



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR – PAU DOS FERROS
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JULIANA GOMES NORONHA

**ESTUDO MULTICASO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
RESERVATÓRIOS DE CONCRETO ARMADO NA CIDADE DE
TABULEIRO DO NORTE - CE**

PAU DOS FERROS
2018

JULIANA GOMES NORONHA

**ESTUDO MULTICASO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
RESERVATÓRIOS DE CONCRETO ARMADO NA CIDADE DE
TABULEIRO DO NORTE - CE**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Centro Multidisciplinar – Pau dos Ferros para a obtenção do título Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^o. Bel. Messias Fernandes Neto – UFERSA.

PAU DOS FERROS – RN
2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998 . O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

N852e

Noronha, Juliana Gomes .

ESTUDO MULTICASO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
RESERVATÓRIOS DE CONCRETO ARMADO NA CIDADE DE
TABULEIRO DO NORTE - CE / Juliana Gomes Noronha.

- 2018.

68 f. : il.

Orientador: Messias Fernandes Neto.

Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2018.

1. Patologias em estruturas de concreto
armado. . 2. Recuperação e reforço de
estruturas.. 3 . Análises qualitativas de
manifestações patológicas. . I. Neto, Messias
Fernandes , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

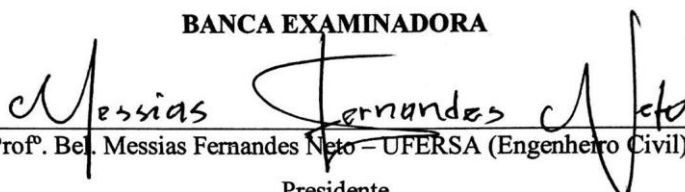
JULIANA GOMES NORONHA

**ESTUDO DE MULTICASO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM
RESERVATÓRIOS DE CONCRETO ARMADO NA CIDADE DE
TABULEIRO DO NORTE - CE**

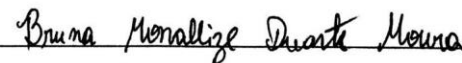
Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Centro Multidisciplinar – Pau dos Ferros para a obtenção do título Bacharel em Engenharia Civil.

APROVADA EM: 17/09/2018

BANCA EXAMINADORA


Prof.º. Bel. Messias Fernandes Neto – UFERSA (Engenheiro Civil)
Presidente


Prof.º. Bel. Jennef Carlos Tavares – UFERSA (Engenheiro Civil)
Membro Examinador


Prof.º. Esp. Bruna Monallize Duarte Moura – UFERSA (Engenheira Civil)
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Germano Antônio Noronha Neto e Núbia Gomes de Lima Noronha que sempre confiaram e acreditaram nessa vitória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado forças para chegar até aqui e concluir essa etapa.

Sou muito grata aos meus pais, que foram os maiores incentivadores durante toda minha vida de estudante e os que mais acreditaram em mim.

Agradeço a UFERSA e todos os meus professores, por ter me proporcionado tanto conhecimento ao longo desses cinco anos.

Ao meu orientador Professor Messias Fernandes Neto – UFERSA, por seus ensinamentos, por todo seu empenho e compromisso para que esse estudo fosse possível.

Agradeço aos membros da banca por contribuírem com a minha formação acadêmica, participando dessa defesa.

Agradeço aos meus amigos e colegas da UFERSA com quem compartilhei as alegrias e também os momentos difíceis dessa etapa de vida e que foram essenciais para o meu crescimento.

Agradeço em especial aos amigos: Airlis Mendes, Érika Bessa, Gabriel Bessa, Harrana Ávila, Jorge Alves, Jesus Allan, Larissa Maia e Renata Ianca, pela amizade linda que fizemos e por toda a ajuda durante esses anos.

Sou grata a Prefeitura de Tabuleiro do Norte – CE, por disponibilizar os reservatórios para o estudo e ensaios necessários.

Agradeço ao meu amigo Bruno Rafael da Silva Freitas, que contribuiu bastante para a construção desse trabalho, desde a escolha do estudo até a realização dos ensaios.

A todos os familiares e amigos pelo apoio que encontrei nos momentos difíceis.

Enfim, agradeço a todos os envolvidos que junto comigo tornaram possível a realização de um sonho.

RESUMO

O método construtivo mais empregado no Brasil é a estrutura de concreto armado, na qual o concreto e o aço contribuem de forma solidária para resistir aos esforços oriundos dos carregamentos, funcionando como o “esqueleto” das edificações. Porém, nota-se que no decorrer de sua vida útil muitos problemas acometem tais sistemas estruturais, dentre os quais a corrosão, fissuração e a carbonatação ocorrem de forma frequente. Tornam-se necessários estudos das possíveis causas dessas falhas construtivas mais evidentes a fim de se evitar que se repitam com frequência e para saber que medidas tomar diante das mesmas. Problemas patológicos trazem desconforto e/ou mesmo riscos para o cliente, gerado pela falta do desempenho correto e esperado da edificação. As causas podem estar em uma ou mais etapas do processo de construção da edificação e são descobertas a partir de investigações e ensaios que levam ao diagnóstico e possível intervenção do problema. Desse modo, este trabalho faz um apanhado de conceitos importantes no estudo da Patologia das edificações, trazendo à tona as principais causas em cada fase da obra, bem como os sintomas mais recorrentes, e dos diagnósticos, prognósticos e intervenções possíveis. A partir disso foi realizado um estudo multicase em dois reservatórios de concreto armado na cidade de Tabuleiro do Norte/CE, incluindo a realização de ensaios, analisando as causas mais prováveis e buscando as possíveis soluções para os problemas observados. A metodologia adotada foi um levantamento de informações a partir de pesquisa bibliográfica, documental e exploratória de campo, seguida do diagnóstico para cada problema observado, e finalizando com a definição de conduta para cada caso. As análises realizadas em campo foram do tipo qualitativo: ensaio não destrutivo de esclerometria; ensaio de carbonatação com fenolftaleína; e técnicas de monitoramento de fissuras (com emprego da lâmina de vidro e com o uso de pregos). Desse modo, concluiu-se que a situação dos reservatórios é preocupante, visto que foi constatado um elevado número de fissuras, deslocamento, corrosão das armaduras e diminuição da área de aço (reduzindo a capacidade de suporte), comprometendo a estrutura como um todo, havendo a necessidade de se condenar uma das estruturas (construída com manilhas) e na outra a possibilidade de realização de reforço e recuperação.

Palavras-chave: Patologias em estruturas de concreto armado. Recuperação e reforço de estruturas. Análises qualitativas de manifestações patológicas.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Causas das manifestações patológicas	18
Tabela 2- Causas na fase de projeto	23
Tabela 3 - Causas na fase de execução	24
Tabela 4 - Causas na fase de manutenção	26
Tabela 5 - Principais sintomas de manifestações patológicas.	27
Tabela 6 - Fases do diagnóstico.....	30
Tabela 7 - Prognósticos para manifestações patológicas.....	31
Tabela 8 - Tipos de intervenções para manifestações patológicas.	32
Tabela 9 - Tipos de aberturas	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução dos custos da fase de intervenção (Regra de Sitter)	21
Figura 2 - Problemas patológicos com origem da fase de execução	24
Figura 3 - Água Santa - Tabuleiro do Norte	34
Figura 4 - Lagoa do Peixe - Tabuleiro do Norte.....	34
Figura 5 - Caracterização da pesquisa	35
Figura 6 - Procedimento da pesquisa.....	36
Figura 7 - Esclerômetro convencional AMC.....	38
Figura 8 - Ábaco do esclerômetro	38
Figura 9 - Amostras retiradas do reservatório	40
Figura 10 - Materiais usados no monitoramento de fissuras	40
Figura 11 - Aplicação de gesso nas fissuras.	42
Figura 12 - Abertura da janela de inspeção	43
Figura 13 - Reservatório da Comunidade de Água Santa	46
Figura 14 - Vistoria do local na Água Santa	47
Figura 15 - Deslocamento no reservatório.....	47
Figura 16 - Reservatório da Comunidade de Lagoa do Peixe	48
Figura 17 - Corrosão no reservatório.....	49
Figura 18 - Fissuras e trincas.....	49
Figura 19 - Distancias usadas no ensaio	51
Figura 20 - Aplicação do esclerômetro.....	51
Figura 21 - Amostras carbonatadas	53
Figura 22 - Mapeamento das fissuras	53
Figura 23 - Selo de gesso.....	54
Figura 24 - Abertura de fissuras	55
Figura 25 - Profundidade das fissuras	55
Figura 26 - Comprimento das fissuras.....	56
Figura 27 - Controle de fissura na janela de inspeção n1.	56
Figura 28 - Controle de fissuras	57
Figura 29 - Resultados do monitoramento de fissuras	58
Figura 30 - Evolução no comprimento das fissuras	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Origem das falhas em edificações em diversos países	20
Quadro 2 - Valores do ensaio de esclerometria	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CDC	Código De Defesa do Consumidor
IBAPE	Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia
NBR	Norma Brasileira
PROCON	Programa de Proteção e Defesa do Consumidor
AMC	Acessórios e Materiais para Construção

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo geral	14
1.1.2	Objetivos específicos	14
1.2	IMPORTÂNCIA DO TEMA.....	15
1.3	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES.....	17
2.2	CAUSAS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	18
2.2.1	Causas na fase de projeto.....	20
2.2.2	Causas na fase de execução	23
2.2.3	Causas na fase de manutenção.....	26
2.3	SINTOMAS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	27
2.4	EXAMES COMPLEMENTARES	28
2.4.1	Ensaio de esclerometria	28
2.4.2	Ensaio de carbonatação	29
2.5	DIAGNÓSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	29
2.6	PROGNÓSTICOS PARA MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	31
2.7	TRATAMENTOS PARA MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	31
3	METODOLOGIA.....	34
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	35
3.2	PROCEDIMENTO DA PESQUISA	36
3.2.1	Levantamento de subsídios.....	36
3.2.2	Diagnóstico	44
3.2.3	Definição da conduta	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1	LEVANTAMENTO DE SUBSÍDIOS	45
4.1.1	Reservatório da Água Santa	45
4.1.2	Reservatório da Lagoa do Peixe	48
4.1.3	Exames complementares	50
4.2	DIAGNÓSTICO	59

4.3	DEFINIÇÃO DE CONDUTA	60
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	63
ANEXOS		64
1.	Laudo de patologias e danos construtivos.	64
REFERÊNCIAS		65

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é de grande relevância para a sociedade, de modo que é ela que possibilita a execução de todas as atividades econômicas ou não. Esse é um dos principais pontos das construções, elas devem atender as necessidades de uso para as quais foram solicitadas, sejam elas residências, indústrias ou comércios que estão devidamente definidas na norma ABNT NBR 15575/2013.

Vieira (2016) denota que antes se acreditava que as construções de concreto durariam indefinidamente, isso acontecia devido ao superdimensionamento de estruturas, que assim conseguiam resistir a anos de agressões sem colocar em risco seu funcionamento. A fim de se evitar gastos extras com o superdimensionamento, investiu-se em estudos da resistência dos materiais, que levaram a um maior controle e precisão do comportamento estrutural de uma edificação.

(Ibid.) Hoje as construções são dimensionadas com base em normas técnicas e para um determinado valor de vida útil (geralmente estipulado em cerca de cinquenta anos), onde são levados em consideração os parâmetros dos materiais que as constituem e o dimensionamento correto, estabelecendo assim uma durabilidade a estrutura.

Os conceitos de vida útil e durabilidade se interligam onde segundo a NBR 6118:2014 (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento) a vida útil de uma estrutura diz respeito ao período em que suas características se mantêm, estando assim relacionado à sua durabilidade. A durabilidade está relacionada à capacidade resistente às solicitações de uso, intempéries, entre outros, mantendo as características mínimas para o correto funcionamento.

Porém, uma estrutura pode não conseguir atingir todo seu tempo de vida útil devido a diversos fatores, como ocorrências de sinistros (acidentes ou fenômenos naturais) ou doenças que provocam manifestações patológicas, sendo que o primeiro não pode ser controlado, enquanto que o segundo é passivo de controle e monitoração.

