

FACULDADE DE ENGENHARIA DE MINAS GERAIS
Programa de Pesquisa, Produção e Divulgação Científica

ANA PAULA DE SOUZA LIMA
CAROLINE FREITAS DOS SANTOS
FABIENE VILAS BOAS DA MATA

PATOLOGIAS DETECTADAS EM PILARES DE CONCRETO

ARMADO: estudo de caso em uma estrutura localizada em
Vespasiano/MG

BELO HORIZONTE – MG

JUNHO/2021

ANA PAULA DE SOUZA LIMA
CAROLINE FREITAS DOS SANTOS
FABIENE VILAS BOAS DA MATA

PATOLOGIAS DETECTADAS EM PILARES DE CONCRETO

ARMADO: estudo de caso em uma estrutura localizada em
Vespasiano/MG

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Minas Gerais (FEAMIG) como requisito para obtenção de título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas

Orientadora: Profa. Ms. Tálita Rodrigues de Oliveira Martins

BELO HORIZONTE – MG

JUNHO/2021

FOLHA DE APROVAÇÃO

CARTA DE ACEITE

Certificamos para os devidos fins que o artigo ***PATOLOGIAS DETECTADAS EM PILARES DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM UMA ESTRUTURA LOCALIZADA EM VESPASIANO/MG*** foi aceito para publicação no **4º CADERNO DE COMUNICAÇÕES UNIVERSITÁRIAS** do Simpósio de Engenharia, Arquitetura e Gestão – SEAG, promovido pelo Centro de Extensão da FEAMIG, nos dias 14, 15 e 16/05/2021 – **ISSN 2675-1879**.

Belo Horizonte, 09 de junho de 2021.

Professora Raquel Ferreira de Souza
Coordenadora do CENEX e do PPDC da FEAMIG
E-mail: raquel.ferreira@feamig.br

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer aos colegas da turma de Engenharia Civil iniciada em agosto do ano de 2016, pelo apoio e parceria para que nesses cinco anos de Graduação fosse possível desenvolvermos um trabalho acadêmico de extrema importância para nossas vidas pessoais e profissionais e, por fim, obtendo êxito no resultado final com a conclusão da Graduação em Engenharia Civil.

Em especial, gostaríamos de agradecer as professoras Sheila Leal e Tálita Rodrigues que desde o início do desenvolvimento do nosso trabalho não mediram esforços para nos auxiliar, inclusive aos finais de semana, desde o início com a escolha do tema. Sem elas não teríamos concluído nossa pesquisa com êxito e, com certeza, foi de suma importância para nosso crescimento e para o desenvolvimento do presente trabalho.

Agradecemos, também, aos nossos amigos e familiares que muitas das vezes tiveram que ser pacientes conosco, pois tivemos que nos ausentar dos encontros para nos dedicar em tempo integral ao nosso Trabalho de Conclusão de Curso.

RESUMO

O presente trabalho trata-se de um estudo de caso de identificação e verificação de patologias em pilares de concreto armado. O projeto em análise refere-se a uma estrutura localizada na cidade de Vespasiano em Minas Gerais, na qual é possível identificar visivelmente enfermidades no elemento estrutural. O objetivo da pesquisa é apresentar as possíveis causas das patologias e as suas formas de tratamento, com base em uma pesquisa bibliográfica de fim explicativo, além de coleta de dados por meio de visita no local, quando foram anotadas observações sobre o caso. Por meio de observação, foram identificadas fissuras, rachaduras, deslocamento, corrosão do aço e bicheiras nos pilares estudados. Ao fim, é apresentada uma proposta, em forma de passo a passo, para que estas patologias encontradas sejam eliminadas ou, ao menos, minimizadas.

Palavras-Chaves: Pilares de concreto armado. Patologias em estruturas. Recuperação de patologias.

ABSTRACT

The present work is a study case with an identification and verification of pathologies in reinforced concrete pillars. The project under analysis refers to a structure located in the city of Vespasiano, in Minas Gerais, in which it is possible to visibly identify diseases in the structural element. The objective of the research is to present the possible causes of the pathologies and their forms of treatment, based on bibliographic research for explanatory purposes, in addition to data collection through site visits, when observations about the case were noted. Through observation, cracks, corrosion of the frame, and bumps were identified in the studied pillars. At the end, a proposal is presented, in a step-by-step manner, so that the pathologies found are eliminated or, at least, minimized.

Keywords: Reinforced concrete pillars. Structural pathologies. Recovery of pathologies.

LISTA DE ABREVIATURAS, UNIDADES E SIGLAS

A	Alongamento após ruptura
a.C.	Antes de Cristo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
A_{gt}	Alongamento total na força máxima
d.C.	Depois de Cristo
e	Espaçamento
E_{cs}	Módulo de elasticidade estático secante do concreto
f_{ck}	Resistência à compressão
f_{ct}	Resistência à tração
ISO	International Organization for Standardization
kgf	Quilograma força
mm	Milímetros
mm ²	Milímetros quadrados
MPa	Megapascal
NBR / NB	Norma Brasileira
Ø	Diâmetro do pino
pH	Potencial Hidrogeniônico
psi	Libra-força
β	Ângulo entre o eixo da nervura e o eixo da barra
η	Coefficiente de conformação superficial mínimo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução do concreto.....	21
Figura 2 – Aquedutos em Roma.....	21
Figura 3 – Eddystone Lighthouse, Reino Unido.	22
Figura 4 – Cronologia da principal norma de concreto no Brasil.....	24
Figura 5 – Fatores que influenciam a resistência à compressão.....	26
Figura 6 – Fatores que influenciam a resistência à tração.	26
Figura 7 – Fatores que influenciam o módulo de elasticidade.	27
Figura 8 – Representação gráfica de uma barra CA-50.....	29
Figura 9 – Representação de uma estrutura de edifício composto por pórtico espacial.	30
Figura 10 – Recuperação de viga de concreto armado em Cajati, São Paulo.	35
Figura 11 – Processos físicos de deterioração das estruturas de concreto.	36
Figura 12 – Fluxograma do passo-a-passo das vistorias técnicas das estruturas. ...	39
Figura 13 – Sequência da preparação e limpeza superficial de uma estrutura.	41
Figura 14 – Identificação e delimitação das áreas a serem reparadas.	42
Figura 15 – Realização da limpeza das superfícies da estrutura.	43
Figura 16 – Remoção do concreto com ferramentas manuais.....	43
Figura 17 – Remoção do concreto com ferramentas pneumáticas/elétricas.....	43
Figura 18 – Limpeza das armaduras.....	44
Figura 19 – Preparação do substrato.....	44
Figura 20 – Aplicação da argamassa.....	45
Figura 21 – Acabamento com desempenadeira.....	45
Figura 22 – Identificação do Pilar 1.....	53
Figura 23 – Identificação dos pilares 2 e 3.....	53
Figura 24 – Corrosão no Pilar 1.....	54
Figura 25 – Corrosão do Pilar 1.....	54
Figura 26 – Fissuras no Pilar 1.....	55
Figura 27 – Corrosão no Pilar 2.....	55
Figura 28 – Corrosão no Pilar 2.....	55
Figura 29 – Fissuras e rachadura no Pilar 2.....	56
Figura 30 – Bicheira no Pilar 2.....	56

Figura 31 – Desplacamento do concreto no Pilar 3.....	57
Figura 32 – Delimitação das áreas.....	58
Figura 33 – Limpeza das áreas.....	58
Figura 34 – Extração com maquinários.....	59
Figura 35 – Extração com ferramentas manuais.....	59
Figura 36 – Demonstração de distância do aço para o concreto.	59
Figura 37 – Limpeza da armadura.	59
Figura 38 – Preparação do substrato.....	59
Figura 39 – Aplicação da argamassa.....	60

