a corrosão por expansão se dá pelas reações de sulfatos com o cimento resultando no aumento de volume gradual (expansão) e desagregação como mostrado na Figura 10. Os principais sulfatos reagentes são: amoníaco ((NH₄)₂SO₂), o cálcico (CaSO₄), sódio (Na₂SO₄) e magnésio (MgSO₄) (SARTOTI, 2008).

- Corrosão eletroquímica:

A corrosão eletroquímica apresenta-se inicialmente nos pontos que atuam como ânodos (eletrodo que, por meio de carga positiva, flui para o interior do elemento polarizado). Essa corrosão manifesta principalmente devido a imperfeições no aço, tensões alteradas aplicadas e ao meio em que o elemento estrutural está (CÁNOVAS, 1988).

Souza & Ripper (1998) comentam que para o entendimento desse fenômeno deve-se entender que o meio pode ser ácido (ph < 7), neutro (ph = 7) e alcalino (ph > 7). Sabendo que o interior é alcalino (ph entre 12 e 14), a reação entre agentes externos agressivos resulta na diminuição do ph e contribui para a oxidação das moléculas de ferro da armadura como mostra a Figura 11.

Figura 10 - Armadura em concreto não contaminado



Fonte: ANDRADE, 1988.

Andrade (1988) comenta que a causa da despassivação da armadura de aço pode acontecer em duas situações:

- a) Presença de quantidade de cloretos: em que pode ocorrer no amassamento (mistura) do concreto ou por ações exteriores por substâncias despassivantes;
- b) Diminuição ph: reação entre os elementos do cimento e substâncias ácidas no meio.

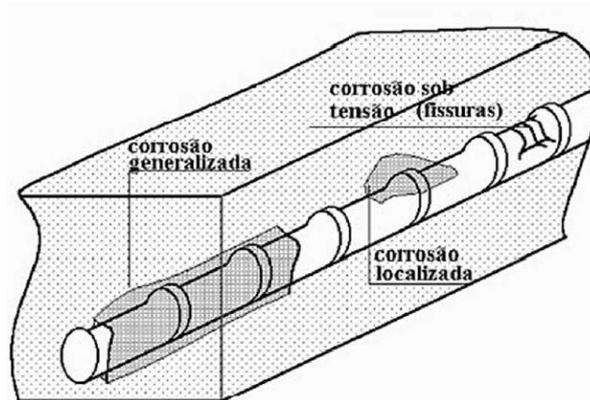
Souza & Ripper (1998) conceituam a corrosão da armadura em três tipos:

1. Corrosão por tensão fraturante: quando o elemento é submetido a altas tensões mecânicas próximas a meios agressivos, resultando na perda de resistência estrutural e inutilização da peça.

2. Corrosão pela presença de hidrogênio atômico: fragiliza e gera fraturas no elemento de aço, avariando a peça.

3. Corrosão por pite: pode ser feita por duas formas conforme mostrado na Figura 12.

Figura 11 - Tipos de corrosão do elemento de aço imerso no concreto



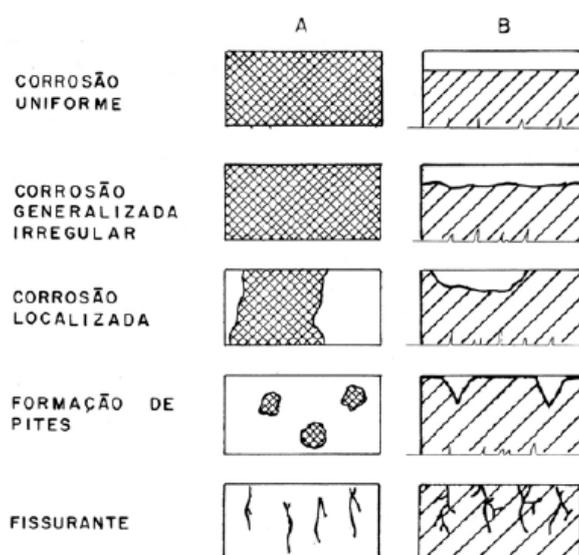
Fonte: SOUZA & RIPPER, 1998.

4. Corrosão localizada: como mostrado na Figura 12, é definida pelo ataque de íons agressivos na presença de umidade e oxigênio (principalmente os elementos cloretos).

5. Corrosão generalizada: também chamada de carbonatação, é a diminuição da alcalinidade do concreto por meio da ação do dióxido de carbono (CO_2) presente na atmosfera conduzido pelos poros ilustrada na Figura 12 acima.

A corrosão das armaduras acarreta na diminuição da seção de aço em que, em uma escala avançada de corrosão, pode levar a estrutura a inutilização ou a ruína (SARTOTI, 2008). Andrade (1988) identifica os tipos de corrosão de acordo com a Figura 13 mostrada a seguir:

Figura 12 - Tipologia da corrosão de aço a) vista superior, b) vista lateral



Fonte: ANDRADE, 1988.

Como mostrado na Figura 13, Souza & Ripper (1998) afirmam que a corrosão fissurante é advinda de grandes esforços ocorridos no início da montagem como estruturas de protensão, ainda assim altas tensões no concreto armado podem levar o aparecimento dessa forma de corrosão.

2.2.5. FISSURAS

Tem-se três motivos para combater o aparecimento das fissuras: corrosão das armaduras (durabilidade da estrutura), estética e estanqueidade (CALDAS, 1997). Do ponto de vista de Souza & Ripper (1998), o quadro de fissuração como falha estrutural dependerá da intensidade, magnitude e origem das tensões trativas no elemento estrutural.

Segundo Thomaz as fissuras apresentam dimensões e denominações diferentes, dessa forma pode-se classifica-las como mostrado no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 - Classificação das fissuras de acordo com o tamanho da abertura

Tipos de aberturas	Tamanho
Fissura	Até 0,5 mm
Trinca	Entre 0,5 mm a 1,0 mm
Rachadura	Entre 1,0 a 1,5 mm
Fenda	Acima de 1,5 mm

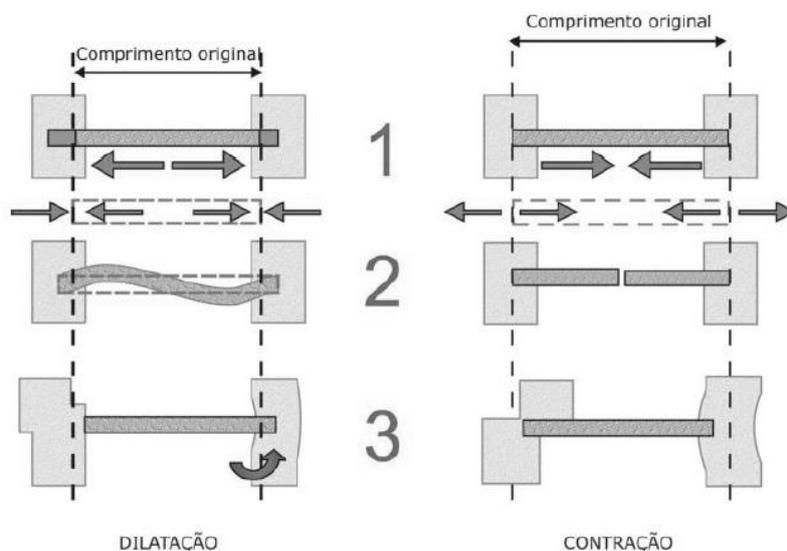
Fonte: IBAPE, 2003.