O estudo dessas doenças é definido como patologia, e ele busca estudar as causas, mecanismo e consequências dos problemas existentes em uma construção, como abrange o estudo de Souza e Ripper (1998), Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. O estudo da patologia é de grande importância para se encontrar o método de correção adequado para um determinado problema, evitando mais gastos ou desconforto aos usuários, assim como também é uma ferramenta de auxílio à perícia na elaboração de laudos para fins judiciais.

Também não são raras as situações em que em um curto espaço de tempo depois de concluídas, às edificações aparentemente em perfeitas condições, logo começam a apresentar

problemas. A qualidade nesse caso deve ser vista de forma a evitar esses defeitos indesejados, atuar de modo que não causem desconforto aos clientes e gastos pós-ocupação, isto é, agindo de forma preventiva e não corretiva.

Como retrata o Artigo 618 do Código Civil, na Lei Nº 10406/2002, diz que as construtoras devem repassar uma garantia válida de cinco anos para seus clientes e é por meio do estudo da patologia e seguindo normas técnicas referentes a ele que os responsáveis por uma construção devem garantir a segurança e conforto aos seus proprietários, segurança essa que deve ser feita a partir do estudo das manifestações patológicas que coloquem em risco a funcionalidade e durabilidade da estrutura. Os clientes, atualmente, estão cada vez mais conscientes dos seus direitos como consumidores, e isso foi impulsionado através da promulgação do Código De Defesa do Consumidor (CDC), Lei Nº 8078/1990, que introduziu diversos direitos e garantias aos mesmos, e a criação de outros órgãos de defesa do consumidor, como, por exemplo, o PROCON (Serviço de Proteção ao Consumidor).

Essa maior conscientização reflete-se cada vez mais em uma melhoria na qualidade da produção e conseqüente evolução do mercado da construção como um todo, visto que objetivando a durabilidade da edificação como meta, todo o setor da construção sente-se pressionado a alterar a forma clássica de construir e busca se adequar a novas tecnologias, novos métodos construtivos, implantação de sistemas de gestão de qualidade, emprego de novos materiais, entre outras técnicas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

- Realizar um estudo das manifestações patológicas em reservatórios de água elevados de concreto armado e levantar hipóteses das possíveis causas e origens das manifestações observadas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar pesquisa bibliográfica e documental, aliada a pesquisa de campo, com uso de análise qualitativa;
- Realizar uma análise das possíveis causas das manifestações patológicas encontradas;
- Caracterizar as manifestações patológicas;

- Propor soluções técnicas para os problemas identificados na investigação;
- Servir como material guia para a elaboração de outros trabalhos e/ou como um procedimento operacional padrão para profissionais da engenharia.

1.2 IMPORTÂNCIA DO TEMA

De acordo com Souza e Abiko (1997) o controle da qualidade das construções deve estar em todas as etapas do processo de execução da obra, o que abrange desde a aquisição de materiais, armazenamento até a forma de execução dos serviços, para que se garanta condições adequadas de uso aos ocupantes. Mas isso nem sempre acontece e se deve muitas vezes ao fato de que os profissionais de engenharia civil voltam seu foco mais para as partes de projeto e execução, esquecendo-se da manutenção das estruturas.

Sabe-se que o diagnóstico errado de uma manifestação patológica além de não solucionar o problema, traz ainda mais gastos e desconfortos, podendo por até em risco a integridade física dos usuários da edificação. Contudo, o estudo de patologia nas edificações ainda não recebe a relevância adequada, deixando que profissionais não devidamente preparados possam atuar nessa área sem conhecimento suficiente para desempenhar tais atividades, como analisar o problema e ainda fazer um laudo dos procedimentos corretos a serem realizados.

Nesse sentido, o estudo da patologia é de suma importância tanto para se solucionar problemas, como, principalmente, para se evitá-los, pois essa é uma área que analisa todas as etapas de uma obra, a fim de identificar as anomalias. Problemas patológicos podem ser encontrados em todos os tipos de estruturas, e por diversos motivos, podendo suas causas estar em qualquer etapa do processo de construção ou após a entrega (manutenção).

1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

No que diz respeito à justificativa técnica desta produção, a escolha por esse tema se justifica justamente por a patologia ser uma ciência que merece cada vez mais atenção, respaldo e aperfeiçoamento, sendo um estudo bastante complexo que envolve diversos fatores e conhecimentos, relacionados com as causas das manifestações patológicas e suas possíveis soluções. Mesmo sendo uma ciência de suma importância para a engenharia civil, muitos profissionais da área têm dificuldades em diagnósticos e soluções para as manifestações patológicas, devido essa ser ainda uma disciplina apenas optativa nos cursos de graduação.

No que diz respeito ao aspecto social do trabalho, os reservatórios de água deste trabalho atendem a população da comunidade Lagoa do Peixe e da comunidade Água Santa no município de Tabuleiro do Norte – CE, onde devido as condições em que se encontram não se possuem informações técnicas suficientes para decidir se irão reparar/reforçar ou demolir para construção de novos reservatórios, caso não haja solução ou a reforma seja técnica/economicamente inviável. Desse modo, as populações das comunidades em questão necessitam de soluções urgentes para resolver o problema do abastecimento de água.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A investigação de um determinado problema na construção civil deve ocorrer por etapas para se ter um bom entendimento do mesmo. De acordo com Souza e Ripper (1998) essas etapas podem ser divididas da seguinte maneira: na primeira temos o surgimento de uma manifestação patológica, que é a forma de ocorrência do problema, na maioria das vezes visível. Em seguida tem-se a análise com o intuito de identificar a origem do problema, que é a causa primária do problema; as causas secundárias, que advém da primária; a causa mediata, que diz respeito ao mecanismo de ocorrência dessa falha; a natureza, que trata do tipo de problema patológico e os possíveis sintomas futuros gerados por essa falha detectada. Com essa análise e conhecimento na área, é possível se diagnosticar corretamente e se definir a solução a ser executada no caso em questão.

Como o estudo da patologia é muito abrangente, para a melhor compreensão do tema, ele foi dividido de acordo com as etapas do processo.

2.1 PATOLOGIA DAS EDIFICAÇÕES

As anomalias construtivas são as deficiências existentes em uma edificação que podem ter diversas causas, indo desde acidentes até mesmo o próprio envelhecimento natural da estrutura, mas o mais ocorrente é devido falta do cumprimento das técnicas corretas previstas pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Onde a NBR 15575:2013 (Norma de Desempenho), a NBR 5674:1999 (Norma de Manutenção), a NBR 14037:2011 (Norma do Manual de Uso, Operação e Manutenção) e a NBR 6118:2014 (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento) são fundamentais para se evitar as anomalias construtivas.

O estudo dessas anomalias, bem como de sua origem e sintomas, é chamado de patologia das construções, e se preocupa com a manutenção e utilização correta das estruturas no intuito de se evitar sua deterioração precoce. Como define Azevedo (2011), o termo patologia possui uma maior empregabilidade na medicina e pode ser vista como a ciência que estuda e faz diagnósticos das doenças, investigando suas origens, seus sintomas, seus agentes causadores e seu mecanismo de ocorrência.

Na engenharia a patologia envolve a análise dos sintomas evidenciados pelos defeitos que se manifestam nas estruturas, pesquisa sua origem e as prováveis causas e mecanismos de ação dos agentes envolvidos (SOUZA & RIPPER, 1998).

De acordo Azevedo (2011), a patologia na medicina é a ciência que estuda e investiga doenças, como também os agentes causadores, diagnósticos e possíveis tratamentos. Na construção civil essa área não surge de forma diferente, estando interessada nas manifestações patológicas e também em seus mecanismos de ocorrência para requerer as soluções possíveis.

Segundo Souza e Ripper (1998) a patologia das estruturas não é apenas um novo campo de aspecto da identificação e conhecimento das anomalias, mas também no que se refere a concepção e ao projeto das estruturas, e, mais amplamente a própria formação do engenheiro civil. A aplicação do termo patologia na engenharia, particularmente no caso das estruturas de concreto, tem origem no tratamento dos problemas com o sentido de reabilitar as estruturas, o que corresponde a um processo terapêutico na medicina. (AZEVEDO, 2011)

Os problemas acometidos por essas anomalias podem trazer sérios riscos aos usuários, ou causar desconfortos, gerando além de gastos, desconfianças e até mesmo revolta nos clientes que são diretamente afetados. Conforme Azevedo (2011), um estudo mostra que as principais reclamações dos usuários sobre o desempenho das estruturas remetem a problemas patológicos, que muitas vezes chegam a gerar até ações judiciais.

Olivari (2003) ressalta que devido a estudos já feitos, a maior parte das manifestações patológicas já são bem características de determinadas anomalias já definidas, o que facilita a identificação de causas e efeitos futuros que poderão advir caso não haja uma interferência, ajudando na escolha da intervenção adequada para a construção comprometida.

2.2 CAUSAS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Descobrir qual a origem da doença é muito importante para se obter um bom diagnóstico no tratamento de problemas patológicos, podendo ser este o primeiro passo para a “cura”. A identificação e tratamento dessas anomalias nem sempre é fácil em razão de diversos fatores que contribuem para a destruição das estruturas.

No estudo de Olivari (2003), ele cita algumas das principais causas dos problemas patológicos existentes nas construções, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Causas das manifestações patológicas

<i>CAUSAS</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>
Recalque das fundações;	Uma edificação sofre um rebaixamento devido ao adensamento do solo sob sua fundação.
Movimentação térmica;	Materiais de diferentes coeficientes de dilatação; peças

	expostas a um gradiente de temperatura; exposição em um certo tempo a diferentes valores de temperatura;
Sobrecargas ou acúmulo de tensões;	Excesso de carga não prevista em projeto; Caixa d'água extra, modificações e reformas sem acompanhamento correto.
Retração do cimento;	Redução de volume que ocorre na massa de concreto, causada principalmente pela saída de água por exsudação.
Carbonatação;	O dióxido de carbono entra nos poros do concreto, dilui-se na umidade presente na estrutura e forma o composto chamado ácido carbônico, que causa queda do pH e diminui a proteção de armaduras.
Expansão de armadura (corrosão);	Interação destrutiva, ocasionada por um mecanismo eletroquímico em presença de umidade, que forma uma película de eletrólito nas barras.
Reações químicas;	Reações com íons de cloreto ou sulfatos; Álcali- agregado (expansiva);
Excesso de deformação das peças estruturais;	Falhas no transporte no lançamento e no adensamento do concreto; Inadequação de fôrmas e escoramentos; Deficiência de armaduras.

Fonte: Adaptado de Olivari (2003), Souza; Ripper, (1998).

Azevedo (2011) mostra que a construção de uma edificação possui diferentes fases, e as falhas existentes em cada uma delas podem gerar anomalias diferentes na estrutura. O autor divide as fases em três principais: fase de projeto ou concepção, fase de construção ou execução, fase de manutenção e utilização. O bom funcionamento da estrutura dependerá da boa execução de cada uma dessas fases.

Na fase de projeto são definidos os critérios a serem seguidos no desenvolvimento da construção. A fase de construção é o desempenho das atividades propriamente dito, bem como os serviços e materiais a serem usados. A fase de manutenção é após a entrega do empreendimento, cabendo aos usuários seu zelo e uso adequado para que se mantenha a boa durabilidade e desempenho da edificação.

Com essas fases bem definidas tem-se um responsável por cada uma delas, sendo preciso, portanto se investigar em qual ocorreu a deficiência que ocasionou um determinado problema. Na fase de projeto o responsável será o projetista, na fase de construção será o engenheiro de execução e na fase de manutenção o responsável será o próprio cliente.

2.2.1 Causas na fase de projeto

Um quadro publicado por Picchi (1984) mostra que a maior parte dos problemas possuem suas causas na fase de projeto, nos países europeus como Alemanha, Bélgica, Dinamarca e Romênia. Denotando a importância dessa fase para a durabilidade e menores gastos com a estrutura posteriormente (Quadro 01).