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Incidência das origens de patologias no Brasil.....	33
-----------------------------------------------------------------	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propriedades mecânicas exigíveis de barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado.	28
Quadro 2 – Análise percentual das causas dos problemas patológicos em estruturas de concreto.....	34
Quadro 3 – Resumo das patologias encontradas nos pilares na construção em Vespasiano, MG.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de resistência de concretos estruturais.	25
------------------------------------------------------------------	----

SUMÁRIO

1	Introdução	16
1.1	Considerações iniciais.....	16
1.2	Contexto de pesquisa.....	17
1.3	Problema de pesquisa.....	17
1.4	Objetivos	17
1.4.1	Objetivo geral.....	17
1.4.2	Objetivos específicos	18
1.5	Justificativa.....	18
2	Referencial Teórico	20
2.1	Concreto como material de construção.....	20
2.1.1	Breve histórico do Concreto.....	20
2.1.2	Concreto no Brasil	23
2.1.3	Propriedades do Concreto Armado.....	25
2.2	Elemento estrutural – Pilar	29
2.2.1	Importância da análise das estruturas	30
2.3	Patologias	31
2.3.1	Causas das patologias.....	32
2.3.2	Tratamento de patologias	37
2.4	Recuperação da estrutura de concreto armado	42
3	Metodologia.....	46
3.1	Pesquisa quanto aos fins	46
3.2	Pesquisa quanto aos meios	47
3.3	Local em estudo	48
3.4	Universo e amostra	49
3.5	Formas de coleta e análise de dados	49

3.6 Limitações da pesquisa.....	51
4 Resultados e Análises.....	53
4.1 Apresentação e identificação da estrutura em Vespasiano – Minas Gerais.....	53
4.2 Identificação das patologias na estrutura em Vespasiano, Minas Gerais	54
4.3 Proposta de um processo executivo para que as patologias sejam eliminadas ou minimizadas nos pilares	58
5 Considerações finais.....	61
Referências	62
Apêndice A – Checklist Superestrutura – Pilar de concreto armado.....	69
Apêndice B – Artigo publicado pelo 4º Caderno de Comunicações Universitárias do Simpósio de Engenharia, Arquitetura e Gestão – SEAG	70

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Na construção civil, o concreto armado é o material construtivo mais utilizado em todo o mundo, principalmente devido ao ótimo desempenho e facilidade de execução. No Brasil, não é possível obter muitas informações sobre o início do uso do material nas construções. Porém, de acordo com Marcolin (2006), o registro mais antigo de um artigo sobre o assunto no país é de 1904, quando se utilizou concreto armado pela primeira vez em construções habitacionais, fato que aconteceu no bairro de Copacabana, na cidade do Rio de Janeiro.

Já atualmente, no século XXI, são empregadas inúmeras tecnologias em estruturas de concreto armado e, mesmo com a evolução sofrida pelos materiais que são utilizados na construção civil, não foi suficiente para que sejam evitadas as patologias nas estruturas de concreto armado. Estas patologias podem ocorrer desde a fase inicial do projeto estrutural, na sua etapa de execução, ou durante sua vida útil, em decorrência de várias razões. Uma delas, pode ser pelo não seguimento das normas vigentes sobre o material, como, por exemplo, a ABNT NBR 6118 (Projeto e execução de obras de concreto armado), ou das normas de desempenho, como a NBR 15575 (Desempenho de edificações habitacionais). Caso as patologias não sejam tratadas da forma correta, podem levar ao seu colapso, comprometendo a durabilidade da estrutura de concreto armado, e colocando em risco para aqueles que as utilizam.

Dentre as inúmeras utilizações do concreto armado, tem-se os pilares, que são peças estruturais que tem a finalidade de suportar os subsistemas horizontais (vigas e/ou lajes), coletando as cargas verticais e transmitindo-as às fundações mantendo assim todo o equilíbrio do sistema estrutural. Verificando as estruturas feitas com o material, foram analisadas neste trabalho as possíveis causas das patologias que ocorrem nelas, assim como a forma de tratamento e recuperação destas estruturas.

1.2 Contexto de pesquisa

A construção civil desde o início da civilização foi fundamental, pois, com a evolução da humanidade, passaram-se a construir edificações em concreto armado. Desta forma, houve um aprimoramento das técnicas construtivas e tecnologias utilizadas nos processos.

As técnicas construtivas têm avançado ao longo dos anos, entretanto, ainda é possível constatar patologias em algumas estruturas de concreto armado. Dependendo de seu grau, estas enfermidades podem comprometer a vida útil destas estruturas.

As patologias em concreto armado são um problema recorrente causado por diversos motivos, como na concepção do projeto estrutural, falta de conhecimento no processo executivo ou até mesmo pela baixa de qualidade dos insumos primários. Portanto, faz-se necessário o estudo de caso em que se detecta as possíveis falhas e o melhor tratamento para a recuperação da estrutura.

1.3 Problema de pesquisa

Como identificar as manifestações patológicas e recuperar as estruturas de concreto armado de uma construção na cidade de Vespasiano, Minas Gerais?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Identificar e analisar as principais patologias encontradas nos elementos lineares, como os pilares, em uma estrutura localizada na cidade de Vespasiano, Minas Gerais, bem como estudar e apresentar as possíveis formas de sua recuperação estrutural.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Apresentar e identificar a construção em Vespasiano, Minas Gerais;
- b) Identificar as patologias encontradas na estrutura em Vespasiano, Minas Gerais;
- c) Propor um processo executivo para que as patologias sejam eliminadas ou minimizadas nas estruturas de concreto armado.

1.5 Justificativa

O tema foi proposto levando em consideração as ocorrências de patologias em estruturas de concreto armado, pois há inúmeros fatores que podem ocasioná-las, podendo ser detectados desde o processo do projeto estrutural, durante o processo executivo ou após, durante a sua vida útil. As patologias podem se apresentar de uma forma imediata ou podem aparecer ao longo dos anos, acarretando consequências como colapso da estrutura, perdas de materiais e mão de obra, gerando retrabalho e insegurança da estrutura.

Este trabalho traz benefícios à sociedade devido ao seguimento dos padrões de segurança preconizados na ABNT NBR 6118 de 2014 e na NBR 15575 de 2013, que buscam garantir a qualidade dos serviços prestados. Além disso, a população tem, a partir deste estudo, o conhecimento de como as estruturas de concreto armado se comportam, assim como técnicas para a recuperação estrutural, o que é essencial já que a maioria das estruturas apresentam patologias durante sua vida útil.

O trabalho apresenta marcas positivas para a Engenharia Civil, pois são utilizados como método de consulta os profissionais da área, o que possibilita o entendimento do processo executivo, as possíveis falhas que podem ocorrer dentre as diversas fases do projeto, até a entrega do produto final, onde identifica-se e apresenta as patologias, suas causas e os possíveis tratamentos.

A empresa e os profissionais que executarão a recuperação estrutural do local, com esta pesquisa, têm uma base de como ser feito este serviço já que é apresentado passo a passo o tratamento. Já o proprietário da edificação tem, por meio deste

trabalho, um estudo que busca o aumento da vida útil do empreendimento, com o intuito aumentar sua segurança e diminuir a realização de manutenções corretivas.

Por fim, para o meio acadêmico, este estudo de caso difunde o assunto de patologias em construções de concreto armado, podendo ser utilizado como mais uma fonte e modelo de pesquisa para novos trabalhos e artigos que se referem ao tema.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto como material de construção

Complementando a humanidade desde os seus primórdios, tem-se a Construção Civil. Assim como cita Ribeiro *et al.* (2002, p.9), “a necessidade de abrigo fora das cavernas naturais alçou o homem para a busca de materiais apropriados a lhes fornecer segurança e qualidade”. E dentre os inúmeros materiais utilizados em construções, os principais são o aço, o asfalto, a madeira e o concreto.