Filho & Carmona (2013) afirmam que a concepção estrutural irregular e a falta ou incorreto detalhamento de peças especiais pode ocasionar quadros fissuratórios graves como comprimentos inadequados de armaduras, defeitos em emendas, falta de detalhes em apoios, entre outras.

De acordo com o DNIT (2006), as fissurações podem ocorrer de acordo com os seguintes tópicos:

I. Fissuração devida a gradientes normais de temperatura e umidade

Figura 13 - Movimentação de estrutura devido a temperatura



Fonte: MENEGHETTI, 2016.

No momento em que a temperatura incidir no elemento estrutural e a variação de volume de concreto gerar deslocamentos e tensões de tração acima do limite dimensionado em que há a possibilidade do aparecimento de fissuras (DNIT, 2006), como mostrado na Figura 14.

Filho & Carmona (2013) explica que ao decorrer de altas temperaturas incidindo no concreto, ocorrem reações exotérmicas no momento da hidratação do concreto e após o resfriamento decorre o processo de contração diferencial.

Figura 14 - Fissuras em lajes decorrentes à retração



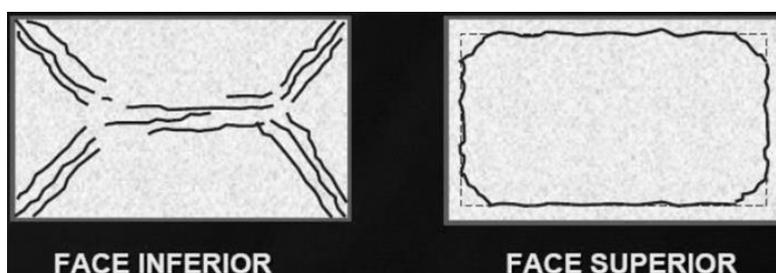
Fonte: SOUZA & RIPPER, 1998.

De acordo com a Figura 15, o caso de peças grandes, deve se atentar a disposição da armadura de pele e da interação estrutura-meio desde a fase de concretagem, observando sempre os níveis de água aplicada para não se prejudicar a cura do elemento estrutural (SOUZA & RIPPER, 1998).

II. Fissuração devido a deficiências de projeto e à carga estrutural

Segundo DNIT (2006), toda solicitação não prevista no projeto como: sobrecargas, impactos excepcionais, cargas cíclicas não dimensionadas, podem provocar o aparecimento de fissuras nos elementos estruturais conforme visto na Figura 16.

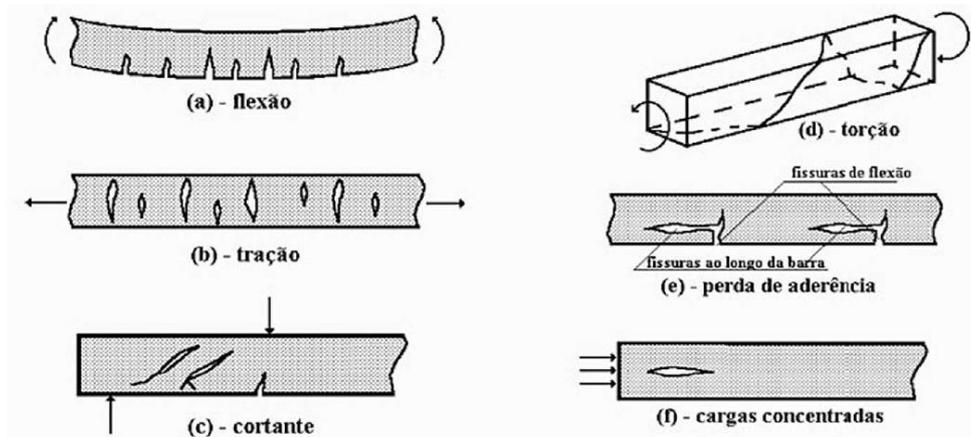
Figura 15 - Fissuras em lajes devido à flexão (sobrecarga)



Fonte: MENEGHETTI, 2016.

As falhas dos projetos estruturais têm impacto direto na durabilidade da estrutura visto que o mal dimensionamento de cargas em um ponto da obra pode afetar toda estrutura desde o aparecimento de fissuras até o colapso (SOUZA & RIPPER, 1998), conforme mostra a Figura 17.

Figura 16 - Fissuras em vigas sob solicitação dos esforços a) flexão, b) tração, c) cortante, d) torção, e) perda de aderência e f) cargas concentradas



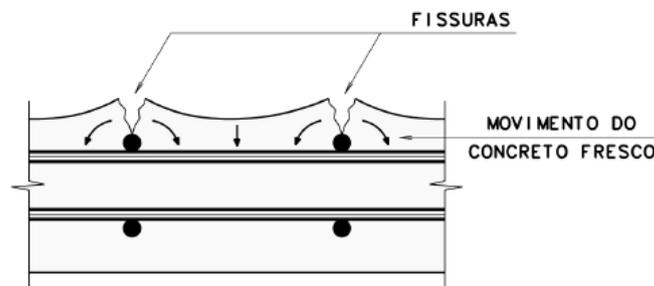
Fonte: SOUZA & RIPPER, 1998.

Devido ao concreto ser um material que apresenta baixa resistência à tração (aproximadamente 10% da resistência a compressão) as fissuras devido a compressão se destaca entre as demais visto que o concreto está sob efeito de esmagamento e a um possível colapso (SARTOTI, 2008).

III. Fissuração devida à perda de aderência da armadura

Souza & Ripper (1998) define que a fissuração por perda de aderência da armadura ocorre devido à tendência de movimento natural da barra de aço pela ação da gravidade, esse movimento é impedido devido ao escoramento por fôrmas conforme a Figura 18.

Figura 17 - Fissuras ocorridas por assentamento plástico

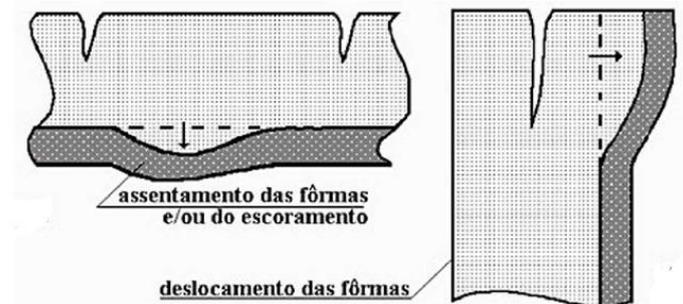


Fonte: FILHO & CARMONA, 2013.

Erros na forma de escorar as estruturas e o incorreto manuseio da retirada das escoras pode possibilitar o aparecimento das fissuras, assim como a retirada precoce do concreto ainda fresco (FILHO & CARMONA, 2013), como mostrado na Figura 18.

Segundo Ripper & Souza (1998), as fissuras pela aplicação do concreto nas armaduras acompanham o desenvolvimento das armaduras visto que o assentamento falho do concreto fluído pode ocasionar zonas de vazio ao decorrer do corpo estrutural, fazendo com que a barra de aço tenha espaço para se movimentar e provocar fissuras.