Quadro 1- Origem das falhas em edificações em diversos países

ORIGEM DAS FALHAS	BÉLGICA 1974-1975 (%)	BÉLGICA 1976-1977 (%)	GRÃ- BRETANHA 1970-1977 (%)	REPÚBLICA FED. ALEMÃ 1970-1977 (%)	DINAMARCA 1972-1977 (%)	ROMÊNIA 1971-1977 (%)
Projeto	49	46	39	37	36	37
Execução	22	22	29	30	22	19
Defeitos dos materiais	15	15	11	14	25	22
Erros de utilização	09	08	10	11	09	11
Diversos	05	09	01	08	08	11

Fonte: PICCHI (1984)

Existe uma lei de evolução de custos, conhecida como regra de Sitter, que mostra que os custos de intervenção crescem em função do tempo, como pode ser observado na Figura 1. Helene (2003) afirma que as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis de executar e muito mais baratas quanto mais cedo forem executadas. A Lei de Sitter demonstra que os investimentos realizados na fase de projeto e planejamento prévio traduzem-se em custos significativamente menores para obter o mesmo padrão de durabilidade esperada para a estrutura (AZEVEDO, 2011).

Figura 1 - Evolução dos custos da fase de intervenção (Regra de Sitter)



Fonte: Sitter (1984) apud Helene (2003).

Também conhecida como a “Lei dos cinco”, ela denota que os custos de uma intervenção na estrutura crescem exponencialmente quanto mais tarde for ela e se assimila a uma progressão geométrica de razão cinco.

Azevedo (2011) cita que, no que tange por exemplo, os projetos estruturais, há a necessidade de especificar claramente os materiais e as características importantes para o comportamento da estrutura, como a resistência característica do concreto. Nessa fase também é importante a análise de todos os sistemas inter-relacionados no processo de construção, como: arquitetura, estrutura, fundações, instalações elétricas e hidrossanitárias, impermeabilização, vedações e revestimentos, para ver o funcionamento do empreendimento como um todo, evitando possíveis problemas na fase de uso.

Ainda nesta perspectiva, a ABNT NBR 6118:2014, que trata do procedimento de projeto de estruturas de concreto, diz que todo projeto estrutural deve levar em conta estratégias que facilitem a inspeção e manutenção preventiva da estrutura de concreto e cita os critérios gerais que os projetos devem seguir para o correto desenvolvimento da construção durante sua vida útil, onde estes são divididos em três grupos distintos: capacidade resistente (consiste basicamente na segurança à ruptura), desempenho em serviço (consiste na capacidade de a estrutura manter-se em condições plenas de utilização) e durabilidade (consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas).

Dessa forma é importante explicar melhor conceito do termo vida útil, já algumas vezes citado no trabalho. Esse conceito se aplica à estrutura como um todo ou às determinadas partes das estruturas que podem merecer consideração especial com valor de vida útil diferente do todo. A ABNT NBR 6118:2014, define vida útil como o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os

requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, conforme os itens 7.8 e 25.4 bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais.

No item 7.8, a norma ABNT NBR 6118:2014 retrata que o conjunto de projetos relativos a uma obra deve orientar-se sob uma estratégia explícita que facilite procedimentos de inspeção e manutenção preventiva da construção, devendo haver um Manual de Uso, Inspeção e Manutenção.

A confecção desse manual se justifica porque não são poucos os fatos decorrentes do mau uso e má manutenção do empreendimento e se demonstram ser bastante preocupantes. Um exemplo disso seria quando proprietários e responsáveis pela edificação decidem fazer modificações ou utilizar a construção para um uso a qual a mesma não foi projetada em suas concepções, levando a sérias consequências principalmente no que diz respeito à estabilidade estrutural.

A norma ABNT NBR 6118:2014 em seu item 25.4 Manual de Uso, Inspeção e Manutenção diz que:

“Deve ser elaborado por profissional competente contratado pelo proprietário. Esse manual deve conter todas as informações, dados e memórias do projeto, dos materiais, dos produtos e da execução da estrutura. Esse manual deve especificar de forma clara e objetiva os requisitos básicos de uso e manutenção preventiva que assegurem a vida útil prevista e estar conforme com a ABNT NBR 5674:2012 Manutenção de Edificações. Procedimento.”

O estudo de Souza e Abiko (1997) diz que a inspeção é fundamental para se garantir a satisfação no cliente, devendo ocorrer em toda a edificação e ser feita por um cliente interno que não tenha participado do processo de construção. A mesma pode ser feita na edificação já construída ou em execução, para que se garanta o correto desenvolvimento da obra, evitando problemas futuros. Para isso a inspeção deve ocorrer de maneira formalizada, afim de que todos usem os mesmos critérios de verificação de qualidade.

Um fator importante nas concepções de projeto são as condições do ambiente em que vai se construir, e para isso a ABNT NBR 6118:2014 conta com uma classificação de quatro classes de agressividade do ambiente, que são definidas conforme características do terreno e localização e interferem diretamente em fatores como valores de cobrimento, relação água/cimento e resistências características a serem adotados.

Assim como no estudo de Olivari (2003), Souza e Ripper (1998) denotam as principais causas e falhas que podem acontecer só que nesse caso, especificando a etapa de projeto (Tabela 2).

Tabela 2- Causas na fase de projeto

<i>CAUSAS</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>
Divergências entre projetos;	Diferenças entre os projetos arquitetônico, estrutural, elétrico, etc., pode levar a problema de funcionamento ao final da construção.
Especificação inadequada de materiais;	A escolha errada leva ao uso de materiais que não atendem as características necessárias, provocando danos e desperdícios.
Detalhamento insuficiente ou inadequado;	A falta de detalhamento em um projeto leva a interpretações erradas na etapa de execução.
Detalhes construtivos inexecutáveis;	Detalhes descritos que não tem como ser executados pela sua grande dificuldade.
Erro de dimensionamento;	Cálculos de dimensionamento errados podem diminuir a resistência e o desempenho da estrutura.
Falta de padronização das convenções;	Pode levar a interpretação errada dos desenhos do projeto.
Sobrecargas não previstas;	Excesso de carga não prevista em projeto; Caixa d'água extra, modificações e reformas sem acompanhamento correto.
Não consideração de efeitos térmicos;	Os diferentes tipos de movimentação térmica causam fissuras.
Especificação de concreto ineficiente e cobrimento inadequado;	Diminuem a capacidade resistente do concreto e a proteção as armaduras.

Fonte: Adaptado de Souza e Ripper (1998)

2.2.2 Causas na fase de execução

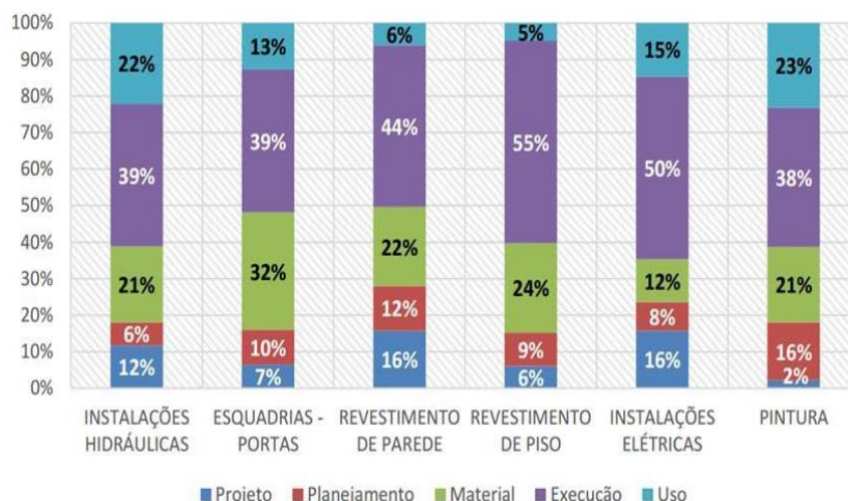
Souza e Ripper (2011) destacam que a falta de qualificação da mão-de-obra é um dos maiores motivos para problemas patológicos advindos da fase de execução, demonstrando a grande necessidade do acompanhamento do responsável técnico nas atividades.

Segundo o estudo de Cupertino e Brandstetter (2015), diferentemente de países europeus, o Brasil possui uma mão-de-obra menos qualificada e tecnologias construtivas menos avançadas, fatores que interferem diretamente na fase de execução, e explica o fato do quadro brasileiro apresentar suas maiores causas de problemas nessa fase ao invés de na de

projeto. Um exemplo desse tipo de falha seria o aparecimento de fissuras na estrutura advindas de problemas relacionados a recalques, causadas por erros na fase de execução das fundações, que responsáveis pela sustentação da estrutura, ao sofrerem movimentação devido à acomodação do solo implicam no aparecimento das manifestações anteriormente destacadas. Outro exemplo seria a incompatibilidade dos projetos na hora da execução, causada muitas vezes devido a profissionais sobrecarregados elaborarem os mesmo em curtos intervalos de tempo.

Evidenciando essa deficiência nas construções brasileiras, temos um quadro do estudo de Cupertino e Brandstetter (2015), na Figura 2, que mostra as atividades da obra que possuem a maior parte de seus problemas com origem da etapa de execução.

Figura 2 - Problemas patológicos com origem da fase de execução



Fonte: Cupertino e Brandstetter (2015).

Como denota Souza e Ripper (1998), na execução da obra deve-se atender a todos os critérios de projeto solicitados, como especificações de materiais, e requisitos de qualidade previstos nas normas brasileiras. Já Olivari (2003), em seu estudo especificou as principais causas de manifestações patológicas, só que agora as delimitando à fase de execução, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 - Causas na fase de execução

CAUSAS	DESCRIÇÃO
Erro de interpretação dos projetos;	Leva a má execução na obra podendo causar diferentes danos.
Falta de controle tecnológico;	Leva a utilização de materiais e serviços que não atendam as

	especificações de projeto. O controle tecnológico serve para avaliar a qualidade da obra.
Uso de concreto vencido;	Diminui a capacidade resistente da estrutura.
Falta de limpeza ou estanqueidade das formas;	A falta de limpeza leva ao adensamento inadequado do material levando a não uniformidade da estrutura.
Falta de saturação das formas;	Leva a não uniformidade da estrutura.
Armadura mal posicionada;	Deformabilidade e aparecimento de fissuras e rachaduras.
Falta de espaçadores e pastilhas para garantir o cobrimento;	Falta de cobrimento irá diminuir a proteção as armaduras contra agentes agressivos.
Falta de cuidado com os ferros superiores das lajes;	Ocasiona rebaixamento dos mesmos.
Segregação do concreto por erro de lançamento;	Diminui a capacidade resistente da estrutura.
Falta de cura ou cura mal executada;	A cura permite a completa hidratação do cimento retardando a evaporação de água. Quando mal executada leva a dessecação prematura e rachaduras.
Cimbramentos mal executados e desformas antes do tempo determinado;	A forma serve como proteção da superfície e podem ser vista como procedimento de cura, logo sua falta pode levar a dessecação prematura da peça não endurecendo o suficiente.
Erros de vibração;	leva ao adensamento inadequado do material levando a não uniformidade da estrutura
Juntas de concretagem mal posicionadas ou mal executadas;	Dessa forma elas podem permitir a entrada de água e materiais sólidos que danificam a estrutura.
Falta de fiscalização;	Pode haver procedimentos que não estejam atendendo as especificidades dos projetos, interferindo na qualidade dos serviços.
Erro no dimensionamento ou no posicionamento das formas.	Quando mal colocadas as formas podem se movimentar e não conter o concreto, que é a sua função.

Fonte: Adaptado de Olivari (2003), Souza; Ripper, (1998).

Sendo assim, para se evitar grande parte dos problemas citados, cada fase da execução que for sendo concluída merece uma atenção para que não se leve erros adiante, pois os erros detectados devem ser corrigidos antes mesmo de se passar para a próxima atividade. Ao se detectar o erro deve ser feita a reparação correta, pois procedimentos de reparo inadequados também comprometem a vida útil da estrutura, como exemplifica Souza e Ripper (1998), que de forma errada, muitos construtores fazem aplicação de argamassa de cimento e areia como medida para correção de defeitos derivados da fase de execução.