De acordo com a Norma Brasileira (NBR) 12655 de 2015 (p.3) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, o concreto é um

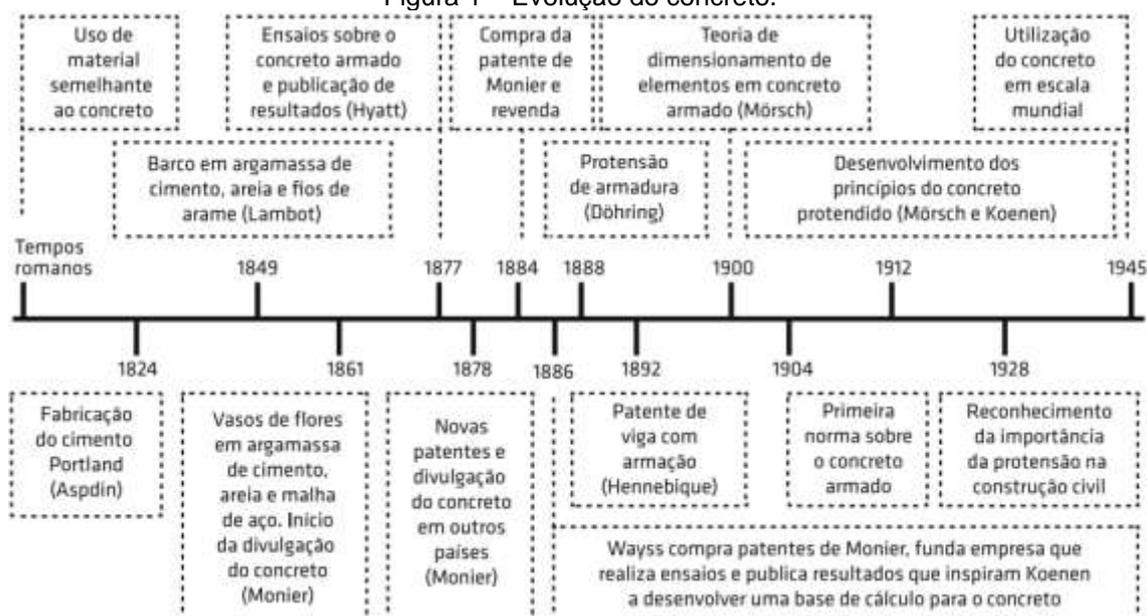
“material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozzolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água)” (ABNT, 2015, p.3).

Por sua vez, o concreto armado é quando o aço é empregado em conjunto com o concreto, unindo as qualidades da mistura – durabilidade, resistência à compressão, ao fogo e à água – com as da liga metálica – ductilidade e resistência à tração e à compressão (BASTOS, 2019). A partir dessas definições, serão apresentados nos tópicos a seguir um breve histórico do concreto, assim como as suas propriedades na forma armada.

2.1.1 Breve histórico do Concreto

A evolução do concreto acompanha a evolução da civilização, assim como a busca por construções cada vez mais funcionais. Afirma-se, assim, que a associação do concreto como um material “do século passado” é errônea, pois é perceptível que ele teve uma aplicação maior ao longo dos dois últimos séculos, assim como houve uma evolução do material, que é apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Evolução do concreto.



Fonte: PORTO; FERNANDES (2014)

A Figura 1 apresenta uma linha do tempo com as datas mais relevantes relacionadas à história do concreto. Destaca-se na cronologia o início da utilização de um material semelhante ao concreto durante os Tempos romanos – datados em torno de 27 antes de Cristo (a.C.) e 476 depois de Cristo (d.C.) (exemplificado na Figura 2); a fabricação do cimento Portland, principal aglomerante utilizado no concreto, em 1824; os ensaios sobre o concreto armado em 1877, e o ano da primeira norma sobre o concreto armado, que foi publicada em 1904.

Figura 2 – Aquedutos em Roma.



Fonte: CASAMAX (2018)

A Figura 2 mostra o Coliseu, maior símbolo do Império Romano, exemplificando as primeiras evidências do uso do concreto no mundo. De acordo com o site Rome Museum (2021), o anfiteatro foi construído com tijolos revestidos de argamassa e areia e originalmente cobertos com travertino, uma rocha calcária.

De acordo com Queiroz (2019), o primeiro fato registrado do uso do concreto foi em 1756 quando John Smeaton misturou agregado graúdo com cimento, formando o concreto. Com o material, ele construiu o Eddystone Lighthouse, mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Eddystone Lighthouse, Reino Unido.



Fonte: CORNWALL GUIDE (2021)

O farol, localizado na cidade Cornwall, na Inglaterra, foi o quarto a ser construído no local, de acordo com o guia da cidade (2021). O cimento utilizado na mistura do concreto foi do tipo hidráulico, o qual foi desenvolvido especificamente para a construção sendo patenteado na mesma época (QUEIROZ, 2019; CORNWALL GUIDE, 2021).

Seguindo os acontecimentos, em 1824 o inventor inglês Joseph Aspdin desenvolveu o cimento Portland. A criação se deu quando o construtor queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, que se transformou em um pó fino (BATTAGIN, 2019). Ainda de acordo com o autor, Aspdin

“percebeu que obtinha uma mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto as pedras empregadas nas construções. A mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor no mesmo ano, com o nome de cimento Portland, que recebeu esse nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland” (BATTAGIN, 2019, p.1).

Na década seguinte, de 1830, o uso do termo “concreto” foi estabelecido para a mistura de cimento, areia, água e pedras, sendo majoritariamente utilizada em fundações (KAEFER, 1998). Já em 1836, de acordo com o autor, foi realizado na Alemanha o primeiro teste sistemático de concreto, na qual continha como aglomerante o cimento Portland. Entretanto, foi na Inglaterra, no mesmo ano, que o uso do material foi descrito em um artigo. A publicação foi escrita por George Godwin, e feita para o Institute British Architects (Instituto Britânico de Arquitetos) (KAEFER, 1998).

Ainda referenciando o autor, na década de 50, o francês Joseph Louis Lambot, publicou pela primeira vez sobre o Cimento Armado (chamado de Concreto Armado a partir de meados de 1920). Os experimentos criados por ele não obtiveram sucesso, mas inspirou Joseph Monier, que difundiu o Concreto Armado no final da década seguinte, patenteando-a (KAEFER, 1998).

Apesar do número de estudos feitos no século XIX, apenas no início do século XX que o concreto foi normatizado (KAEFER, 1998). Ainda assim, de acordo com o autor, o material só começou a ser amplamente utilizado na década de 1920 com a introdução do concreto pré-misturado, que é aquele preparado em usina.

2.1.2 Concreto no Brasil

No Brasil, o concreto é um dos materiais mais utilizados nas construções, sejam elas formais ou informais (SANTOS, 2006). De acordo com o autor, o material, principalmente em sua forma armada, é predominante, fazendo com que o país seja considerado o seu principal utilizador.

Entretanto, não se sabe ao certo, quando a mistura começou a ser utilizada no país. A notícia mais antiga encontrada sobre o emprego do concreto armado no Brasil, por exemplo, é de 1904 (MARCOLIN, 2006). De acordo com o autor, a publicação, feita pelo professor Antônio de Paula Freitas, da Escola Politécnica do Rio de Janeiro, é intitulada “Construções em cimento armado” e cita que o material estrutural foi utilizado pela primeira vez em construções habitacionais de Copacabana, sob responsabilidade do engenheiro Carlos Pom.