Figura 18 - Fissuração por movimentação de fôrmas e escoramentos

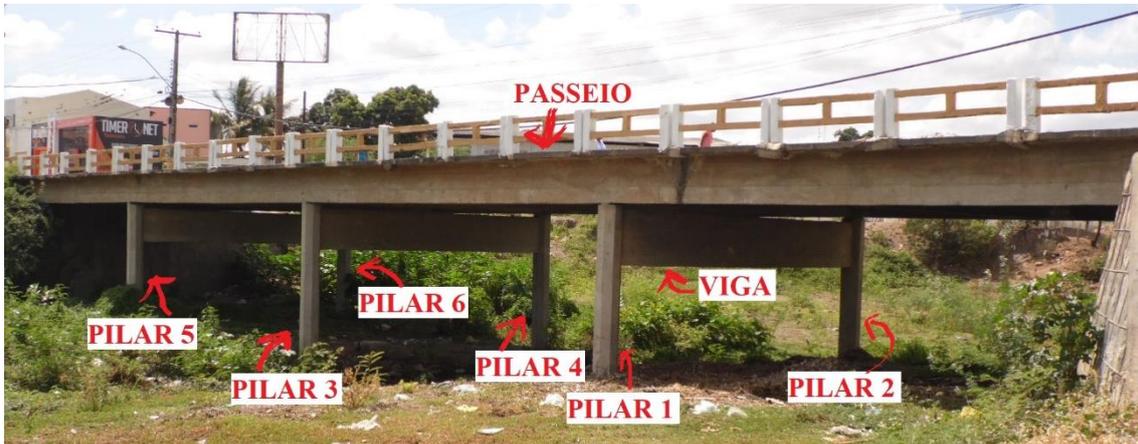


Fonte: SOUZA & RIPPER, 1998.

As fissuras podem ocorrer por deformações das peças de escoramento (fôrmas) como desalinhamento, desaprumo, flambagens, entre outras como pode ser visto na Figura 19 acima.

De acordo com dados da prefeitura local, a ponte em estudo tem 4,20 metros de altura a partir da superfície mais profunda do nível do rio, possui cerca de 16.5 metros de comprimento e 8,75 metros de largura. No estudo da ponte foi analisado cada elemento estrutural de forma individual, sendo definidos de acordo com a Figura 21.

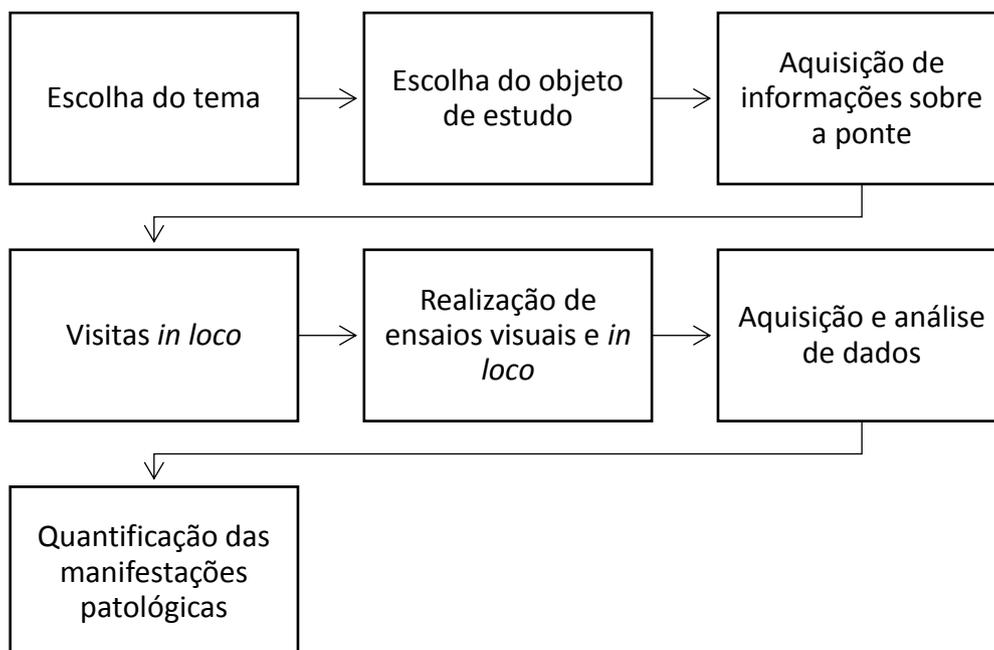
Figura 20 - Divisão estrutural das análises



Fonte: Autor, 2019.

Após a escolha do objeto de estudo, seguiu-se o aprofundamento bibliográfico juntamente das inspeções visuais e ensaios *in loco*. As etapas de desenvolvimento da metodologia estão representadas de acordo a Figura 22.

Figura 21 - Etapas metodológicas da análise da ponte sobre o Rio Pedra



Fonte: Autor, 2019.

3.2. ETAPAS METODOLÓGICAS

Conforme a Figura 22 e baseado na metodologia de Dorea et. al. (2010), após a escolha do objeto de estudo, os procedimentos metodológicos foram estruturados pelos seguintes passos:

1. Investigação e aquisição de informações sobre a ponte fornecidos pela prefeitura de Delmiro Gouveia e pelo Departamento de Estradas de Rodagem – DER;
2. Realização de visitas *in loco* com objetivo de obter um relatório fotográfico do estado da ponte;
3. Aplicação de ensaios usando equipamentos, como: esclerômetro, fissurômetro e solução de fenolftaleína para auxiliar no diagnóstico além de ensaios visuais.
4. Análise dos resultados dos ensaios realizados;
5. Compilação e quantificação dos resultados.

3.3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.3.1. ENSAIO DE ESCLEROMETRIA

I. Materiais:

De acordo com a NBR 7584/2012, o esclerômetro consiste de uma ferramenta massa-martelo que por meio de uma mola colide contra a superfície de ensaio através de uma haste com ponta esférica conforme mostra a Figura 23.

Figura 22 - Esclerômetro Schmidt modelo N



Fonte: AMC Equipamentos, 2019.

Previamente do ensaio *in loco*, de acordo com a NBR 7584/2012, deve ser aferido em uma bigorna especial de aço com guia conforme Figura 24. Além do esclerômetro e da bigorna, se fez necessário um disco para polimento manual da área de ensaio.

Figura 23 - Bigorna para calibração do esclerômetro



Fonte: Autor, 2019.

II. Métodos:

O ensaio de esclerometria é fundamentado pela norma NBR 7584 (2012) intitulada de Concreto Endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio em que define o ensaio como não destrutivo tendo o objetivo de medir a dureza superficial do concreto.

Inicialmente é feito a calibração do esclerômetro com 10 impactos na bigorna de aço (mínimo exigido por norma) visto que a cada 300 golpes com o instrumento faz-se necessária a calibração. O resultado da calibração obedeceu ao índice de correlação apresentado pela equação 1.

$$k = \frac{n \cdot I_{Enom}}{\sum_{i=1}^n I_{Ei}} \quad \text{(Equação 1)}$$

Sendo:

k: coeficiente de correlação do índice esclerométrico;

n: número de golpes na bigorna de aço;

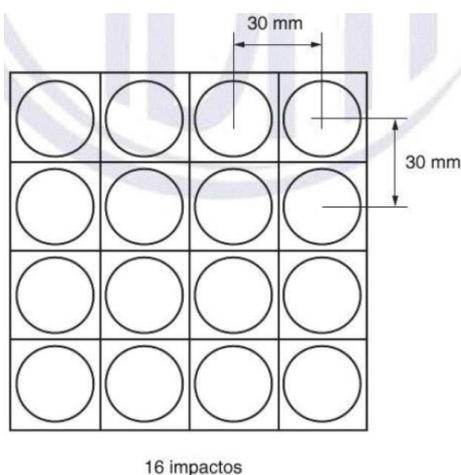
I_{Enom} : índice nominal esclerométrico do aparelho fornecido pelo fabricante;

I_{Ei} : índice obtido por cada golpe na bigorna de aço.