2.2.3 Causas na fase de manutenção

Souza e Ripper (1998) ressaltam que mesmo seguindo todos os processos corretos nas duas primeiras fases, a edificação pode sofrer danos devido ao seu uso incorreto e falta de um programa de manutenção adequado. Sendo assim toda edificação deve seguir planos de inspeção e manutenção periódica para que sejam programadas formas de correção caso haja problemas provenientes do uso, da ação agressiva do meio ambiente e de eventuais impactos acidentais, do mesmo modo que já ocorre em obras publicas.

Azevedo (2011) denota o alto número de acidentes decorrentes do uso inadequado e falta de manutenção das edificações, não só em números como em gravidade, esses problemas merecem importância, podendo até mesmo submeter a vida humana a riscos de acidentes. Dois fatores são primordiais para esses danos, o excesso de carga aplicada e falta de acompanhamento técnico em reformas, uma vez que modificações não previstas levam a desestabilidade da estrutura.

Olivari (2003) cita os principais erros da fase de utilização, ligados a falta de manutenção que trazem bastante preocupação atualmente, que podem ser observados na Tabela 4. De acordo com o autor, há evidências de que esses problemas estão diretamente relacionados ao desconhecimento técnico, incompetência e problemas econômicos. Entretanto, só manutenção periódica correta pode evitar problemas patológicos desse tipo e até mesmo a ruína da estrutura.

Tabela 4 - Causas na fase de manutenção

<i>CAUSAS</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>
Sobrecarga não prevista em projeto;	Excesso de carga não prevista em projeto; Caixa d'água extra, modificações e reformas sem acompanhamento correto.
Danificação de elementos estruturais por impactos;	Interfere diretamente na capacidade resistente da estrutura.
Falta de programa de manutenção adequado;	A falta de manutenções periódicas leva a diminuição da vida útil da edificação como um todo.
Carbonatação e corrosão química ou eletroquímica;	Melhores descritas na tabela 1, separadamente.
Ataque de agentes agressivos;	Levam a degradação de forma geral, podendo ser agentes

	físicos, químicos ou mecânicos.
Erosão por abrasão.	Fluidos com partículas sólidas suspensas provocam ação abrasiva, atritando repetidamente com a superfície.

Fonte: Adaptado de Olivari (2003), Souza; Ripper, (1998).

Ainda que se cumpram corretamente todos os parâmetros e critérios definidos na elaboração do projeto, na execução da obra e no uso da edificação, ainda podemos ter problemas nos empreendimentos. Como sabemos, existem fatores naturais que muitas vezes não podem ser previstos pelos estudos necessários a uma construção. Como exemplos de amplitude maior temos os terremotos e furacões ou até casos menores como deslizamento de terra, mas que causam grandes estragos as estruturas também. Azevedo (2011) mostra que diante desses casos que os problemas acontecem por conta de eventos naturais imprevisíveis, os responsáveis por correções ou indenizações serão as seguradoras, caso a edificação seja assegurada.

2.3 SINTOMAS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Conforme Olivari (2003), embora as manifestações patológicas possuam diversas origens e isso resulte em vários mecanismos de ação diferentes, a maioria dessas anomalias é bem visível e com características específicas que possibilitam analisar as possíveis causas, determinar seus sintomas e diagnosticar corretamente o problema evidenciado. Sendo assim, ainda segundo os estudos de Olivari (2003), os sintomas mais comuns que acometem as manifestações patológicas podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5 - Principais sintomas de manifestações patológicas.

<i>SINTOMAS</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>
Esmagamento do concreto;	Ocorre geralmente devido a falta de armadura suficiente para resistir as solicitações.
Carbonatação;	Inicia-se na superfície, formando uma frente de carbonatação de pH mais ácido, que vai em direção ao centro, podendo causar a despassivação do aço.
Corrosão da Armadura;	Interação destrutiva, ocasionada por um mecanismo eletroquímico em presença de umidade, que forma uma

	película de eletrólito nas barras.
Fissuras ou trincas em elementos estruturais e alvenarias;	Seccionamento da superfície ou seção de um componente provocado por tensões normais ou tangenciais que geram aberturas capilares; podem ser ativas ou passivas.
Desagregação do concreto;	É a separação física de placas de concreto com perda da função ligante. Pode ser causada por fissuração, movimentação de fôrmas, corrosão, calcinação ou ataque biológico.
Ruptura do concreto;	Causadas geralmente por uso concreto de resistência inadequada, armaduras insuficientes, sobrecargas excedentes e recalques.
Percolação de água;	É o movimento da água do solo, que ocorre por ascensão capilar e pode provocar ruptura de canalizações.
Manchas, trincas e descolamento de revestimento em fachadas;	Manchas são geralmente eflorescências, um efeito secundário das infiltrações; Trincas são fissuras com aberturas de 0,6 a 1,5 mm; O descolamento ocorre devido à falta de aderência entre os materiais.

Fonte: Adaptado de Olivari (2003), Souza; Ripper, (1998).

2.4 EXAMES COMPLEMENTARES

A primeira fase para se entender origens e sintomas de uma manifestação patológica é a etapa de levantamento de dados, onde são colhidas todas as informações possíveis sobre o problema observado, a partir de arquivos, laudos, fotos e conversas com pessoas envolvidas e etc. E para se ter um melhor entendimento do problema podem ser feito exames complementares tanto laboratoriais como de campo. Serão descritos aqui dois ensaios usados na metodologia desse trabalho.

2.4.1 Ensaio de esclerometria

De acordo com a NBR 7584:1995 – Concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão, o ensaio de esclerometria é um ensaio não destrutivo, para determinação do valor aproximado da resistência à compressão superficial do concreto endurecido e de sua uniformidade.

Os ensaios não destrutivos permitem uma coleta de informações causando pouca ou nenhuma modificação na estrutura. Esse tipo de ensaio pode ser realizado durante a construção como ferramenta de controle ou após sua conclusão para verificar eventuais problemas. O ensaio visual realizado na etapa de vistoria do local também é considerado um tipo de ensaio não destrutivo.

No que diz respeito ao equipamento e funcionamento do ensaio, a NBR 7584:1995 retrata que o equipamento é chamado de esclerômetro de reflexão, e consiste em uma massa martelo impulsionada por uma mola que se choca com a área determinada. Quanto maior a dureza da superfície maior deve ser a reflexão da massa martelo, pois menor a parcela da energia que se converte em deformação permanente.

2.4.2 Ensaio de carbonatação

Segundo CEB (1989) o pH do concreto fica entre 12,6 e 14,0, dessa forma ele garante a proteção de armaduras devido a existência de uma fina camada passivadora. Quando carbonatado estes números ficam próximos de 8,50. A carbonatação inicia-se na superfície da estrutura formando a frente de carbonatação, que possui zonas de pH diferentes (uma básica e outra neutra). A carbonatação avança em direção ao interior do concreto e causa a despassivação do aço quando alcança a armadura tornando-a vulnerável.

De acordo com Pauletti (2007), O avanço da frente de carbonatação está diretamente relacionado à facilidade que o CO_2 encontra para difundir-se no interior do concreto, às condições ambientais e às propriedades do concreto, ocorrendo pela reação físico-química entre os compostos hidratados do cimento e o CO_2 da atmosfera.

2.5 DIAGNÓSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

De acordo com Lichtenstein (1985), o diagnóstico prescreve o trabalho a ser executado para a solução do problema, incluindo a definição de atividades que serão feitas e previsão das consequências no que diz respeito ao desempenho da estrutura.

O diagnóstico de casos de patologia nas construções é a identificação da manifestação (forma de ocorrência), da natureza (tipo), da origem (causa primária), do mecanismo (causa imediata) e da causa secundária dos problemas patológicos. Para um bom diagnóstico primeiramente é preciso conhecer o problema, que pode ter origens amplas, levando a um estudo aprofundado do mesmo.

Como descreve Souza e Ripper (1998) esse estudo deve reunir o maior número de informações possíveis para depois separar o que realmente é essencial. As informações são provenientes de uma série de atividades como exame visual do desgaste e de seu meio ambiente; ensaios locais, rápidos e simples; estudos de laboratório; consultas quanto à concepção da estrutura (conversa com os autores do projeto, estudo dos projetos), quanto à execução (as anotações de canteiro, atas de reuniões de obra, documentos diversos e correspondências disponíveis) e também quanto a sua utilização. Aqui podemos destacar a importância do Livro de Ordem nas obras de engenharia civil, documento cuja obrigatoriedade foi aprovada recentemente pelos Conselhos Regionais de Engenharia e Agronomia, que constitui a memória escrita de todas as atividades relacionadas com o empreendimento ou serviço.

Entretanto a coleta desordenada também pode dificultar o serviço do patologista, podendo confundi-lo e desviá-lo do tratamento certo. Sendo assim recomenda-se que todas as informações sejam colhidas ordenadamente para um resultado satisfatório. Para Souza e Ripper (1998) a metodologia para a inspeção de estruturas é dividida em três etapas básicas: levantamento dos dados; análise; e diagnóstico. A primeira é extremamente delicada e deve ser feita por engenheiro experiente. Já na segunda o analista deve ter um perfeito entendimento do comportamento da estrutura e de como surgiram e se desenvolveram os sintomas patológicos. A última etapa, o diagnóstico, poderá levar o analista a conclusões diversas, inclusive a demolição da estrutura, caso sua recuperação se mostre inviável. Na Tabela 6 podem ser visualizadas as fases do diagnóstico e a descrição do objetivo almejado em cada uma.

Tabela 6 - Fases do diagnóstico

<i>FASES</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>
Pré – Diagnóstico	Inspeção visual com o objetivo de realizar um método atuação para correção do problema.
Estudos Prévios	Recolhimento e levantamento de informações para conhecimento completo do problema.
Diagnóstico	Determinação do estado que em se encontra a edificação, a partir dos dados levantados nas fases anteriores dessa metodologia.

Fonte: Adaptado de Lichtenstein (1985), Souza; Ripper, (1998).

2.6 PROGNÓSTICOS PARA MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

De acordo com Lapa (2008), Prognóstico é dito como a atividade de levantar hipóteses sobre a evolução futura do problema, que deve ser feito após se concluir o diagnóstico e antes de se realizar a escolha da melhor terapia possível. Essa atividade ajuda o profissional a decidir qual melhor conduta tomar (Tabela 7).

Tabela 7 - Prognósticos para manifestações patológicas.

<i>PROGNÓSTICOS POSSÍVEIS</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>
Erradicar a enfermidade	Partindo da sua origem, consegue-se eliminar o problema inteiro.
Impedir ou controlar sua evolução	O problema pode não ser resolvido em sua origem por diversos fatores, mas não irá progredir tomando as medidas necessárias.
Não intervir	As vezes não se faz necessária intervenções pois a patologia não apresenta uma ameaça ao desempenho da estrutura.
Estimar o tempo de vida da estrutura	Analisa-se o progresso do problema, se o agente causador continua ativo ou não e com isso determinar a vida útil daquela estrutura.
Limitar sua utilização	Acontece quando o desempenho da estrutura encontra-se menor do que o necessário, podendo trazer riscos se usada da forma para qual foi projetada.
Indicar sua demolição	Ocorre quando para se retornar ao desempenho mínimo preciso da edificação o custo da intervenção é superior a construção da mesma.

Fonte: Adaptado de Lapa (2008).

2.7 TRATAMENTOS PARA MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Com o diagnóstico e prognóstico prontos, pode-se fazer a escolha das intervenções possíveis para solucionar o problema. Essa não é uma escolha simples, pois como já foi dito, existem diferentes causas e etapas onde as manifestações podem ter se originado, e essa variedade de possibilidades dificulta na escolha do método de correção.