Relativo à normatização do Concreto no país, a Figura 4 mostra a cronologia de normas criadas.



Fonte: PORTO; FERNANDES (2015)

Como mostrado na Figura 4, a primeira norma foi publicada em 1940 pela ABNT com o nome de “Cálculo e execução de obras de concreto armado” e numeração NB-1. Em 1978, com a mudança de NB para NBR, a norma passou a ter um novo código, assim como um novo nome – NBR 6118: “Projeto e execução de obras de concreto armado”. Atualmente, a norma está em sua terceira edição, publicada em 2014 com o nome “Projeto de estruturas de concreto – Procedimento”.

Além da NBR 6118, existem outras quase 40 normas relacionadas a concreto. Dentre as não canceladas, destacam-se:

- a) NBR 14931 de 2004: Execução de estruturas de concreto – Procedimento;
- b) NBR 7480 de 2007: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação;
- c) NBR 7212 de 2012: Execução de concreto dosado em central — Procedimento;
- d) NBR 8953 de 2015: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência;
- e) NBR 12655 de 2015: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento;
- f) NBR 9062 de 2017: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado.

É válido acrescentar que a NBR 6118 de 2014 é atestada pela International Organization for Standardization (ISO), sendo uma das referências mundiais para projetos de estruturas de concreto, podendo ser utilizada como base em qualquer país no mundo.

2.1.3 Propriedades do Concreto Armado

Para o concreto ser utilizado em uma estrutura armada, necessita ter resistência mecânica, aderência suficiente com as barras das armaduras e densidade que garanta a impermeabilidade da estrutura e a proteção das armaduras em relação a corrosão (GIONGO, 2007). A NBR 8953 (2015) classifica os concretos em dois grupos de resistência para fins estruturais, como demonstra a Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de resistência de concretos estruturais.

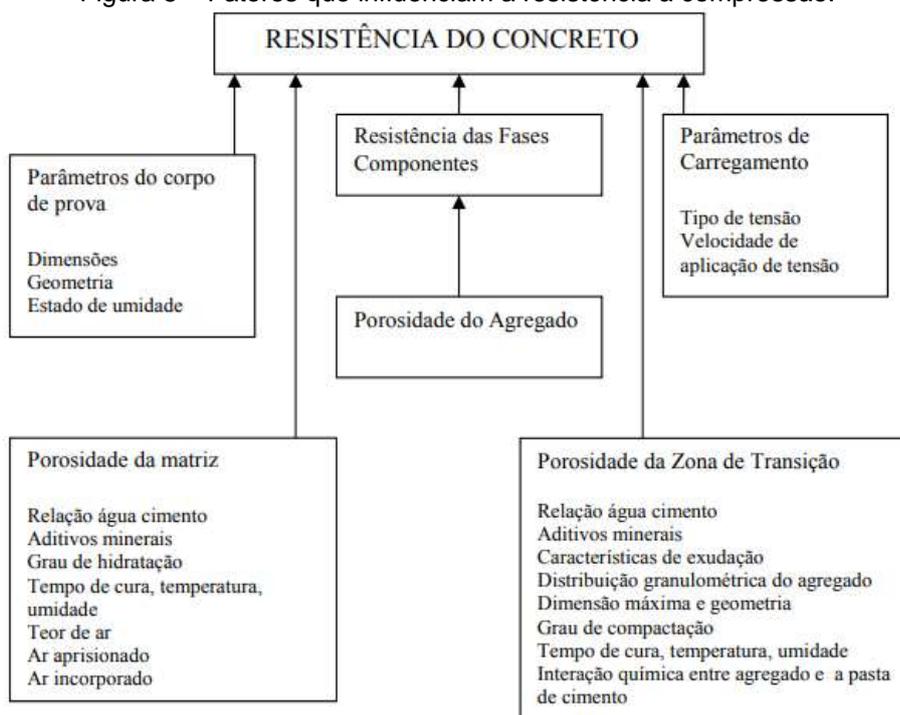
Classe de resistência do Grupo I	Resistência característica à compressão (MPa)	Classe de resistência do Grupo II	Resistência característica à compressão (MPa)
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50	-	-

Fonte: ABNT (2015), adaptado

Como mostrado na Tabela 1, as classes de resistência se dividem em I (para concretos de 20 a 50 Megapascal (MPa)) e II (para concretos a partir de 50 até 100 MPa). A norma ainda salienta que os concretos com resistência inferior a 20 MPa não são estruturais, devendo ter seu desempenho atendido conforme NBR 6118 e 12655 caso sejam utilizados.

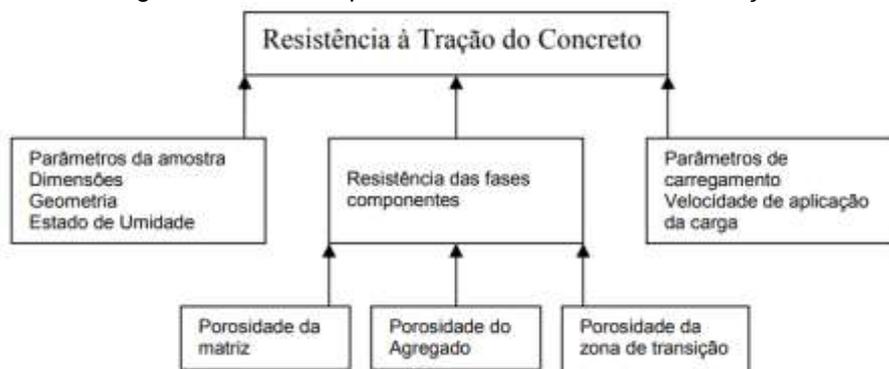
Dentre as propriedades do concreto, tem-se a resistência à compressão (f_{ck}), à tração (f_{ct}) e o módulo de elasticidade estático secante do concreto (E_{cs}) (QUADROS, 2014). Nas três Figuras a seguir (5, 6 e 7) serão apresentados os principais fatores que influenciam nessas características.

Figura 5 – Fatores que influenciam a resistência à compressão.

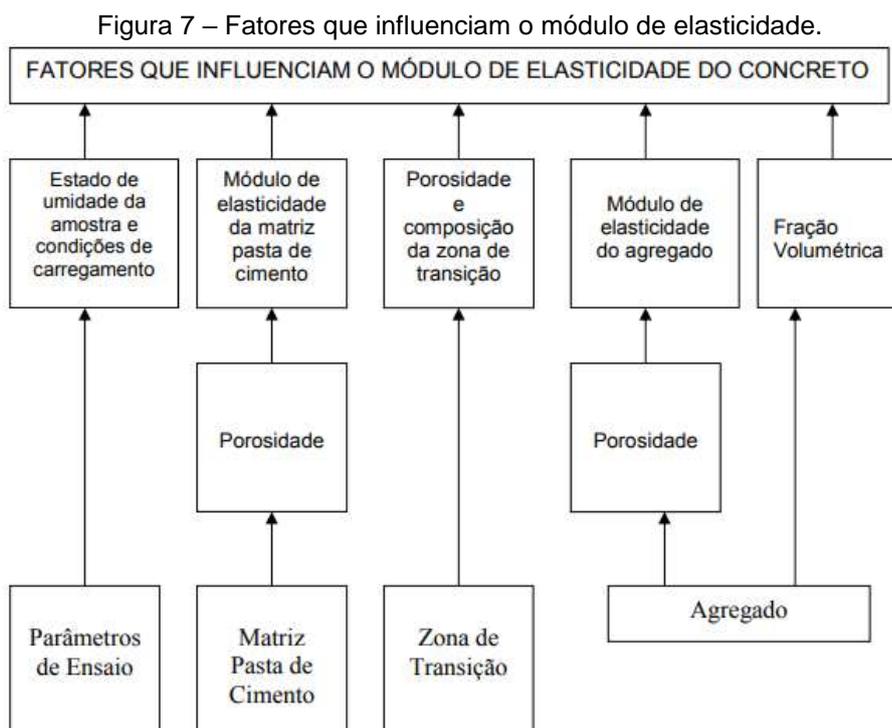


Fonte: QUADROS (2014) *apud* METHA; MONTEIRO (1994)

Figura 6 – Fatores que influenciam a resistência à tração.