Após o instrumento ser calibrado, foi feita visitas *in loco* na ponte para a aplicação do ensaio. De acordo com a norma NBR 7584(2012), as superfícies de concreto devem ser preferencialmente planas e limpas, com o mínimo de falhas possíveis visto que superfícies irregulares não fornecem resultados coerentes e confiáveis.

Ao escolher a superfície de ensaio, foi utilizado o processo de lixamento da superfície com o disco de carbono através de movimentos circulares. Após o lixamento, os moldes de impactos foram realizados seguindo as especificações da norma NBR 7584 (2014), conforme mostra a Figura 27.

Figura 24 - Área de ensaio e pontos de impacto

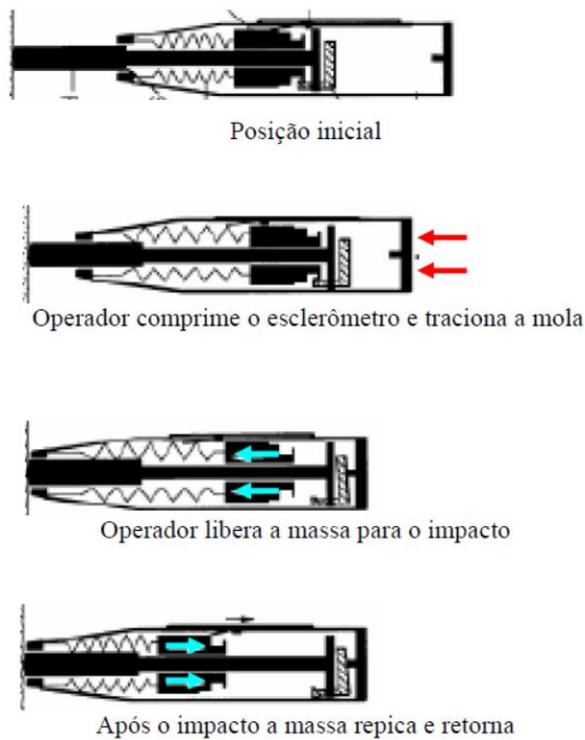


Fonte: ABNT NBR 7584, 2012.

Os moldes de impacto foram feitos na superfície com material de gesso, para não causar modificações consideráveis nos resultados. Em locais onde visivelmente haviam indícios de patologias (ex: eflorescências, desagregação, aberturas, etc.) foram evitados devido a possibilidade de imperfeições superficiais podem provocar alterações nos resultados.

O processo de aplicação dos impactos com o esclerômetro seguiu os procedimentos de Thomaz (2007) como mostra as Figura 28.

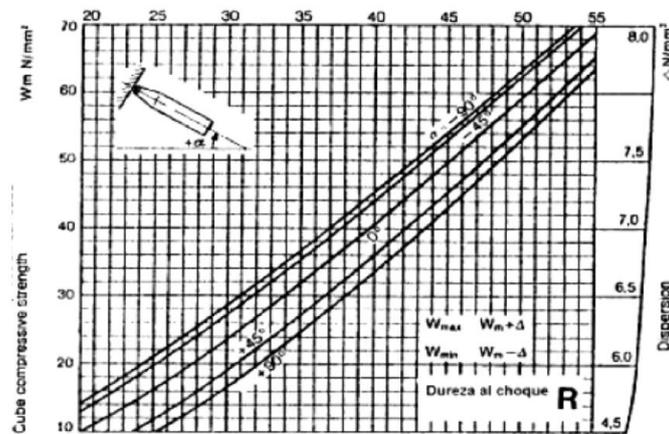
Figura 25 - Processo de ensaio de esclerometria



Fonte: THOMAZ, 2007.

A partir dos valores resultantes dos índices esclerométricos do ensaio, deve-se calcular uma média aritmética geral dos resultados e desconsiderar valores inferiores e superiores a 10% do valor médio obtido (taxa de erro médio). Após obter os valores dos índices esclerométricos se faz necessário a utilização do ábaco de esclerômetro Schmidt Modelo N, conforme Figura 29, para a conversão em unidades de resistência a compressão (MPa).

Figura 26 - Ábaco de esclerômetro de Schmidt Modelo N



Fonte: Fabricante, 2019.

A análise do ábaco representado na Figura 35 se dá pela relação dos valores de índices esclerométricos (eixo x) pelos valores de resistência superficial de reflexão (eixo y). O resultado dependerá da linha de tendência da angulação do esclerômetro definidas por três ângulos: 0°, 45° e 90° em sentido horário e anti horário.

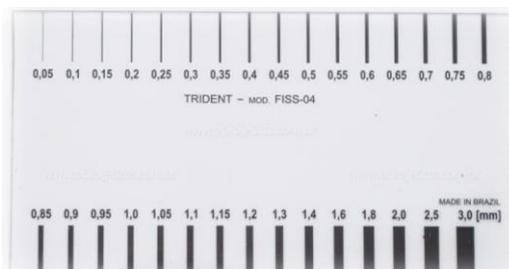
Por se tratar de um resultado obtido por uma linha de tendência padrão, à esquerda do ábaco têm-se a variação de resistência (Δ) que é relacionada a cada dezena de resistência. Nesse presente trabalho todos os ensaios foram feitos com o esclerômetro na angulação em 0°.

3.3.2. ENSAIO DE ABERTURAS

I. Materiais:

De acordo com o manual de inspeção de pontes do DNIT 709-IPR (2004), as pontes devem passar por procedimentos de vistoria para a verificação da existência e do grau de aberturas nos elementos estruturais com o instrumento fissurômetro mostrado na Figura 25.

Figura 27 - Fissurômetro



Fonte: Autor, 2019.

Foi feito o uso do instrumento fissurômetro, mostrado na Figura 31, para coletar dados e pressupor as causas patológicas do concreto, como também o grau de degradação. A caracterização das fissuras seguiu o Quadro 2 já mencionado no texto. Também foi utilizado uma câmera de 13 megapixels, régua milimetrada e lupa.

II. Métodos:

O ensaio de aberturas seguiu os procedimentos da norma NBR 15575 (2013) e classificação das aberturas de acordo com o Quadro 2 já mencionado. Foi feito análises em 6 pilares, no passeio e no tabuleiro da ponte.

A escolha dos pontos seguiu o grau de importância, destacado no manual de inspeção de pontes do DNIT (2004), de acordo com a seguinte relação:

- a) Elementos principais: estruturas que resistem a esforços e transmissão de cargas como pilares e vigas.
- b) Elementos secundários: estruturas de contraventamento ou estruturas de distribuição de cargas como lajes.
- c) Estrado: estruturas situadas no prolongamento físico da rodovia como passeio, guarda corpo, juntas de dilatação, sistemas de drenagem, etc.

1.3.3. DETERMINAÇÃO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO

I. Materiais:

O ensaio da profundidade de carbonatação seguiu a metodologia e as especificações do ensaio E391(2019) do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), onde foi usado um borrifador e a solução alcoólica de fenolftaleína, este último mostrado pela Figura 26 e um pincel de hastes macias.

Figura 28 - Solução de fenolftaleína



Fonte: Autor, 2019.