O nível da intervenção escolhida esta relacionado principalmente ao desempenho estabelecido para o produto e o desempenho constatado. A escolha dessa forma de intervenção se encontra relacionada a três fatores: incerteza do efeito que irá causar, relação custo benefício e disponibilidade de tecnologia, como retrata Souza e Ripper (1998) em seu livro.

Para Lapa (2008), no artigo Patologia das Estruturas de Concreto, essas intervenções podem ser feita de três diferentes formas, como mostra a Tabela 8.

Tabela 8 - Tipos de intervenções para manifestações patológicas.

<i>INTERVENÇÕES</i>	<i>DESCRIÇÃO</i>
Reparo	Consiste em corrigir pequenos danos da estrutura; atividade preventiva ou corretiva feita antes que se atinja o nível mínimo de desempenho e sem que se ultrapasse o nível inicial.
Recuperação	Visa devolver a estrutura o desempenho original perdido;
Reforço	Tem por finalidade aumentar o desempenho da estrutura;

Fonte: Adaptado de Lapa (2008).

De acordo com Vieira (2016), um dos grandes problemas na hora da escolha da medida corretiva é que muitas vezes os profissionais não conhecem a verdadeira origem do problema ainda e já escolhem um método de tratamento qualquer. Este método pode trazer uma solução imediata, só que muitas vezes ela só funciona num curto prazo, voltando o problema de novo ou trazendo até consequências ainda maiores.

Portanto o problema para ser tratado de forma correta, deve ter como base o laudo técnico produzido por profissionais competentes nessa área, que é feito em cima de estudos de origem, causas e sintomas presentes nas manifestações patológicas encontradas. Nesta perspectiva, a ABNT NBR 13752:1996, que aborda sobre as Perícias de Engenharia na Construção Civil, diz que laudo é a peça na qual o perito relata o que observou e dá as suas conclusões ou avalia, fundamentalmente os direitos e o valor dos serviços e materiais, isto é, descreve com argumentos bem embasamentos teórica e legalmente, os fatos tais como eles ocorrem.

O IBAPE (Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia) está diretamente ligado ao desenvolvimento das atividades dos profissionais a engenharia e da arquitetura atuantes nos campos das avaliações de bens e das perícias e disponibilizou a Norma de Inspeção Predial Nacional. Tendo em vista que é a Inspeção Predial que propicia uma avaliação sistêmica da edificação, essa norma apresenta conceitos e critérios para a realização da Inspeção Predial e elaboração do seu Laudo.

Vieira (2016) diz que para fazer um Laudo de Patologias e Danos Construtivos devem-se levar em consideração as especificações técnicas dos projetos e memoriais descritivos, o uso, operação e a manutenção, à data e hora da vistoria e o meio onde a edificação está e nele deve constar a análise e avaliação de desgastes, falhas e anomalias, classificação dessas irregularidades quanto a origem e várias ilustrações fotográficas a fim de

tornar mais fácil a visualização do problema descrito. Pode-se também conter no laudo orientações técnicas e custos para os reparos necessários.

Ainda no estudo de Vieira (2016) denota-se que um bom laudo deve conter todos os pontos necessários para se atender os objetivos descritos acima e também levar a uma melhor compreensão do problema. Um melhor levantamento de dados está associado a etapa de levantamento de subsídios.

Para Souza e Ripper (1998) o levantamento de subsídios deve ser feito com vistoria ao local do problema, levantamento histórico do empreendimento, investigação do método de utilização, análise de documentos fornecidos e exames complementares, onde todas essas informações levarão a um quadro geral das manifestações presentes. Com a correta interpretação de cada manifestação encontrada, pode se chegar a sua resolução a partir de uma intervenção.

3 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada em duas comunidades do município de Tabuleiro do Norte – CE, a comunidade de Água Santa e a comunidade Lagoa do Peixe, cujas localizações podem ser melhor observadas nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

As duas comunidades estão localizadas na zona rural do município, estando distante da área mais desenvolvida. Muitas vezes os governantes negligenciam as áreas mais afastadas da cidade, não se importando com as suas necessidades. Como por exemplo, a distribuição de água, fator de grande importância para os moradores, negligenciada a partir da falta de manutenção dos reservatórios desse estudo de caso.

Figura 3 - Água Santa - Tabuleiro do Norte



Fonte: Google Maps, 2018.

Figura 4 - Lagoa do Peixe - Tabuleiro do Norte



Fonte: Google Maps, 2018.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

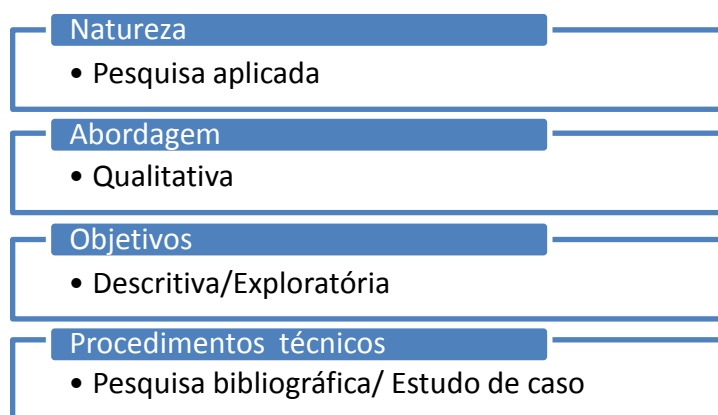
De acordo com Prodanov e Freitas (2003), uma pesquisa pode ser caracterizada de acordo com a sua natureza (pesquisa básica ou aplicada), seus objetivos (exploratória, descritiva e explicativa), sua abordagem (quantitativa ou qualitativa) e seus procedimentos técnicos (pesquisa bibliográfica, pesquisa documental, pesquisa experimental, levantamento, estudo de campo, participantes e estudo de caso).

Segundo Gil (2002),

A pesquisa é desenvolvida mediante o concurso dos conhecimentos disponíveis e a utilização cuidadosa de métodos, técnicas e outros procedimentos científicos. Na realidade, a pesquisa desenvolve-se ao longo de um processo que envolve inúmeras fases, desde a adequada formulação do problema até a satisfatória apresentação dos resultados. (Gil, 2002, p.17)

Para Lakatos e Marconi (1992), toda pesquisa diz respeito a um levantamento de dados advindos de várias fontes, onde essa documentação pode ser direta ou indireta. De forma direta pode ser por pesquisa de campo ou laboratorial, e na indireta ela pode ser pesquisa documental (fonte primária) ou bibliográfica (fonte secundária). A caracterização desta pesquisa está representada na Figura 5.

Figura 5 - Caracterização da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2018).

Quanto à natureza, o presente estudo é caracterizado como uma pesquisa aplicada, pois visa aplicação prática de seus conhecimentos com a intenção de melhorar as definições de conduta com relação às manifestações patológicas. A abordagem é qualitativa, uma vez

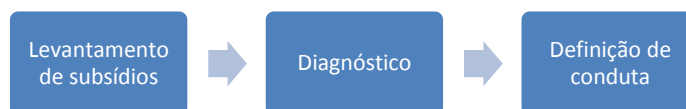
que os métodos utilizados levam a respostas que qualificam as situações patológicas existentes.

Com relação aos objetivos, a pesquisa é descritiva e exploratória. Descritiva por referenciar a patologia das edificações, seu desenvolvimento e importância, suas etapas, riscos e problemas relacionados a ela. Exploratória por fazer uso de métodos no intuito de denotar em campo os problemas patológicos descritos no estudo.

3.2 PROCEDIMENTO DA PESQUISA

O trabalho abordou um estudo de caso realizado para obtenção de manifestações patológicas em uma estrutura, bem como suas causas, mecanismo de ação e possíveis consequências. Assim, para alcançar os objetivos da pesquisa, foi necessário percorrer três etapas, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Procedimento da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2018)

3.2.1 Levantamento de subsídios

Nessa primeira fase foram coletadas todas as informações possíveis para fazer um bom diagnóstico do problema na etapa seguinte. Essas informações estão divididas de acordo com seu tipo, como foi listado acima e serão detalhadas abaixo.

- **Pesquisa bibliográfica**

Objetiva conhecer e estudar manifestações patológicas mais encontradas; busca a compreensão da origem de doenças na construção civil além de mostrar possíveis soluções ou medidas a serem tomadas para cada problema observado;

Essa pesquisa será feita por meio de diferentes tipos de fontes, sendo elas: normas ou manuais técnicos, livros, pesquisas ou projetos na área, e teses ou dissertações sobre o tema. E todas as suas informações estão contidas no referencial teórico do trabalho.

- **Pesquisa documental**

Essa investigação se concentra em dados obtidos a partir dos documentos colhidos, como registros em arquivos públicos, projetos, declarações oficiais, laudos, fotos, etc.

- **Vistoria do local**

A vistoria do local tem o objetivo de definir de maneira sucinta a existência, extensão e gravidade do problema. Nessa etapa deve-se olhar o local, fazer todas as anotações possíveis (registros, fotos etc.), fazer a anamnese (investigar as pessoas envolvidas no caso);

A anamnese é o levantamento do histórico da construção, método que faz uso de entrevistas com usuários, construtores e projetistas da edificação, mostrando-se uma maneira altamente humana e empírica de análise do problema e pré-diagnóstico (DO CARMO, 2003).

Além dos registros fotográficos feitos para melhor definir os problemas encontrados, também se conversou com pessoas que moram na comunidade e usufruem da água do reservatório, e com as pessoas responsáveis pela manutenção dessas estruturas.

- **Exames complementares**

Os exames ajudam a definir melhor as características dos problemas encontrados, eles podem ser laboratoriais ou em campo.

A fim de se obter maiores informações a respeito dos problemas encontrados optou-se por fazer dois tipos de exames. Nesse estudo de caso foi feito o ensaio de esclerometria, para medir a resistência do concreto, o ensaio de carbonatação, com uso de fenolftaleína e o monitoramento de fissuras, para o controle de suas aberturas.

3.2.1.1 Ensaio de Esclerometria

Foi usado um esclerômetro convencional, da marca AMC (Acessórios de Máquinas para Construção) para fazer o ensaio, como mostra a Figura 7. Ele pode ser usado em três posições: vertical pra cima, vertical pra baixo ou horizontal (a posição da medição indica qual curva deve ser utilizada para auferir o valor da resistência).

Esse tipo de esclerômetro mede um determinado valor que é influenciado pela gravidade, onde se faz necessário compensar esse ângulo de impacto com um ábaco para a leitura correta da resistência.

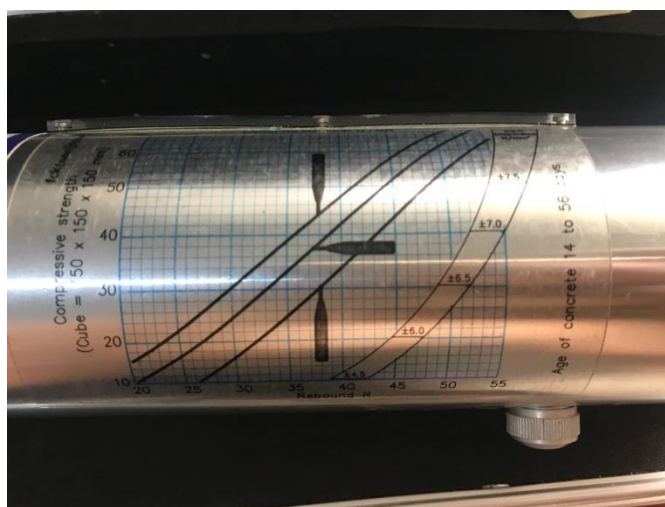
Na Figura 8 pode ser observado o ábaco cuja utilidade é a de obter o valor da resistência característica do concreto no ponto analisado. Atualmente, existem equipamentos digitais mais modernos que fornecem valores diretos, não influenciados pela gravidade.

Figura 7 - Esclerômetro convencional AMC



Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 8 - Ábaco do esclerômetro



Fonte: Autoria própria (2018)

O ábaco presente no equipamento mostra as três posições possíveis de uso do mesmo, cada uma com sua curva estabelecida. A medição do ensaio foi feita seguindo um modelo de ensaio que segue os parâmetros estabelecidos pela NBR 7584:1995 – Concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão.