Fonte: QUADROS (2014) *apud* METHA; MONTEIRO (1994)



Fonte: QUADROS (2014) *apud* METHA; MONTEIRO (1994)

Como é possível observar nas Figuras 5, 6 e 7, os principais fatores que influenciam nas propriedades do concreto são a relação água/cimento, tipo, finura e consumo do cimento, origem mineralógica do agregado graúdo utilizado, e a adição de aditivos químicos. Quadros (2014, p.5) complementa dizendo que “na prática da engenharia o módulo de elasticidade e a resistência à tração não são fatores que preponderam decisões”, sendo assim, a resistência à compressão a principal propriedade do material.

Por sua vez, o aço deve ter propriedades que garantam a aderência com o concreto (PARIZOTTO, 2015). A norma NBR 7480 (2007) apresenta as propriedades mecânicas exigíveis de barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Propriedades mecânicas exigíveis de barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado.

Categoria	Valores mínimos de tração				Ensaio de dobramento a 180°		Aderência	
	Resistência característica de escoamento ^a	Limite de resistência ^e	Alongamento após ruptura em 10 Ø ^c	Alongamento total na força máxima ^d	Diâmetro do pino		Coeficiente de conformação superficial mínimo	
					Ø (mm)		η	
	f _{yk} (MPa ^e)	f _{st} (MPa ^e)	A (%)	A _{gt} (%)	Ø < 20	Ø ≥ 20	Ø < 10 mm	Ø ≥ 10 mm
CA-25	250	1,20 f _y	18	-	2 Ø	4 Ø	1,0	1,0
CA-50	500	1,08 f _y	8	5	3 Ø	6 Ø	1,0	1,5
CA-60	600	1,05 f _y ^f	5	-	5 Ø	-	1,0	1,5

^a: valor característico do limite superior de escoamento (f_{yk}) da ABNT 6118 obtido a partir do LE ou δ_e da ABNT NBR ISO 6892;

^b: O mesmo que resistência convencional à ruptura ou resistência convencional à tração (LR ou δ_t da ANBT NBR ISO 6892);

^c: Ø é o diâmetro nominal – valor que representa o diâmetro equivalente da seção transversal típica do fio ou da barra, expresso em milímetros (mm);

^d: O alongamento deve ser atendido através do critério de alongamento após ruptura (A) ou alongamento total na força máxima (A_{gt});

^e: Para efeitos práticos de aplicação da norma NBR 7480, pode-se admitir 1 MPa = 0,1 kgf/mm² (quilogramas por milímetros quadrados);

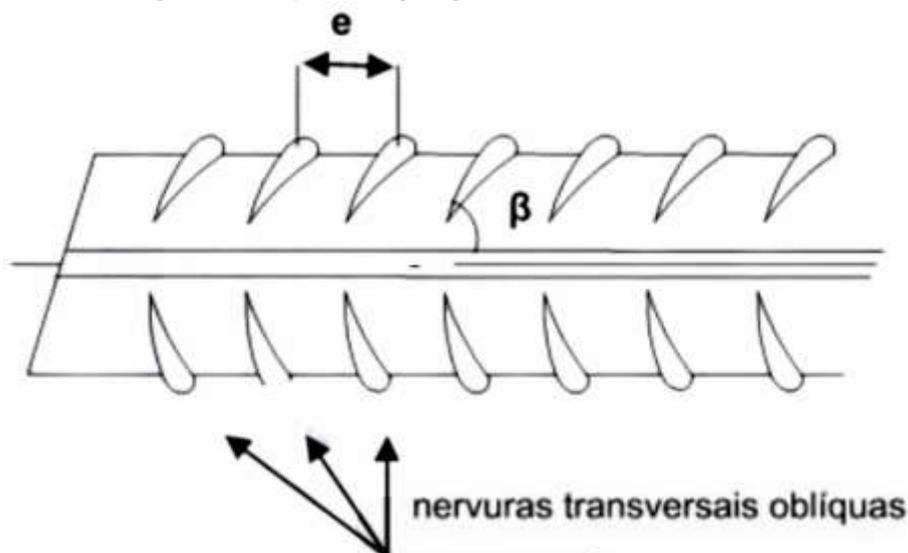
^f: f_{st} mínimo de 660 MPa.

Fonte: ABNT (2007), adaptado

Como é apresentado no Quadro 1, a ABNT 7480 de 2007 divide o aço em três categorias:

- CA-25: formada por barras de superfície lisa, com resistência característica de escoamento igual 250 MPa;
- CA-50: formada por barras com nervuras transversais e oblíquas (Figura 8), com resistência característica de escoamento igual 500 MPa.
- CA-60: formada por fios que podem ser lisos, nervurados ou entalhados, com resistência característica de escoamento igual 600 MPa.

Figura 8 – Representação gráfica de uma barra CA-50.



Fonte: ABNT (2007)

A Figura 8 representa graficamente uma barra CA-50, que contém nervuras transversais e oblíquas, distanciadas por um espaçamento (e) e com ângulos entre o eixo da nervura e o eixo da barra (β).

2.2 Elemento estrutural – Pilar

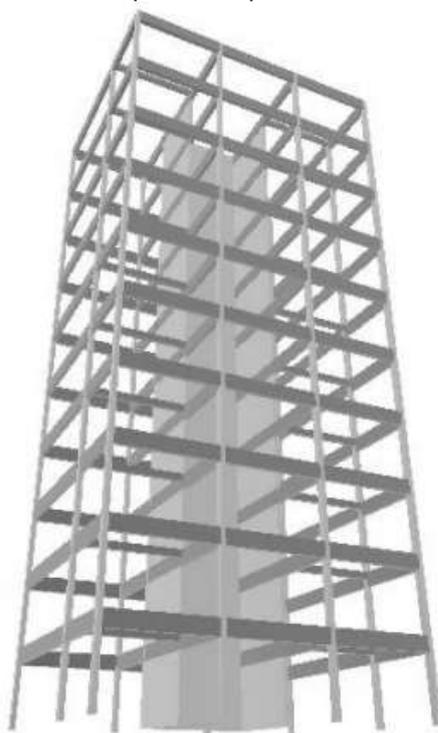
Os elementos estruturais são partes dos sistemas estruturais responsáveis por receber e transmitir as solicitações nas estruturas (SOUZA; RODRIGUES, 2008). De acordo com os autores, os elementos podem ser:

- a) Barras: constituem vigas, pilares, arcos, pórticos, cabos, treliças, entre outros;
- b) Folhas: constituem placas, membranas, cascas, entre outros;
- c) Blocos: formam os blocos de fundações, por exemplo.

Como principal objeto de estudo deste trabalho, será destacado os pilares, que, de acordo com a ABNT 6118 (2014, p.84), são “elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes”. Souza e Rodrigues (2008) complementam a definição da norma dizendo que quando a estrutura possui seção circular, elas podem ser chamadas de colunas.

Os pilares possuem grande importância na construção civil, pois são utilizadas em praticamente todos os tipos de construção, enfatizam os autores. A estrutura está associada ao sistema laje-viga-pilar, comumente chamado de pórtico, representado na Figura 9.

Figura 9 – Representação de uma estrutura de edifício composto por pórtico espacial.