II. Métodos:

O ensaio seguiu os procedimentos do LNEC (2019) onde foi analisado pontos divididos em duas categorias.

- I. Gravidade I (críticos): pontos que visualmente apresentavam desgaste, armaduras expostas, desagregação, furos ou aberturas em até 1 centímetro de profundidade.
- II. Gravidade II (graves): pontos que não apresentam visualmente desgaste abrasivo, porém apresentam aberturas em estruturas de alta importância estrutural como pilares, vigas e lajes.

A análise se dá pela observação da reação da solução de fenolftaleína na área de aplicação do concreto, a área correspondente a coloração rosa ilustrada na Figura 26 equivale a área não afetada pela carbonatação, de outro modo, caso a área não apresente coloração roseada esta é classificada como atingida por ação da carbonatação.

Previamente, foi feita a limpeza das aberturas com o pincel com haste macia para retirar as impurezas existentes, logo após foi feita a aplicação da solução da fenolftaleína e a verificação visual da reação química.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi feito a verificação do estado estrutural e das patologias existentes, também foi realizado uma composição de fotos para relatório fotográfico, conforme mostra a Figura 30.

Figura 29 - Ponte sobre Rio da Pedra



Fonte: Autor, 2019.

Ao analisar visualmente a ponte, mostrado na Figura 36, foi constatado que há indícios de patologia por todo o corpo estrutural.

- Resultado da análise visual:

I. Armaduras expostas:

Figura 30 - Armadura exposta abaixo do tabuleiro



Fonte: Autor, 2019.

De acordo com Souza & Ripper (1998), a provável causa da exposição de armaduras é referente a desagregação do concreto decorrente da oxidação do ferro que no processo, se expande volumetricamente implicando uma pressão confinada suficiente para causar a ruptura do concreto o que pode ser a causa da patologia da Figura 31.

Do ponto de vista de Santos (2015), regiões submetidas ao efeito de tração possui o efeito de carbonatação mais intenso, isso ocorre devido ao esforço de tração provocar aberturas no elemento estrutural e assim resultar na oxidação do aço, o que pode resultar na diminuição da vida útil da estrutura, conforme mostra a Figura 32.

Figura 31- Armadura exposta abaixo do passeio



Fonte: Autor, 2019.

De acordo com registros da prefeitura local, em tempos chuvosos o nível do rio Pedra chega próximo ao patamar do passeio. Assim, por falta de revestimento impermeabilizante ou imperfeições construtivas, há a possibilidade da água percolar por entre as aberturas oxidando as armaduras conforme mostra a Figura 33.

Figura 32 - Armadura exposta na base do pilar 2 e no apoio da ponte



Fonte: Autor, 2019.

De acordo com Damasceno (2018), em seu relatório sobre as águas do rio Pedra cedido pela Secretaria do Meio Ambiente de Delmiro Gouveia - AL, foi observado os

valores de ph e oxigênio dissolvido que são índices relacionados a potabilidade e ao estado de conservação das águas. Esse relatório teve o acompanhamento de análises com a duração de 6 semanas conforme mostra o Quadro 3.

Quadro 3 - Análise das águas do rio Pedra no ano de 2018

Semana	Data	Parâmetro	Medição	Observações
1	25/07	ph	7.45	Céu limpo
		OD (mg/L)	-	
2	01/08	ph	7.24	Céu limpo
		OD (mg/L)	-	
3	08/08	ph	6.5	Céu limpo, mas com chuva de madrugada
		OD (mg/L)	7.41	
4	15/08	ph	7.21	Céu nublado, mas sem chuva. Ocorrência de chuva na madrugada
		OD (mg/L)	6.4	
5	22/08	ph	7.21	Céu limpo e ensolarado
		OD (mg/L)	1.5	
6	29/08	ph	7.56	Céu parcialmente nublado e sem chuva.
		OD (mg/L)	4.6	

Fonte: DAMASCENO, 2018. (Adaptado pelo autor)

Damasceno (2018) comenta a parcela de oxigênio dissolvido em águas limpas é geralmente acima de 5 mg/L, em águas ricas de nutrientes normalmente esse valor é superior a 10 mg/L, de acordo com os dados obtidos na semana 5 e 6 o autor comenta que há indícios de águas provenientes de descarte de esgoto além da existência e plantas baronesas no local.

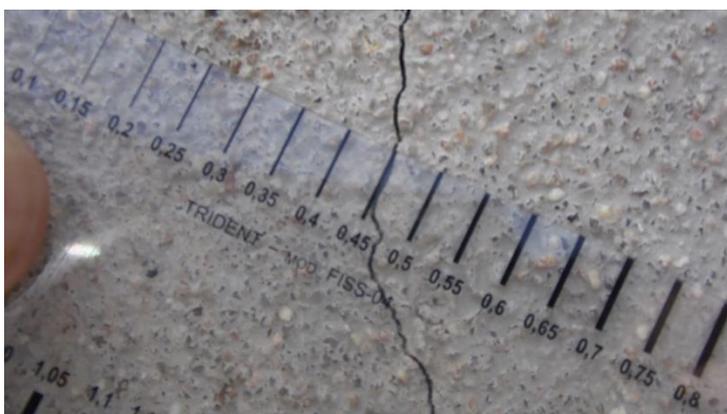
Segundo a resolução do CONAMA 357, o teor de ph favorável à vida aquática deve estar entre os níveis 6 a 9. Damasceno (2018) comenta que, de acordo os valores obtidos no Quadro 3, os níveis de ph estão dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA.

Com as informações mencionadas por Damasceno e as evidências das alterações químicas das águas do rio Pedra devido a emissões de efluentes sem tratamento fica evidente de que o elemento responsável da oxidação e exposição das armaduras seja as águas.

- Análise de aberturas:

Foram verificadas aberturas nos pilares, passeio e das junções da ponte. Por se tratar de um importante elemento de transmissão de carga foi analisada a abertura na extensão do elemento como mostra a Figura 34.

Figura 33 - Abertura no pilar 4



Fonte: Autor, 2019.

De acordo com o Quadro 2, a abertura mostrada na Figura 40 se caracteriza como fissura (até 5 mm).

Nas junções da ponte foi observada aberturas de grande gravidade como mostra as Figuras 35 e 36.

Figura 34 - Aberturas no início do passeio



Fonte: Autor, 2019.

A abertura mostrada na Figura 35 tem aproximadamente 22x13 cm de proporções, de acordo com o Quadro 2 desse estudo a abertura é classificada como fenda. De acordo com o DNIT (2004) elementos protendidos com aberturas de fissuras maiores que 0,2

mm, na maioria das situações, indicam sobrecargas expressivas ou deficiência nos esforços de protensão.

Foi verificado que nas junções iniciais e finais da ponte existem aberturas de altas proporções, conforme mostra a Figura 36.

Figura 35 - Aberturas no final do passeio



Fonte: Autor, 2019.

A abertura 1 é encontrada na junção da calçada do passeio e a estrada obteve uma abertura no valor de 0,5 milímetros que, de acordo com o Quadro 2, é classificado como fissura. Já a abertura 2 se encontra na junção do apoio da ponte com o passeio, esta é mais crítica que a primeira visto sua proporção visual, conforme mostra a Figura 37.

Figura 36 - Abertura entre o apoio da ponte e o passeio



Fonte: Autor, 2019.