Foram feitas seis amostras (N1 a N6), no reservatório da comunidade da Lagoa do Peixe foram feitos quatro amostras. (N1 a N4) e na Água Santa apenas duas (N5 a N6).

Para a medição seguiu-se as recomendações da NBR 7584:1995, que diz que:

- ✓ Devem-se evitar leituras à distância $< 5,00$ cm das arestas;
- ✓ Deve-se efetuar no mínimo 9 leituras em cada área;
- ✓ Não realizar mais de 1 impacto no mesmo ponto;
- ✓ Usar distância mínima entre impactos de 3,00 cm.

A forma de análise da resistência segue uma sequência rápida e fácil de cálculos que se comporta da seguinte forma:

- ✓ Depois de aplicado e colhida os dados, é feita uma média aritmética dos valores encontrados;
- ✓ Desprezar todo índice individual que esteja afastado em mais de 10% do valor médio obtido (a essa média deve ser acrescentado 10% de seu valor e depois diminuído 10% de seu valor, criando assim uma faixa. Dos valores encontrados em campo, só serão usados aqueles que se encontrem dentro dessa faixa estabelecida);
- ✓ Fazer a nova média aritmética dos valores que restaram;
- ✓ Com esse valor médio usar o ábaco para rebater e encontrar o valor da resistência característica em MPa.

3.2.1.2 Ensaio de carbonatação

Com o uso de solução alcoólica de fenolftaleína pode-se observar onde ocorreu a carbonatação, pois depois de aplicada com o auxílio de um borrifador, se a superfície da amostra permanecer inalterada, indica que há carbonatação. Em contraposição, se adquirir a coloração magenta, isto quer dizer que a carbonatação não atingiu aquela região.

As amostras retiradas para análise com o indicador de fenolftaleína foram do reservatório da Água Santa, que apresentava partes deslocadas do revestimento, e também onde o acesso para a remoção dos corpos de prova foi possível (Figura 9).

Figura 9 - Amostras retiradas do reservatório



Fonte: Autoria própria (2018)

3.2.1.3 Monitoramento de fissuras

No monitoramento de fissuras foram feitas as análises usando os materiais presentes da Figura 10 e seguindo a ordem de atividades abaixo listada.

- ✓ Mapeamento;
- ✓ Aplicação de gesso;
- ✓ Abertura de janela de inspeção;
- ✓ Monitoramento com pinos ou pregos;
- ✓ Monitoramento com lâminas de vidro;
- ✓ Evolução das fissuras.

Figura 10 - Materiais usados no monitoramento de fissuras



Fonte: Autoria própria (2018)

- ***Mapeamento***

O mapeamento é feito a partir de um levantamento completo das fissuras registradas em um quadro de fissuração por meio de desenhos. O registro é feito a partir das fissuras mais significativas, indicando sua forma, extensão e abertura. Em fissuras pequenas pode ser feito um umedecimento, pois a água que penetra nelas facilita sua observação.

Esse mapeamento ajuda a identificar os movimentos atuantes que possam ter gerado as fissuras, por meio da análise das direções de desenvolvimento das tensões de tração. Esse quadro também pode ajudar na escolha dos pontos de monitoramento.

- ***Aplicação de gesso***

A aplicação de gesso é feita apenas com a finalidade de se verificar se a fissura é ativa ou passiva, não tendo como ser feito um controle de abertura (distância entre as bordas da fissura, medida de forma perpendicular à direção local de progresso da fissura) com esse material. Devido sua fragilidade e pouca resistência, se houver alguma movimentação na abertura da fissura, o material também acompanha esse movimento, havendo fissuração também na sua superfície, que indicará que a fissura está ativa.

Antes da aplicação do gesso é interessante que seja feita um exame rápido da abertura da fissura, para essa leitura pode ser feito uso de um fissurômetro, mas na falta deste equipamento fez uso de uma régua comum. Também é interessante registrar a extensão de cada uma, marcando o início e o fim da lesão, de acordo com um exame visual e medindo o seu comprimento com o auxílio de trena.

Essa aplicação é feita usando água, espátula, um recipiente e gesso em pó, cerca de 1,00 Kg. Mistura-se a água com o aglomerante em um recipiente de plástico até se obter uma mistura consistente e homogênea, e aplica-a em alguns pontos das fissuras. Essa aplicação é mostrada na Figura 11.

Figura 11 - Aplicação de gesso nas fissuras.



Fonte: Autoria própria (2018)

Após 48 horas da aplicação foi verificada se havia alguma fissuração nas superfícies da mistura de gesso, que mostra quais fissuras estão ativas, que seriam as mais adequadas para o ensaio de monitoramento.

Caso não haja fissuras ativas a escolha para o controle é feita pela de maior relevância em termos de extensão (comprimento de desenvolvimento da lesão ao longo da superfície do elemento afetado) e espessura ou profundidade (distância do ponto mais profundo afetado pela lesão e a superfície do elemento). Onde a espessura é adotada em relação ao local de maior abertura, pois varia o longo do comprimento da fissura.

- ***Abertura de janela de inspeção***

A abertura da janela de inspeção é feita a fim de se verificar se as fissuras atingiram só a parte do revestimento e proteção ou já está nos elementos estruturais. Essa abertura foi feita na fissura mais adequada para as técnicas de monitoramento usadas a seguir. Na Figura 12 mostra a abertura feita para avaliação da progressão da fissura ao longo do tempo.

Figura 12 - Abertura da janela de inspeção



Fonte: Autoria própria (2018)

- ***Monitoramento com pinos e lâminas de vidro***

Para monitoramento de fissuras optou-se por usar os pinos e as lâminas de vidro, com o intuito de verificar possíveis movimentações, tanto em relação à sua abertura como também ao aumento do seu comprimento, ou seja, a evolução da fissura.

Para as duas técnicas é preciso que após a escolha das fissuras seja feita a escolha dos pontos de controle com a ajuda do mapeamento. Definidos os pontos, e feita toda a instrumentação de cada técnica, são feitas leituras periodicamente.

No controle de fissuras com emprego de pinos (pregos ou parafusos), precisa-se inicialmente que o material seja suficientemente resistente ao impacto da cravação dos mesmos, mas não tão resistente que não permita a cravação dos pregos. São fixados três pinos, a uma distância de 50,00 mm, assim se tem dois segmentos de controle e um de referência, que ajuda a avaliar possíveis efeitos térmicos.

Para que se possa detectar algum erro de medida é necessário que se faça duas ou três leituras independentes das distancias entre os pinos. Essas leituras podem ser feitas com o auxílio de uma régua.

Para o controle de fissuras por lâminas de vidro, é necessário duas lâminas de vidro e material adesivo resistente para fixação na janela de inspeção. O material usado foi a fita adesiva epóxica e as lâminas foram fixadas dentro das janelas de inspeção abertas anteriormente. Para se monitorar essa abertura são traçadas linhas de referências nas lâminas,

para que, com a movimentação da abertura, seja mais fácil de medir o quanto a mesma aumentou. Essas leituras também são feitas com o auxílio de uma régua.

O monitoramento N2 foi escolhido de acordo com os valores de abertura e profundidade encontrados anteriormente e foi feito no dia 22/08/2018. O monitoramento N4 foi feito no dia 27/08/2018 devido à detecção de fissuração no gesso ter aumentado nesse ponto depois. O monitoramento da N6 foi o único feito com pinos, sendo esse o único local que conseguiu colocar os pregos, os demais eram muito rígidos. Este último também só foi realizado no dia 27/08/2018.

- ***Evolução das fissuras***

Depois de realizado o monitoramento, para se analisar a evolução das fissuras são traçados gráficos, referentes à sua abertura e/ou comprimento ao longo do período estabelecido. Ao final desse período se analisa os dados obtidos para a atividade de fissuração.

3.2.2 Diagnóstico

Foi feita a avaliação de todos os dados obtidos no levantamento de subsídios (pré-diagnóstico) no intuito de se gerar hipóteses de possíveis causas para as manifestações patológicas encontradas.

O diagnóstico não é uma atividade de fácil concepção devido aos diferentes processos existentes em cada etapa da construção, mas a partir dos dados fornecidos buscou-se traçar algumas relações de causa e efeito a fim de identificar os principais motivos possíveis para os problemas encontrados.

3.2.3 Definição da conduta

Encontrada a causa do problema e também as possíveis consequências se estabelece a medida mais apropriada a ser tomada. Pode-se intervir ou não intervir dependendo do diagnóstico estabelecido. Caso tenha que se intervir deve ser definido a terapia que será usada, bem como os materiais usados e seu processo de execução.

A escolha da alternativa de intervenção é baseada em três fatores: na incerteza do efeito de cada medida possível, na melhor relação custo/benefício entre elas e na disponibilidade de tecnologia para executá-las.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nesse trabalho também serão separados e discutidos por etapas para melhor entendimento.

4.1 LEVANTAMENTO DE SUBSÍDIOS

4.1.1 Reservatório da Água Santa

4.1.1.1 Pesquisas

Na pesquisa documental teve-se acesso ao Laudo de Patologias e Danos Construtivos do reservatório da Água Santa apresentado no Anexo 01.

Como mostra o laudo, o reservatório localizado na Água Santa, que é o construído por manilhas de concreto armado, apresenta-se bastante deteriorado, não sendo possível a sua recuperação, devido a sua metodologia construtiva, pois não teria como substituir as manilhas com defeito sem que se retirassem todas acima das mesmas, além do fato de ter sido detectado uma elevada profundidade do fenômeno da carbonatação, sugerindo-se a sua demolição para construção de um novo.

Devido o perigo à população apresentado no laudo pelo risco de desabamento, a prefeitura não permitiu que fossem feitos ensaios de controle neste reservatório. Apenas foi possível colher amostras para o ensaio de carbonatação, fazer o ensaio de esclerometria para averiguar a resistência característica do concreto e a vistoria do local para mostrar o nível de deterioração do reservatório, em um só dia, com acompanhamento de um profissional do setor de obras do município.

4.1.1.2 Vistoria do local

A vistoria foi feita em reservatórios de água que atende a população da comunidade de Água Santa Peixe no município de Tabuleiro do Norte – CE, como mostram a Figura 13.

Figura 13 - Reservatório da Comunidade de Água Santa



Fonte: Autoria própria (2018)

No processo de anamnese foi levantando questionamentos a respeito da insegurança dos moradores com a situação de deterioração que o reservatório se encontra, como também de insatisfação com a falta de manutenção adequada e negligência da Prefeitura em resolver esse problema. Foram retratadas também as condições da água que apresentam alta salinidade, o que contribui para o processo de corrosão das estruturas. Também foram citadas algumas reclamações a respeito da distribuição de água insuficiente na região e da grande importância desses reservatórios para os usuários, pois se com seu uso, ainda há problemas com disponibilidade de água, sem eles a situação se agravaria.

Foram observados vários pontos de corrosão, tanto na parte interna, como na parte externa da estrutura. Também é visível certa inclinação para o lado do reservatório como um todo, o que explica o risco de desabamento descrito no laudo. Uma das possíveis causas dessa inclinação é devido a recalques na fundação, por acomodação do solo ou devido a fundação ter sido executada em solo que não apresentava características de tensão admissível adequadas.

A estrutura se encontra bastante danificada, com deslocamentos do cobrimento e grande exposição de armaduras, muitas delas completamente corroídas (Figuras 14 e 15).

Figura 14 - Vistoria do local na Água Santa



Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 15 - Desplacimento no reservatório



Fonte: Autoria própria (2018)

O deslocamento deve ter ocorrido devido à presença de queda de água frequente tanto por dentro como fora da estrutura, como vazamentos, por exemplo. A corrosão se deve a

presença de uma água com alto teor de sais (especialmente o sal cloreto), como foi dito por um morador local e ao fato de a estrutura não apresentar cobrimento mínimo necessário, como apresentam as fotos.