Fonte: BARBOZA (2008)

O pórtico, mostrado na Figura 9, tem a função de transmitir os esforços e cargas atuantes para o elemento de fundação (BARROS *et al.*, 2012). O sistema contribui também com a estabilidade e a resistência a esforços normais, cortantes e de flexão, elucida o autor.

2.2.1 Importância da análise das estruturas

Os pilares têm uma importância fundamental na estrutura, pois recebem cargas verticais da laje e viga. Logo, deve ser projetado a fim de atender as melhores condições de desempenho e vida útil da edificação.

Em um projeto estrutural é especificado com detalhes as dimensões que o elemento estrutural deve ter, a armadura utilizada para resistir aos esforços solicitados, a cobertura da armadura de acordo com o ambiente, resistência do concreto, entre outras especificações (PAGNUSSATTI; SILVA, 2011). Para Souza e Ripper (1998), os projetos com pouco detalhamento e ou deficiente de informações na elaboração, fazem com que a vida útil da estrutura seja reduzida ou que tenha manutenções antecipadas.

Graziano (2005), por sua vez, diz que a segurança da estrutura está ligada ao seu desempenho em suportar as solicitações sem sofrer grandes deformações. De acordo com o autor, para conseguir a segurança estrutural, deve se atentar aos detalhes que o projeto demonstra. Por fim, Pinheiro (2004) completa enfatizando que o concreto possui baixa resistência a tração quando sozinho, além de ser considerado como matéria frágil, por tanto é conveniente associá-lo ao aço, obtendo o concreto armado, elevando a resistência a compressão e aumentando a vida útil.

Para atender esta segurança, deve ser feito uma análise estrutural no projeto da edificação. Com isso, a NBR 6118 (2014) elucida que isto deve ser feito a partir de um modelo estrutural relativo ao seu objetivo, devendo, assim, apresentar a geometria dos elementos estruturais, os carregamentos atuantes, as condições de contorno, as características e as respostas dos materiais. A partir dos resultados, é possível avaliar a reologia do concreto e sua interação com a armadura, ou seja, simular as não linearidades do concreto com a armadura.

Entretanto, mesmo com todos os cuidados na elaboração do projeto, dimensionamento da armação e do pilar, podem ocorrer erros durante a execução do projeto. Com isso, a estrutura começa a apresentar sinais de patologias – assunto que será abordado no tópico 2.3.

2.3 Patologias

Souza e Ripper (1998, p.13) definem a patologia das estruturas o “campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas”. Valente *et al.* (2008) enfatiza que muitas das

patologias surgem devido a alguns fatores, sendo a principal delas a deficiência da etapa do planejamento.

Alves (2009 *apud* DEGUSSA, 2008) cita que as patologias são partes da engenharia que estuda os sintomas, as causas e as origens dos defeitos/problemas apresentadas nas construções civis. Assim, o estudo das patologias tem como objetivo a correção e a solução desses problemas patológicos, inclusive aqueles devidos ao envelhecimento natural das estruturas de concreto armado.

Já Nazário e Zancan (2011) traz o conceito de patologia dos dicionários, que diz:

“patologia [...] é a parte da medicina que estuda as doenças. A palavra patologia tem origem grega de “phatos” que significa sofrimento, doença, e de “logia” que é ciência, estudo. Então, conforme os dicionários existentes pode-se definir a palavra patologia como a ciência que estuda a origem, os sintomas e a natureza das doenças” (NAZÁRIO; ZANCAN, 2011, p.1).

Portanto, conclui-se que existem diversos conceitos para a definição de patologias. Mas, pode-se afirmar que elas são anomalias ou problemas que tem potencial para acarretar danos irreparáveis nas estruturas de concreto armado.

2.3.1 Causas das patologias

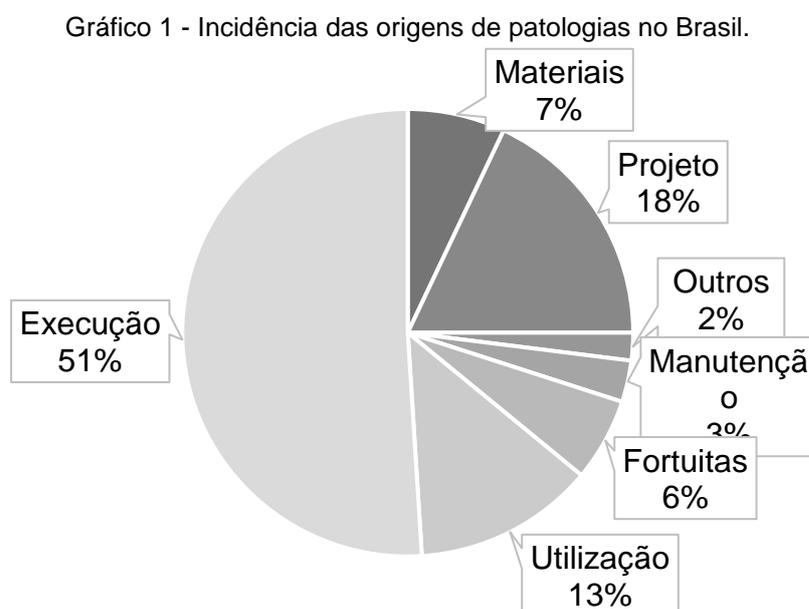
As anomalias advindas nas estruturas de concreto armado que ocasionam as patologias são o foco de estudo no presente trabalho. Estas doenças podem surgir nas estruturas desde a fase inicial do projeto, quanto na fase de execução, assim como anos depois da finalização da edificação.

A norma de desempenho ABNT NBR 15575 de 2013 define que as edificações devem ter uma vida útil de no mínimo 50 anos. Portanto, na realidade o que ocorre é que muitas apresentam problemas muito antes de completar esse período. A norma ainda prevê um período de garantia de 5 anos para as edificações, período em que o consumidor final fica resguardado com relação a danos construtivos não aparentes, que são aqueles que podem ter início logo após a utilização do imóvel.

Silva e Jonov (2016) ressaltam que as evoluções tecnológicas dos materiais de construção civil e das novas técnicas de projeto contribuíram para uma significativa na qualidade das construções. As obras são construídas de forma a se tornarem mais

leves, e os projetos sendo feitos com intuito de diminuir a quantidade de materiais utilizados.

Além disso, ainda segundo os autores, as obras têm um andamento muito rápido e, na maioria das vezes, o rigor no controle dos materiais, serviços e trabalhadores não acompanham na mesma velocidade. Silva e Jonov (2016), corroborando com os dizeres, ainda apresentam dados da incidência das origens das enfermidades em construções no Brasil, mostrado no Gráfico 1.



Fonte: SILVA; JONOV (2016)

Como é possível observar, os autores constatam que 18% das causas das patologias estão ligadas com erros na execução de projetos, e apenas 3% estão ligados com as manutenções. Destaca-se também que mais da metade das enfermidades são originadas da execução.

Souza e Ripper (1998) cita que, atualmente, a preocupação com as estruturas de concreto armado são voltadas para a estabilidade e durabilidade, pois não adianta uma estrutura ser estável e não durável, o que acarretaria grandes prejuízos para as empresas e para os consumidores finais. Nesse mesmo aspecto, os autores adicionam as patologias, já que estas podem ser decorrentes de falhas de concepção, de análise, de execução e de utilização.