As medidas encontradas da abertura foram aproximadamente 17x15 centímetros, de acordo com Souza & Ripper (1998) o surgimento de trincas e aberturas podem ser

observadas em situações como recalque natural da fundação, sobrecargas exageradas, assim como ações variáveis. Na extensão do passeio foram encontradas várias aberturas e furos existentes conforme mostra as Figuras 38 e 39 que podem ser resultantes de desgaste por uso ou abrasão.

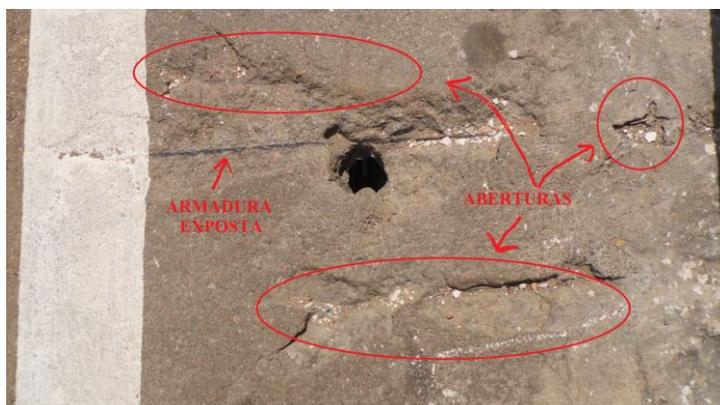
Figura 37 - Aberturas no passeio



Fonte: Autor, 2019.

Segundo o DNIT (2009), em relação a gravidade das trincas e fissuras para a segurança e durabilidade da estrutura, é possível determinar identificar causas prováveis dos sinistros, contudo se faz necessária a realização de ensaios e análises para identificar todo o conjunto de ações patológicas.

Figura 38 - Furo encontrado na parte central do passeio



Fonte: Autor, 2019.

Conforme mostra a Figura 39, o furo obteve o diâmetro de 7 centímetros de extensão, sua profundidade não foi medida, porém pode-se ver o rio passando por baixo da ponte por meio do mesmo. Percebe-se o desgaste do passeio representado, além do furo, por diversas aberturas e por armaduras expostas evidenciando a gravidade do estado da ponte.

I. Desnível:

Foram encontrados desnível na base do guarda corpo do passeio e nas juntas de dilatação entre a ponte e a estrada conforme mostra as Figuras 40, 41 e 42. Os desníveis não foram medidos devido à falta de acesso a equipamentos de segurança e por logística relacionado à passagem de automóveis e pedestres ininterruptos.

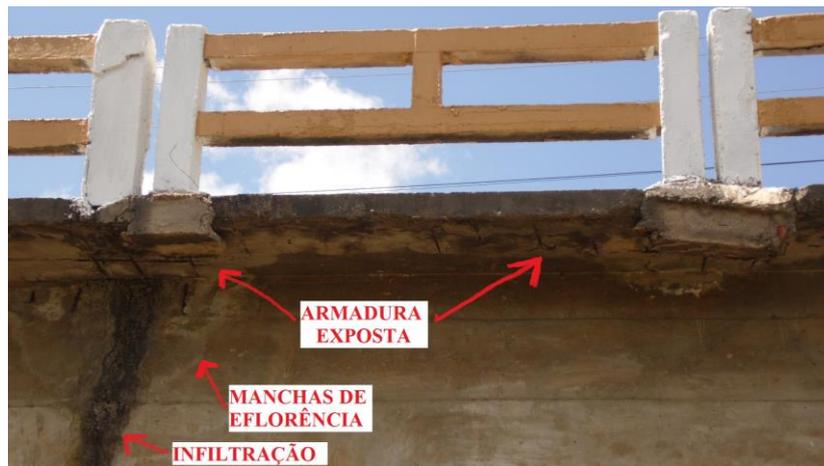
Figura 39 - Desnível na base do guarda corpo



Fonte: Autor, 2019.

Como ilustra a Figura 40, o desnível do guarda corpo se acentua na parte central do vão em que este pode estar diretamente relacionado com a patologia de armadura exposta apresentada anteriormente.

Figura 40 - Situação do guarda corpo



Fonte: Autor, 2019.

A altura do guarda corpo mede 65 centímetros a partir da base do passeio. Segundo a norma NBR 14718 (2001), a altura mínima de guarda corpo, considerado com piso acabado, deve ser de 1,10 metros, dessa forma o guarda corpo existente da obra está irregular visto que está fora dos parâmetros de segurança das normas atuais.

Figura 41 - Juntas de dilatação entre a ponte e a estrada



Fonte: Autor, 2019.

O visível desgaste mostrado na Figura 42 ocorre na extensão da largura entre os apoios da ponte o que pode significar a deterioração do material das juntas. Segundo DNIT (2004), ao identificar danos nas juntas deve ser verificado o comportamento do tráfego e dos detritos do meio que podem provocar avarias na estrutura.

II. Eflorescência e sistema de drenagem

Foi observada uma grande quantidade de manchas e formas cristalizadas de eflorescências na parte inferior do tabuleiro, conforme mostra a Figura 43. A maioria dos focos de eflorescência estão nas quinas e arestas entre lajes, vigas e pilares.

Figura 42 - Eflorescência presente em vigas, pilares e lajes.



Fonte: Autor, 2019.

Também são encontrados focos em locais onde se tem armaduras expostas e próximas ao sistema de drenagem da ponte. Em algumas situações, todo o corpo estrutural está com indícios de eflorescência, conforme mostra a Figura 44.

Figura 43 - Eflorescência existente na parte inferior do tabuleiro



Fonte: Autor, 2019.

A maioria das eflorescências podem ser removidas por escovação seca ou com água ou por jateamento, também pode ser adotada a utilização de soluções com ácidos para o tratamento da estrutura (DNIT, 2006).

O sistema de drenagem da ponte visualmente possui imperfeições, visto que na área de passagem dos canos há indícios de infiltração. O sistema por muitas vezes se mostrou ineficaz devido à falta de manutenção, conforme mostra a Figura 45.

Figura 44 - Entupimento do sistema de drenagem da ponte



Fonte: Autor, 2019.

Conforme mostrado na Figura 45, o sistema de drenagem se mostra irregular visto que se apresenta entupimento por detritos, em ocasiões excepcionais como em chuvas torrenciais pode ser um fator agravante para a utilização da obra.

III. Presença de plantas.

A presença de plantas, conforme mostra a Figura 46, sugere que a ponte esta suscetível a sofrer ações externas devido as cargas produzidas pelas raízes.

Figura 45 - Presença de plantas sob a ponte



Fonte: Autor, 2019.

Juntamente com a existência de animais e entulhos, este torna-se um conjunto de obstáculos que dificultam o acesso à estrutura para ensaios e manutenções.

- Ensaio de esclerometria

Esse ensaio foi feito sob as normativas da NBR 7584 (2012), em que foram analisados os 6 pilares da ponte e a viga central de sustentação do tabuleiro. Como não se obteve acesso ao projeto estrutural da ponte, esse ensaio é de cunho quantitativo visto que não se tem os valores das resistências iniciais do concreto.

Os moldes de impacto foram feitos com giz disposto de 16 quadrados, conforme mostra a Figura 47.

Figura 46 - Molde dos impactos do Pilar 1



Fonte: Autor, 2019.

Segundo a norma NBR 7584 (2012), elementos estruturais com grandes extensões ou com grandes volumes de concreto devem ser analisados em, pelo menos, duas áreas de ensaio com preferência em faces opostas.