O reservatório da Lagoa do Peixe foi moldado in loco, já o reservatório da Água Santa, constituído de manilhas atende (ou pelo menos deveria) a NBR 9062/2017 Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado, que estabelece critérios para concepção e construção de estruturas pré-moldadas de concreto armado ou protendido, de modo que a mesma incorpora conceitos de outra norma do setor – a NBR 6118/2014 Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento, determinando fatores como a quantidade de armaduras, espessura mínima da parede do reservatório e limite de fissuras.

4.1.2 Reservatório da Lagoa do Peixe

4.1.2.1 Pesquisas

Para o segundo reservatório não foi possível se obter o laudo, pois o mesmo só seria liberado junto com o orçamento de reforma da estrutura, que ainda não estava pronto. De toda forma, foi disponibilizado o local para alguns ensaios que não trouxessem danos a estrutura.

4.1.2.2 Vistoria do local

A vistoria foi feita em reservatórios de água que atendem a população da comunidade Lagoa do Peixe no município de Tabuleiro do Norte – CE, como mostra a Figura 16.

Figura 16 - Reservatório da Comunidade de Lagoa do Peixe



Fonte: Autoria própria (2018)

A vistoria do segundo reservatório também apresentou partes com corrosão acentuada (como mostra a Figura 17), mas a principal patologia encontrada foi fissuras, de grandes aberturas, chegando até 1,0 cm, comprometendo toda a estrutura, que aparecem na Figura 18.

Figura 17 - Corrosão no reservatório



Fonte: Autoria própria (2018)

A corrosão deve-se ao fato de haver vazamentos constantes de água para fora da estrutura, como foi observado durante os ensaios, e de se considerar que esta água também apresenta alta salinidade.

Figura 18 - Fissuras e trincas





Fonte: Autoria própria (2018)

Em boa parte da estrutura pode ser percebido que já tinham sido feitos alguns pequenos reparos, possivelmente devido aos mesmos problemas com fissuras, que com o tempo, voltaram aparecer. Essas fissuras podem estar apenas no revestimento ou se dever ao mau dimensionamento da estrutura, para suportar a solicitação existente de água acima, podem ter origem térmica ou terem como causa a falta de manutenções e avaliações periódicas, problema constante em obras públicas, o que levou a uma intervenção mais séria de reforma agora.

4.1.3 Exames complementares

4.1.3.1 Ensaio de esclerometria

As distâncias usadas para a aplicação do equipamento, foram de 6,00 cm da borda, e de 4,00 cm entre os pontos de medição, como mostram as imagens abaixo, atendendo assim as exigências da NBR 7584:1995. A aplicação foi feita na forma horizontal (perpendicular à estrutura).

Figura 19 - Distancias usadas no ensaio



Fonte: Autoria própria (2018)

Foram feitas seis amostras (N1 a N6) todas no padrão descrito acima (Figura 19) e de acordo com as Figura 20 .

Figura 20 - Aplicação do esclerômetro



Fonte: Autoria própria (2018)

Onde os valores obtidos por cada aferição se encontram no Quadro 2, seguindo a ordem de cálculos detalhada na metodologia do ensaio. Onde os valores destacados são aqueles usados para se obter a média final.

Quadro 2 - Valores do ensaio de esclerometria

AMOSTRAS	VALORES OBTIDOS									MÉDIA	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	NOVA MÉDIA	FCK
N1	18	28	27	22	25	23	20	23	24	23,33	20,99	25,60	23,4	14,5
N2	36	46	39	45	38	34	34	32	34	37,55	37,17	41,31	38,5	39
N3	29	28	20	27	21	19	28	22	19	23,67	21,30	26,03	21,5	10
N4	31	26	29	29	27	24	32	25	27	27,77	24,99	30,56	27,1	21
N5	44	52	49	44	50	54	47	44	50	48,22	43,40	53,04	47,5	56
N6	41	48	32	42	44	45	43	48	48	42,77	38,50	47,05	42,8	47

Fonte: Autoria própria (2018)

Pelos resultados do ensaio de esclerometria nota-se uma grande diferença entre os valores obtidos em cada local analisado, onde se pode acreditar que a diferença de valores entre as amostras do reservatório de manilhas deva-se ao fato de haver deterioração desigual nos locais aplicados.

Para o reservatório da Lagoa do Peixe, obteve-se grande diferença nas amostras, pelo motivo inicialmente citado no outro reservatório, corrosão em áreas diferentes, mas também por um fato já citado anteriormente, que seriam as reformas feitas em algumas partes da estrutura no intuito de que a mesma continuasse desempenhando sua função. Então em algumas partes em que foram aplicados os ensaios havia mais concreto do que outras.

4.1.3.2 Ensaio de carbonatação

Após a aplicação da solução alcoólica de fenolftaleína nas amostras retiradas do reservatório da Água Santa, foi possível observar que as mesmas encontravam-se praticamente todas carbonatadas, pois não houve mudança de cor nas superfícies aplicada. Apenas uma das amostras apresentou em uma pequena parte sua uma leve coloração roxa, indicando que ali a carbonatação ainda não tinha atingido, como mostra a Figura 21.

Figura 21 - Amostras carbonatadas



Fonte: autoria própria(2018)

4.1.3.3 Monitoramento de fissuras

- **Mapeamento**

Para se conseguir enxergar toda a dimensão das fissuras possíveis de se fazer os ensaios, no reservatório da Lagoa do Peixe, aplicou-se água com ajuda de um pincel nos locais em que as fissuras se mostravam menos evidentes, que são aquelas menores, como apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Mapeamento das fissuras



Fonte: Autoria própria (2018)

- ***Aplicação do gesso***

Após aplicação do gesso, como mostrado na metodologia, observaram-se mínimas fissuras na sua superfície, indicando que eram fissuras ativas, com aberturas que variavam em função de movimentações, mas que estavam em uma atividade bastante lenta, como denota-se na Figura 23.

Figura 23 - Selo de gesso



Fonte: Autoria própria (2018)

Outros parâmetros além da atividade da fissura foram levados em consideração na hora da escolha dos pontos de controle das mesmas. Estes seriam o tamanho da abertura da fissura, sua profundidade e comprimento.

As aberturas das fissuras apresentaram valores que variam de 0,20 cm até quase 1,00 cm, podendo ser classificadas em rachaduras a fendas, de acordo com a Tabela 9, como mostra a Figura 24.

Tabela 9 - Tipos de aberturas

<i>TIPO DE ABERTURA</i>	<i>ESPESSURA DA ABERTURA (MM)</i>
Fissura	Até 0,5
Trinca	De 0,5 a 1,5
Rachadura	De 1,5 a 5,0
Fenda	De 5,0 a 10,0
Brecha	Acima de 10

Fonte: adaptado de Oliveira (2012)

Figura 24 - Abertura de fissuras



Fonte: Autoria própria (2018)

Para as profundidades das fissuras observaram-se valores que iam de 1,00 a 1,50 cm, como mostra a Figura 25.

Figura 25 - Profundidade das fissuras



Fonte: Autoria própria (2018)

Os valores de comprimento das fissuras variavam bastante, tendo delas que iam do começo ao fim da estrutura, as escolhidas para análise estavam entre 0,50 m e 1,00 m (Figura 26).

Figura 26 - Comprimento das fissuras



Fonte: Autoria própria (2018)

- ***Abertura de janela de inspeção***

Como não podia ser feitas atividades que alterassem o reservatório de nenhuma forma, só pode ser aberto uma janela de inspeção, localizada na parte que já estava danificada.

A partir dessa janela de inspeção verificou-se que a fissura ia além da parte de revestimento, mas não atingiu o elemento estrutural de concreto e sim alvenaria de blocos maciços. A janela foi usada para fazer um monitoramento com laminas de vidro, como mostra a Figura 27, onde durante o período analisado entre 22/08/2018 e 09/09/2018 não houve mudanças significativas, apresentando apenas uma leve alteração entre as linhas de menos de um centímetro.

Figura 27 - Controle de fissura na janela de inspeção n1.



Fonte: autoria própria.

- **Monitoramento com pinos e lâminas de vidro**

Todos os três monitoramentos descritos na metodologia (N2, N4 e N6) podem ser observados na Figura 28.

Apenas o controle N1 apresentou uma mínima alteração entre suas linhas de referências, enquanto que os outros três pontos de controles não tiveram suas distâncias alteradas durante todo o período de análise, como mostra a Figura 29.

Esse resultado deve-se ao fato de ter sido mínima a alteração até mesmo na superfície de gesso, que é a menos resistente. Sendo detectada apenas uma sutil diferença no controle que pôde ser feito diretamente na parte estrutural.

Os controles que ocorreram na parte superficial, apenas de revestimento, não detectaram evolução da abertura de fissuras, sendo provável que se fossem feitos em janelas de inspeção houvesse alguma evolução também.

Figura 28 - Controle de fissuras



Fonte: Autoria própria (2018)

Figura 29 - Resultados do monitoramento de fissuras



Fonte: Autoria própria (2018)

- ***Evolução das fissuras***

As alterações significativas vistas no período dizem respeito ao comprimento das fissuras, onde algumas se estenderam além do local delimitado no primeiro dia de ensaio, variando de 1,00 cm a 6,00 cm como mostra a Figura 30.

Essas fissuras podem ter sido causadas por movimentações térmicas devido à alta incidência solar naquela região, como também a exposição a diferentes temperaturas ao longo do dia, visto que lá os dias são muito quentes e as noites frias.

Figura 30 - Evolução no comprimento das fissuras



Fonte: Autoria própria (2018)

4.2 DIAGNÓSTICO

Para o reservatório da comunidade de Água Santa pode se dizer que as formas de ocorrência dos problemas patológicos mais encontrados foram fissuras e trincas na superfície de concreto, com parte das armaduras expostas, causada pelo mecanismo da corrosão eletroquímica, que seria a causa mediata das manifestações.

Dentre as causas secundárias para esses problemas, temos o concreto poroso, exposição intensa a agentes agressivos, e cobrimento insuficiente, levando a insuficiência de alcalinidade no concreto para que se evitasse a corrosão. Não se sabe ao certo se a causa primária (origem) foi já na execução ou na etapa de projeto, na hora de colocar as especificações e espessuras corretas para aquele meio, já que não se teve acesso ao projeto da estrutura.

O deslocamento descrito na vistoria do local contribui para a rápida extensão da corrosão nas armaduras, devido o mesmo retirar o cobrimento, aumentando mais ainda a exposição da estrutura ao meio ambiente e seu contato com CO_2 , composto químico que desencadeia o fenômeno da carbonatação do concreto.

Os agentes de degradação mais observados foram os físicos, dentre eles a água, a temperatura e a presença de cloretos e de dióxido de carbono presente na atmosfera. Dentre os processos físicos possíveis foram notados de todos os tipos, desgaste superficial, deformação e fissurações. Onde o desgaste superficial deve-se ter sido causado pela erosão, no transporte da água contendo partículas solidas em suspensão.

Grande parte dos fenômenos de degradação físico-químicos estão relacionados a movimentação de água, sendo esta a responsável pelo transporte de gases, líquidos e íons agressivos, isso explica boa parte da degradação presente em reservatórios de água onde não tem manutenção adequadas.

Para as fissuras no reservatório de manilhas a causa pode ser recalque, devido ao tombamento observado e movimentações térmicas, devido à alta incidência solar naquela região também.

Outra possível causa para as fissuras está ligada ao processo químico que pode ter ocorrido devido as reações álcali-agregados, pois na região não é comum a realização de análises que verifiquem a existência de álcalis na brita usada, e normalmente ela é usada sem lavamento prévio. Essas reações são expansivas e geralmente ocorrem em ambientes úmidos, de forma lenta, podendo levar anos para se manifestar. Como o próprio nome já diz, essas reações ocorrem devido à interação dos álcalis do cimento com minerais de alguns agregados,

e essa forma fissuras em forma de rede na superfície do concreto, como foi observado no reservatório da comunidade da Lagoa do Peixe.

É importante citar que as próprias fissuras ajudam na penetração de água dentro da estrutura, levando as manchas de umidade, deterioração dos revestimentos, e causando também efeitos psicológicos de insegurança.