Completando as informações, Souza e Ripper (1998) fazem uma comparação das causas dos problemas patológicos em estruturas de concreto pelo mundo, apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Análise percentual das causas dos problemas patológicos em estruturas de concreto

Fonte de pesquisa	Causas dos problemas patológicos em estruturas de concreto			
	Concepção e projeto	Materiais	Execução	Utilização e outras causas
Edward Grunau (Paulo Helene, 1992)	44%	18%	28%	10%
D. E. Allen (Canadá) (1979)	55%	49%		-
C.S.T.C. (Bélgica) (Verçoza, 1991)	46%	15%	22%	17%
C.E.B. Boletim 157 (1982)	50%	40%		10%
Faculdade de Engenharia da Fundação Armando Álvares Penteado (Verçoza, 1991)	18%	6%	52%	24%
B.R.E.A.S. (Reino Unido) (1997)	58%	12%	35%	11%
Bureau Securitas (França) (1972)	88%			12%
E.N.R. (Estados Unidos) (1968- 1978)	9%	6%	75%	10%
S.I.A. (Suíça) (1979)	46%	-	44%	10%
Dov Kaminetzky (1991)	51%	40%		16%
Jean Blévoit (França) (1974)	35%	-	65%	-
L.E.M.I.T. (Venezuela) (1965-1975)	19%	5%	57%	19%

Fonte: SOUZA; RIPPER (1998), adaptado

Como é possível analisar a partir do Quadro 2, na maior parte do mundo as causas das patologias se encontram nas fases de concepção e projeto. Outra fase que acarreta muitas patologias é a de execução.

Souza e Ripper (1998) enfatizam que as estruturas de concreto armado se deterioram com o passar do tempo, conceito muitas vezes ignorado. As estruturas mal projetadas ou executadas de maneira incorreta, com materiais fora da especificação feita, podem entrar em colapso com pouco tempo (SOUZA; RIPPER, 1998). Corroborando com os autores, Verçoza (1991) diz que se um concreto for corretamente feito e devidamente conservado, sua durabilidade poderá ser comparada com a das pedras. Mesmo assim, com o passar dos anos poderá sofrer deterioração se exposto a intempéries.

Se tratando da classificação das patologias, os autores dividem em simples ou complexas. As simples são as que não exigem que o profissional responsável tenha conhecimentos mais especializados; já para as complexas são necessários profissionais capacitados e que tenham conhecimento mais aprofundado sobre as patologias. Relativo as causas da deterioração das estruturas, mesmo que inúmeras, Souza e Ripper (1998) dividem em cinco principais: intrínsecas (inerentes às estruturas), extrínsecas (externas ao corpo estrutural), falhas humanas, causas naturais próprias ao material concreto e ações externas.

Abordando a parte do aço nas estruturas de concreto armado, Ribeiro (2013) cita que as patologias estão ligadas a corrosão da armadura, o que geralmente acontece depois de alguns anos de uso. Como exemplo, tem-se a Figura 10.

Figura 10 – Recuperação de viga de concreto armado em Cajati, São Paulo.



Fonte: SOARES (2015)

Na Figura 10 é possível observar onde a armadura está exposta ocasionando corrosão e, quando isso ocorre, as barras de aço perdem sua resistência, e conseqüentemente comprometem o funcionamento da estrutura. Ribeiro (2013) destaca que alguns sinais de fissuras e manchas podem indicar que a armadura está exposta e possivelmente iniciando um processo de deterioração.

Verçoza (1991) afirma que muitos são os fatores que podem destruir o concreto armado, enfatizando que existem agentes que atacam somente o concreto, outros que atacam somente as armaduras, como também, que atacam ambos. Esses agentes podem ser classificados como químicos, físicos, biológicos e mecânicos, além dos agentes intrínsecos e agentes extrínsecos do qual foram mencionados anteriormente.

Em sua bibliografia, Souza e Ripper (1998) cita alguns processos físicos de deterioração, que são a forma como as patologias se apresentam efetivamente nas estruturas de concreto armado. Esses processos podem ser observados na Figura 11.

Figura 11 – Processos físicos de deterioração das estruturas de concreto.



Fonte: SOUZA, RIPPER (1998)

Destaca-se no que foi apresentado na Figura 11, a já citada corrosão, que acontece tanto no processo de fissuração quanto na desagregação do concreto.

Complementando o apresentado, Silva e Jonov (2016) apresenta algumas das origens das patologias nas estruturas de concreto armado, que são:

- a) Deficiências de projeto;
- b) Deficiências de execução;
- c) Má qualidade ou emprego inadequado dos materiais;
- d) Sinistros ou causas fortuitas (incêndios, inundações, acidentes, entre outros);
- e) Uso inadequado da estrutura;
- f) Manutenção imprópria.

Como é possível observar, várias são as origens das patologias em estruturas de concreto armado. Com isso, abre-se espaço para os trabalhos de recuperação estrutura, processo no qual é necessário experiência e conhecimento do engenheiro que realiza este tipo de serviço. No tópico a seguir serão apresentadas propostas para minimizar tais patologias assim como a forma de tratamento delas.

2.3.2 Tratamento de patologias

Após a identificação de patologias em estruturas de concreto armado, é necessário a realização de uma vistoria técnica, para análise detalhada da real situação da estrutura. Esta vistoria deve ser realizada por um profissional experiente na área e especialista em patologias, para que possam ser identificadas as causas e ser proposto as soluções adequadas e aplicáveis para a recuperação da estrutura.

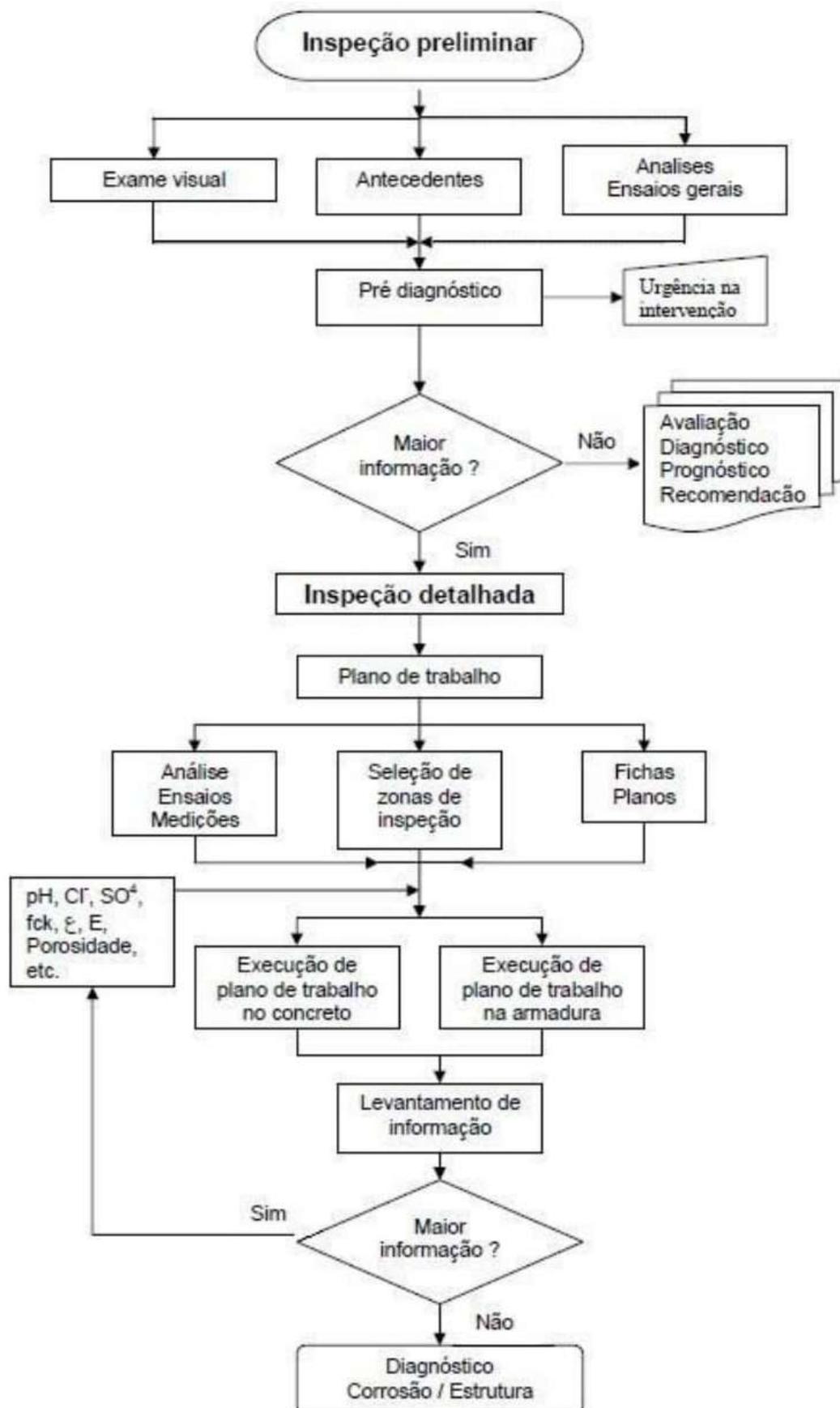
A análise de dados é uma etapa muito importante e acontece logo após a vistoria técnica. Ela possibilita ao engenheiro vistoriador um melhor entendimento das condições da estrutura, avançando, assim, para a próxima etapa: diagnósticos.