Nos pilares 1 e 2 assim como os pilares 5 e 6 somente foi possível analisar uma face do pilar em razão das irregularidades na superfície do concreto e pela dificuldade de acesso do terreno em razão da presença de plantas no local. A Figura 48 ilustra a aplicação do esclerômetro no elemento estrutural.

Figura 47 - Aplicação dos golpes do esclerômetro no Pilar



Fonte: Autor, 2019.

Após o processo de lixamento, foi feito o ensaio na superfície com 16 golpes em cada molde, conforme mostra Figura 48. Os resultados da calibração do equipamento em laboratório estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Resultados da calibração do esclerômetro

Golpes	Impactos
1	78
2	80
3	80
4	80
5	80
6	79
7	79
8	80
9	80
10	78
Média	79,4
I_{Enom}	80
k	1,01

Fonte: Autor, 2019.

Em posse do valor do fator de correção, agora pode-se calcular corretamente os índices esclerométricos *in loco*. Seguindo as recomendações da norma NBR 7584 (2012) e realizando o ensaio nas áreas acessíveis, o Quadro 5 dispõe dos resultados do ensaio.

Quadro 5 - Resultados do ensaio de esclerometria

PILAR/ÁREA	P1	P2	P3		P4		P5	P6	V1
			F1	F2	F1	F2			
1	43	32	42	41	37	40	42	40	45
2	39	38	45	44	42	40	44	42	43
3	38	40	43	46	42	37	46	46	42
4	32	32	38	39	45	43	49	44	40
5	44	38	43	44	49	41	43	44	38
6	42	32	42	39	39	48	44	39	32
7	40	40	39	46	44	42	42	38	42
8	41	39	41	42	38	43	58	46	40
9	50	36	36	32	39	40	41	46	44
10	42	36	42	46	45	47	42	48	49
11	42	39	47	45	41	44	44	49	39
12	32	38	49	42	49	45	46	52	38
13	49	32	38	42	45	39	49	37	42
14	43	33	43	44	42	43	39	42	44
15	38	34	38	45	45	45	44	45	37
16	40	37	40	45	38	44	46	45	39
MÉDIA I	41	36	42	43	43	43	45	44	41
10% MÉDIA	4,1	3,6	4,2	4,3	4,3	4,3	4,5	4,4	4,1
> 10%	45,1	39,6	46,2	47,3	47,3	47,3	49,5	48,4	45,1
< 10%	36,9	32,4	37,8	38,7	38,7	38,7	40,5	39,6	36,9
MÉDIA II	41	36,8	41,1	44	40	40	42	45	41
k	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
I_e corrigido	41,4	37,2	41,5	44,4	40,4	40,4	42,4	45,5	41,4
fc (MPa)	41,2	38,1	41,4	49,4	40,6	40,6	43,3	50,0	41,2
Δ fc	$\pm 7,0$	$\pm 6,5$	$\pm 7,0$	$\pm 7,5$	$\pm 7,0$				

Fonte: Autor, 2019.

De acordo com os resultados mostrados no Quadro 5, os valores referentes a MÉDIA I são os resultados das médias dos 16 impactos, em seguida tem-se os valores referentes a 10% da média para se calcular os limites superior (>10%) e inferior (<10%).

Após obter os valores limites do ensaio, foram descartados os valores que estiveram fora do intervalo representados na tabela pela cor amarelo. Após o descarte de valores, foi feita a média dos valores dentro do limite representados pela linha referente a MÉDIA II.

Disposto do valor do fator de correção (k), calculado no Quadro 4, multiplicando pelos valores da MÉDIA II se resulta nos índices esclerométricos corrigidos (I_e corrigido).

Com o índice corrigido, foi feita a análise do ábaco do fabricante mostrado na Figura 34 e obtido os valores das resistências (f_c) e variações (Δ) superficiais à compressão (MPa).

Em posse dos dados calculados, pode-se primeiramente perceber que o pilar 6 obteve o maior valor em resistência com o valor de 50 MPa em contraste com o pilar 2 que obteve o valor de 38,1 MPa o que, em comparação, o pilar 2 apresentou uma redução de resistência de 23,8% ao pilar 6.

Também foi possível perceber que os valores das faces opostas do pilar 4 obtiveram o mesmo valor de resistência, em contraponto os valores das faces opostas do pilar 3 obtiveram uma diferença de aproximadamente 16,19% de redução entre as duas faces, que pode ser resultante na desagregação e carbonatação do concreto devido a ação da água no local.

Segundo a norma NBR 7584 (2012), a ação da carbonatação nos elementos estruturais pode superestimar o valor da resistência em até 50% dos valores devido a superfície degradada, dessa maneira faz-se necessária a extração de corpos de prova dos elementos estruturais para um maior aprofundamento e certeza do estado atual da peça estrutural.

- Determinação da profundidade de carbonatação: Solução de fenolftaleína

Segundo a metodologia do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), foi escolhido alguns pontos de aplicação da solução. Por se tratar de um elemento químico reagente, foi feito a escolha dos pontos de aplicação em locais de difícil acesso a população por critérios de logística (devido a uma parcela da população ser alérgica ao elemento) e estética (devido a coloração roseada). Os pontos escolhidos foram:

- Gravidade I (críticos): Base dos pilares 2 e 3 e passeio.
- Gravidade II (graves): Parte central do pilar 4.

Figura 48 - Aplicação da solução de fenolftaleína na base do pilar 2



Fonte: Autor, 2019.

As bases dos pilares 2 e 3 apresentaram armaduras expostas que os classificaram em pontos de gravidade I. Ao aplicar a fenolftaleína, como mostra a Figura 49, observa-se que a mesma não reage no concreto, o que indica que toda a área exposta está carbonatada assim como mostra a Figura 50.

Figura 49 - Aplicação da solução de fenolftaleína na base do pilar 3



Fonte: Autor, 2019.

No passeio foi feito a aplicação da fenolftaleína nas partes de junção entre a ponte e a rodovia, conforme mostra a Figura 51. As junções estavam visualmente desgastadas e ofereciam risco a passagem de pedestres.

Figura 50 - Aplicação da fenolftaleína na junção da ponte

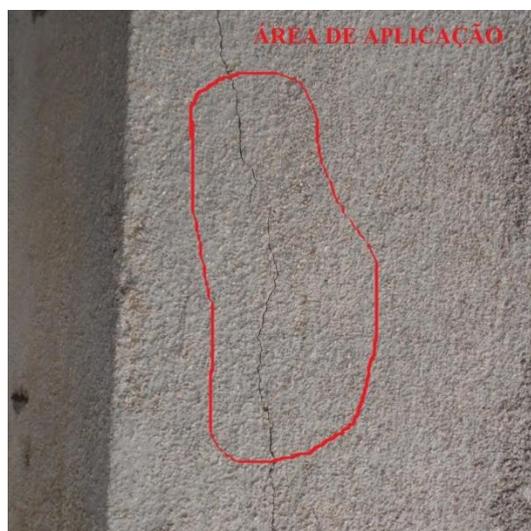


Fonte: Autor, 2019.

Ao observar a aplicação solução, o resultado seguiu o mesmo da situação anterior visto que não houve reação do elemento químico logo toda a área superficial de aplicação está oxidada.

No pilar 4, como citado anteriormente, tem-se uma abertura na parte central do pilar assim foi aplicado a solução de fenolftaleína na extensão da abertura para averiguação do grau de carbonatação, conforme a Figura 52.