A durabilidade de uma estrutura depende bastante do cobrimento da armadura, onde para se respeitar o cobrimento mínimo, deve-se usar o cobrimento nominal, que é o mínimo, só que acrescido da tolerância de execução.

A corrosão é a maior causa de deterioração de estruturas de concreto e é caracterizada pela redução da seção de aço e o deslocamento do concreto, tendo como principal causa o processo de carbonatação, que é influenciado diretamente pela presença de água.

A proteção das armaduras é feita pelo cobrimento (proteção física) e por passivação (proteção química), que são películas de óxidos. A passivação pode ter sido perdida pelo processo de carbonatação ou presença dos íons cloreto. Os íons de cloreto estavam presentes na água contaminada por sal, como descrito por moradores das comunidades.

Com relação ao tombamento observado no reservatório da Água Santa pode-se dizer que se a causa do mesmo estiver relacionada a problemas patológico nas fundações, ocorreu devido a falta de investigação do subsolo correta ou erros de projeto e execução, pois eventos pós-conclusão possíveis tais como escavação, demolição ou até mesmo tráfego pesado próximo ao local não foram observados ultimamente.

Essa diferença nas amostras do ensaio de esclerometria também pode ter como causa a diferença de tempo entre um concreto já lançado, que fica perdendo água, e outro que está sendo preparado, devido a insuficiência de material para concretar um elemento por inteiro, que é muito comum acontecer nessas obras pequenas e em locais distantes. Essa perda de água altera o fator água/cimento aumentando a resistência do concreto.

4.3 DEFINIÇÃO DE CONDUTA

Após o diagnóstico das patologias realizado, seja por inspeção visual ou por ensaios, nota-se que os procedimentos adotados variam de caso para caso, em um deles foi recomendada a demolição da estrutura, devido sua deterioração avançada e até mesmo devido à metodologia construtiva empregada.

A construção de um novo reservatório foi tida como melhor opção em função dos danos observados e tendo como agravante para esse reservatório seu alto grau de corrosão, pois este é um dos problemas mais sérios e custosos de se resolver.

Já no outro reservatório está sendo feito um estudo do orçamento para sua reforma, a recuperação de patologias como estas não diferem muito na prática uma da outra, onde as atividades mais frequentes são: execução da remoção da camada superficial do concreto, limpeza das armaduras corroídas, proteção ou substituição das mesmas, recomposição do cobrimento das armaduras através de argamassa polimérica (massa pronta comercializada em estado pastoso) ou graute e processos de cura úmida.

Estas atividades são bastante difundidas entre os profissionais que trabalham em obra. O que pode diferenciar muitas vezes um serviço do outro, é a qualidade dos materiais que são empregados e também o controle de execução das recuperações.

Para se garantir uma melhor qualidade e que os problemas existentes não voltem logo a aparecer, pode ser feito uso de concreto menos permeável, com menor relação água/cimento e maior fck (5Mpa acima do já existente), como também colocar armaduras que sejam especialmente passivas, aços revestidos, inoxidáveis ou de fibras.

Também é necessário promover uma correta impermeabilização da estrutura, já que a mesma encontra-se em contato direto com água, com medidas especiais, como a proteção catódica, que faz uso de um metal de sacrifício, para onde a corrosão é direcionada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No trabalho foi discutido como a construção civil é importante para o desenvolvimento da sociedade de forma geral, pois é a partir dela que se desenvolvem todas as atividades. Dessa forma, o estudo das manifestações patológicas que acometem as construções também é de grande relevância, na medida em que elas afetam diretamente características das estruturas que são necessárias para o desempenho correto das mesmas.

Ao longo da construção desse trabalho, observou-se que são necessários muitos estudos para se realizar um diagnóstico das manifestações patológicas e se obter um bom resultado. Mas problemas nas edificações sempre existirão, cabe aos profissionais solucioná-los da melhor forma possível, e para isso a engenharia civil precisa investir mais no aprimoramento de profissionais da área de patologia, em métodos corretivos eficazes e treinamento dos operários.

A qualidade no processo de construção civil é uma questão que tem se tornado cada dia mais importante e vem evoluindo de processos apenas corretivos para uma visão preventiva que acompanha todas as etapas do processo visando se antever e evitar possíveis patologias.

De acordo com os dois estudos de casos feitos, foram observadas diferentes manifestações patológicas nos reservatórios, que vão desde fissuras e trincas, à corrosão, que desencadeou redução da seção do aço e deslocamentos do concreto.

No que diz respeito às fissuras e corrosão das armaduras constatou-se que se não forem obedecidos os critérios para proteção e bom uso da estrutura, em algum momento necessariamente, ela precisará ser recuperada.

Mesmo em péssimas condições os reservatórios continuam em uso, devido a necessidade das pessoas que não possuem alternativa no momento, mas um deles, o da comunidade da Água Santa, coloca em risco a vida dos moradores pela possibilidade de tombamento da estrutura.

Como foi analisado no diagnóstico, os problemas observados podem ter sido desencadeados por vários tipos de processos, sendo eles físicos ou químicos, movimentação de água, a exposição a altas temperaturas, as reações álcali-agregados, a presença de cloretos e o dióxido de carbono presente no ambiente. Dentre esses se pode destacar a alta temperatura e presença de cloretos como principais causas de acordo com as informações colhidas ao longo dos estudos.

Contudo essas causas devem estar aliadas a possíveis falhas construtivas como concreto poroso e cobertura insuficiente, que facilitam a forma de ocorrência das mesmas.

Tudo isso em conjunto com a falta de uma manutenção periódica adequada e também do tempo de uso das estruturas, cerca de 20 anos, levaram as manifestações patológicas existentes hoje.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A nova visão de métodos preventivos para problemas construtivos ganha cada dia mais lugar, seja em estudos e publicações ou mesmo como parte integrante nos procedimentos das construtoras, onde se acredita ser esse um novo e importante campo da patologia das edificações, devendo assim haver mais realização de encontros entre profissionais capacitados, onde haveria uma discussão sobre a aplicação de ferramentas para melhoria da qualidade das obras.

Nesse trabalho foi dado mais enfoque as principais causas e sintomas possíveis dos problemas construtivos, em outros estudos seria interessante voltar-se aos custos relacionados aos reparos de cada tipo de manifestação patológico, como também à maior ou menor incidência delas nas construções nos dias atuais, para se avaliar que tipo de patologia está piorando ou se extinguindo.

ANEXOS

1. Laudo de patologias e danos construtivos.

LAUDO TÉCNICO

Nº 001/2018

1. Do Histórico

O Presente Laudo de Segurança está vinculado a uma solicitação da Secretaria de Desenvolvimento Agrário e Rural da Prefeitura Municipal mais precisamente da Gerência de Núcleo de Recursos Hídricos, por intermédio do interessado, Sr. Bruno Rafael da Silva de Freitas funcionário dessa Secretaria como Secretário no que concerne as condições de segurança, estabilidade e atendimento ao público de uma caixa d'água elevada confeccionada com manilhas com 1,50m de diâmetro. Na localidade de Água Santa neste município.

2. Da Vistoria e Análise

Aos 03 dias do mês de julho de 2018, tiveram início os trabalhos de Vistoria Técnica em Segurança na citada Caixa D'água, os quais resultaram no presente atestado.

Trata-se de uma construção antiga, apresentando em algumas de suas partes fissuras nas manilhas, paredes internas e externas muito deterioradas como também um leve deslocamento em sua estrutura que no futuro irão comprometer a segurança desta edificação.

As instalações elétricas, e hidráulicas estão totalmente comprometidas. No entanto estão funcionando mesmo assim sem a menor segurança para as pessoas que transitam por este local.

Vale salientar que o problema mais sério encontra-se na base de sustentação da referida edificação pois há perigo de desabamento.

3. Da Conclusão

A retro citada construção encontra-se num estado de degradação tamanho que não há a menor possibilidade de reparos, necessitando portanto de ser demolida e a confecção de uma nova caixa d'água.

Nessas condições encerramos o presente atestado por não ter nenhuma outra observação que mereça destaque.

O referido atestado tem validade até 02 de dezembro de 2018.

Tabuleiro do Norte, 03 de julho de 2018

Mariano José de Freitas
CPF:053736623-72
Engo. Civil e de Segurança
RNP:0601395220 - CREA 5533-D

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14037:2011: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações – Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos.** Rio de Janeiro. 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9062/2017: Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-moldado.** Rio de Janeiro. 2017.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575:2013: Edificações habitacionais – Desempenho.** Rio de Janeiro. 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5674:1999: Norma de Manutenção.** Rio de Janeiro. 1999.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14037:2011: Norma do Manual de Uso, Operação e Manutenção.** Rio de Janeiro. 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118:2014: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento.** Rio de Janeiro. 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7584/1995: Concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão.** Rio de Janeiro. 1995.

AZEVEDO, Minos Trocoli. *et al.* **Concreto: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: Ibracon, 2011. 1902p, v.2

BRASIL. Lei nº 10406/2002, de 10 de janeiro de 2002. **Institui o Novo Código Civil.** Brasília/DF, 2002.

BRASIL. Lei nº 8078/1990, de 11 de setembro de 1990. **Dispõe sobre proteção ao consumidor.** Brasília/DF, 1990.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON (CEB). *Durable concrete structures: design guide.* 2 ed. London: Editora Thomas Telford, 1989. 112 p

CUPERTINO, D.; BRANDSTETTER, M. C. G. de O. **Proposição de ferramenta de gestão pós-obra a partir dos registros de solicitação de assistência técnica.** Ambiente Construído, Porto Alegre, 2015.

DO CARMO, Paulo Obregon. **Patologia das construções**. Santa Maria, Programa de atualização profissional – CREA – RS, 2003.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002.

HELENE, Paulo R. L. **Manual de reabilitação de Estruturas de Concreto**: Reparo, Reforço e Proteção. São Paulo: Red Rehabilitar, editores, 2003.

IBAPE Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia disponível em <<https://ibape-nacional.com.br/site/institucional-2/>> Acesso em 22 de agosto de 2018 as 18:35.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia do trabalho científico**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1992.

LAPA, José Silva. **Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto**. Defesa – especialização em engenharia civil, dissertação. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG. 2008

LICHTENSTEIN, Norberto B. **Procedimento para formulação dos diagnósticos de falhas e definição de conduta adequada à recuperação de edificações**. São Paulo, 1985. 191p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LORENZI, A.; REGINATO, L.; LORENZI, L.S.; FILHO, L. C. P. S. **Emprego de ensaios não destrutivos para inspeção de estruturas de concreto**. Revista de Engenharia Civil IMED, 3(1): 3-13, jan./jun. 2016 - ISSN 2358-6508.

OLIVARI, Giorgio. **Patologia em Edificações**. defesa – trabalho de conclusão de curso, graduação em engenharia civil, dissertação. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi. 2003. 95p.

OLIVEIRA, Alexandre Magno. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. Defesa de especialização em engenharia civil, monografia, dissertação. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. 2012. 96p.

PAULETTI, C.; POSSAN, Edna ; DAL MOLIN, D. C. C. **Carbonatação acelerada: estado da arte das pesquisas no Brasil**. Ambiente Construído (Online), v. 7, p. 7-20, 2007. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/31661/000638380.pdf?sequence=1>>. Acesso em 11 de setembro de 2018.

PICCHI, Flávio Augusto; LANDI, Francisco Romeu. **Impermeabilização de coberturas de concreto: materiais, sistemas, normalização**. 1984.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas de pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo/RS: Feevale, 2013.

SOUZA. Vicente Custódio e RIPPER. Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: PINI, 1998. 262p.

SOUZA, R.; ABIKO, A. **Metodologia Para Desenvolvimento e Implantação de Sistemas de Gestão da Qualidade em Empresas Construtoras de Pequeno e Médio Porte**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1997.

VIEIRA, Matheus Assis. **Patologias Construtivas: Conceito, Origens e Método de Tratamento**. Revista online IPOG ESPECIALIZE, DEZ.2016.