Figura 51 - Aplicação da fenolftaleína na parte central do pilar 4



Fonte: Autor, 2019.

Após aplicação da solução, conforme visto na Figura 52, não houve reação, comprovando dessa forma carbonatação superficial. Em todos os lugares de aplicação da solução de fenolftaleína obtiveram como resultado o estado de oxidação superficial, o que pode indicar o quão crítico a estrutura da ponte se encontra.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio do presente trabalho, foi possível fazer uma análise das manifestações patológicas presentes na ponte sobre o rio Pedra, localizada no município de Delmiro Gouveia – AL, de cunho quantitativo e qualitativo, onde foi constatado que o elemento principal destas é a água, aliada à falta de manutenção corretiva e preventiva periódica torna-se um risco para os usuários.

As falhas mais encontradas foram: armaduras expostas, eflorescência, desgaste das juntas de dilatação, infiltração, entupimento do sistema de drenagem, desnivelamento, desagregação do concreto, aberturas em diferentes tamanhos, furos e irregularidades com as normas vigentes.

Por meio das análises visuais e dos ensaios feitos, pode-se afirmar que o desempenho estrutural atual da obra compreende um estado preocupante que necessita de atenção e providência das instâncias públicas, visto a importância econômica que a via proporciona ao município além da obrigatoriedade de se preservar o patrimônio público.

Por fim, a despeito das limitações dos ensaios, é possível concluir que a ponte estudada deve, impreterivelmente, passar por um processo fundamental de manutenção e revitalização estrutural.

As dificuldades encontradas para realizar o presente estudo foram: o difícil acesso dos locais de ensaios, não foi possível o acesso ao projeto estrutural, a falta de equipamentos de segurança para análises *in loco* em situações relacionadas à altura e a existência de animais peçonhentos e transmissores de doenças no local de ensaio.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

1. Obter o projeto estrutural original da ponte para compor análises mais concisas em relação a comparação das resistências atual e original, posição e descrição das armaduras, entre outras informações;

2. Estabelecer um plano de acompanhamento das aberturas e deformações junto aos órgãos competentes afim de prevenir a eventuais acidentes;

3. Utilizar outros métodos não-destrutivos como o uso do ultrassom ou, se possível, métodos destrutivos como a extração de corpos de prova para estudos e aprofundamentos técnicos.

4. Utilizar metodologias como a GDE (Grau de Deterioração) para saber o grau de risco das patologias e assim elaborar um plano de intervenção.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto**. 3ª ed. Procedimento. 2014, 256 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7584: Concreto Endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio**. 2ª ed. Procedimento. 2012, 14 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NNBR 14178: Guarda-corpos para edificação**. Especificações. 2001, 14 p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NNBR 15575: Edificações Habitacionais - Desempenho**. Procedimento. 2013, 32 p.

AMC Equipamentos. **Esclerômetro Analógico Tipo N Silver Schmidt**. Matéria digital. Disponível em: < <https://www.amcequipamentos.com.br/product-page/escler%C3%B4metro-anal%C3%B3gico-tipo-n-silver-schmidt>>. Acesso em 09 de setembro de 2019.

ANDRADE, C. **Manual para Diagnóstico para Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. Madrid: CSIC/IETcc, 1988. 122p.

CALDAS, A. J. A. **Avaliação de abertura de fissuras de flexão em vigas de concreto armado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo. São Carlos. 1997, 11 p.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo. Editora Pini. 1988, 517 p.

CASCUDO, C. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeção e técnicas eletroquímicas**. Pini. Editora UFG. São Paulo. 1997. 237 p.

DAMASCENO, L. M. **Relatório de Estágio Curricular em Engenharia Civil**. Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Delmiro Gouveia – AL. 2018, 10p.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes - DNIT. **Norma 090/2006: Patologias do concreto – Especificação de serviço**. In: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR. Rio de Janeiro – RJ, 2006. 10 p.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes - DNIT. **Norma 122/2009: Ponte e viadutos rodoviários – Estruturas de concreto armado- Especificação de serviço.** In: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR. Rio de Janeiro – RJ, 2009. 9 p.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes - DNIT. **Manual de inspeção de pontes rodoviárias.** In: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR 709. 2º ed. Rio de Janeiro – RJ, 2004. 253 p.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes - DNIT. **Manual de recuperação de pontes e viadutos rodoviários.** In: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR 744. Rio de Janeiro – RJ, 2010. 159 p.

DOREA, S. C. L; SANTOS D.de G; SALES, A. T. C; SILVEIRA, P. M. D. **Avaliação patológica da estrutura de concreto armado e dos componentes de uma edificação construída em 1914.** In: SCIENTIA PLENA, vol. 6, num 12. 2010, 13 p.

FILHO, A. C; CARMONA, T. **Fissuração nas estruturas de concreto;** Boletim Técnico. Associação Latino-americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação da Construção – ALCOMPAT BRASIL. 2013, 18 p.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural.** 2ª ed. São Paulo – Pini, 2012.

HELENE, P. R. do L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** 2ª ed. São Paulo: Pini. 1992, 218 p.

HELENE, P. R. do L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** Tese de doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1993, 248 p.

Instituto Pernambucano de Avaliações e Perícias de Engenharia – IBAPE. **Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia.** Departamento de Engenharia Civil. 2003, 58 p.

ISO 13823. **General principles on the design of structures for durability.** International Standart. 2008, 11 p.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil. **E391: Determinação da profundidade de carbonatação de betões, argamassas ou outros materiais cimentícios – Método de ensaio.** Procedimento. 2019, 2 p.

MEIRA, G. R. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: fundamentos, diagnóstico e prevenção**. João Pessoa. IFPB. 2017, 130 p.

MENEGHETTI, L. C. PEF – 2503 **Estruturas Danificadas: Segurança e Ações Corretivas**. 2016. 45 slides. Disponível em:
<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3041369/mod_resource/content/1/PEF2503-Aula_2_fissuras.pdf>. Acesso em 04 de agosto de 2019.

NASCIMENTO, D. **Edifício Mendes Caldeira**. Coluna de site: São Paulo Antiga. São Paulo – SP, 2013. Disponível em: <http://www.saopauloantiga.com.br/edificio-mendes-caldeira/>.

PFEIL, W. **Pontes em concreto armado: elementos de projetos, solicitações, dimensionamento**. Livros técnicos e científicos editora S. A. Rio de Janeiro. 1ª ed. 1979, 433 p.

POURBAIX, M. **Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions**. Brussels: CEBELCOR, 1974. 644 p.

RAMALHO, F. C. **Identificação das patologias na ponte de concreto armado situado no bairro Pedra Velha no município de Delmiro Gouveia – AL**. Monografia – Universidade Federal de Alagoas. Delmiro Gouveia. 2017, 55 p.

SABAI, A. **Problemas causados pela lixiviação do concreto**. 2017. Matéria digital. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/os-problemas-causados-pela-lixiviacao-do-concreto/>>. Acesso em 08 de outubro de 2019.

SANTOS, A. V. B. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido a carbonatação**. Revista técnica. Instituto de Pós-graduação – IPOG, revista on-line Especialize. 2015, 21 p.

SARTORTI, A. L. **Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas**. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas. São Paulo. 2008, 205 p.

SOUZA, V. C; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1 ed. São Paulo: Pini, 1998. 255 p.

THOMAZ, E. C. S. **Esclerômetro**. Notas de aula: Procedimento. Instituto Militar de Engenharia. 2007, 55 p.