Segundo Souza e Ripper (1998), a etapa de diagnostico depende de vários fatores, tais como econômicos, técnicos, de segurança e conforto. Esta fase leva ao profissional que está realizando a análise inúmeras conclusões, que podem ser aplicadas a construção. Os autores enfatizam que em alguns casos é necessário a

demolição da estrutura, pois no levantamento pode-se verificar inviabilidade para o serviço de recuperação da estrutura.

De acordo com Helene (1988) para escolher uma técnica adequada de correção do problema, além do diagnóstico criterioso que deve ser realizado, é preciso ter o conhecimento da região a ser corrigida, analisando também a importância do funcionamento deste elemento na estrutura. Completando os dizeres, a Figura 12 ilustra o passo-a-passo das inspeções técnicas de uma edificação.

Figura 12 – Fluxograma do passo-a-passo das vistorias técnicas das estruturas.



Fonte: GRANATO (2002)

Aplicável a toda edificação, o fluxograma apresentado na Figura 12 complementa os dizeres dos outros autores relacionados a etapa de tratamento das patologias. Granato (2002) divide em inspeção preliminar, inspeção detalhada e, por fim, o diagnóstico.

Outro ponto observado pelo Helene, em sua bibliografia de 1992, é que uma das etapas mais importantes é a realização da limpeza inicial da estrutura comprometida, sendo esta fase responsável por 50% da recuperação. Helene (1992) alega que, por mais que sejam utilizados materiais de ótima qualidade, nada adiantará se não tiver os devidos cuidados.

A recuperação de uma estrutura com corrosão se inicia com a inspeção preliminar, detalhada com as falhas, seguida da delimitação da área que precisa ser reforçada, remoção do material danificado, limpeza, revestimento da armadura, restituição da estrutura que for necessária e revestimento com um novo material (HELENE, 1988). Santos (2017) *apud* Granato (2002) ilustra os dizeres conforme mostrado na Figura 13.

Figura 13 – Sequência da preparação e limpeza superficial de uma estrutura.

		<p>1. Localizar a área a ser reparada, por teste de percussão, exame visual ou outros métodos. Verificar se é necessária a instalação de suportes provisórios.</p>
		<p>2. Remover com equipamentos adequados todo o concreto deteriorado. Quando a remoção atingir o ponto da armadura, a mesma deve ser totalmente exposta para o sucesso do reparo.</p>
		<p>3. Delimitar a área de reparos de acordo com a metodologia de reparo a ser adotada. A aplicação de concreto projetado pode requerer a modificação da geometria da área delimitada.</p>
		<p>4. Efetuar uma rigorosa limpeza da área a ser reparada. A limpeza é muito importante para possibilitar a ancoragem adequada do material de reparo.</p>
		<p>5. Caso a seção da armadura esteja seriamente comprometida, com perda de mais de 15% da seção, a colocação de armadura adicional pode ser necessária.</p>
		<p>6. Dependendo da metodologia de reparo, a aplicação de pintura protetora da armadura e ponte de aderência podem ser adotada.</p>

Fonte: SANTOS (2017) *apud* GRANATO (2002)

A Figura 13 mostra a sequência do processo de preparo que deve ser realizado antes da execução da recuperação da estrutura. Santos (2017) *apud* Granato (2002) corrobora com os dizeres de Helene (1988; 1992) apresentando que se inicia com a localização da área a ser reparada, passando pela remoção do concreto danificado, delimitação e limpeza da área, revestimento e restituição da armadura, além do quando necessário.

Enfatiza-se novamente que a limpeza da área atingida é fundamental, uma vez é necessário eliminar qualquer substância que venha prejudicar a durabilidade da recuperação do pilar de concreto armado. Existem quatro métodos para realização desta remoção: mecânico, químico, solubilização e detergência. A ação mecânica tem a finalidade de eliminar a corrosão na barra por meio da abrasão, podendo ser feita

através de escovas de aço, lixamento, dentre outros; a química tem o intuito de remover quaisquer tipos de oxidação e impurezas inorgânicas na superfície da barra atingida utilizando soluções ácidas ou alcalinas; as outras duas, solubilização e detergência, ações são aplicadas em casos que exista óleo ou sujeira agregada, não trazendo reação com o metal.

No tópico 2.4 será apresentado de forma mais detalhada a recuperação das estruturas de concreto armado.

2.4 Recuperação da estrutura de concreto armado

Com base no manual de recuperação estrutural disponibilizado digitalmente pela empresa Sika, e a partir dos conceitos já apresentados, da Figura 14 até 21, por meio de tópicos, serão apresentados a metodologia para recuperação de uma estrutura.

- a) Identificação e delimitação das áreas a serem reparadas (Figura 14)

Figura 14 – Identificação e delimitação das áreas a serem reparadas.



Fonte: SIKA (2021)

Primeiramente demarca-se, com giz de cera ou spray de tinta, as regiões com vestígios de corrosão (manchas de óxidos, fissuras e armaduras expostas) tendo como causa provável a expansão dos produtos da corrosão das armaduras.

- b) Realização da limpeza das superfícies da estrutura (Figura 15)

Figura 15 – Realização da limpeza das superfícies da estrutura.



Fonte: SIKA (2021)

Realiza-se a limpeza das superfícies da estrutura por hidrojateamento de baixa pressão (1400 a 2600 psi (libra-força)), com o objetivo de remover sujidades e contaminantes impregnados no concreto, para permitir a melhor visualização do estado da estrutura e das regiões a serem reparadas.

c) Remoção do concreto (Figuras 16 e 17)

Figura 16 – Remoção do concreto com ferramentas manuais.



Fonte: SIKA (2021)

Figura 17 – Remoção do concreto com ferramentas pneumáticas/elétricas.



Fonte: SIKA (2021)

Fase na qual se remove o concreto da área danificada, podendo o serviço ser de forma manual (Figura 16) e com auxílio de ferramentas pneumáticas ou elétricas (Figura 17). Enfatiza-se que a remoção do concreto deteriorado deve ser profunda suficiente para liberar totalmente a armadura, permitindo sua limpeza.

d) Limpeza das armaduras (Figura 18)

Figura 18 – Limpeza das armaduras.



Fonte: SIKA (2021)

Etapa na qual consiste na remoção dos produtos de corrosão existentes sobre as barras e nas áreas de reparos.

e) Proteção das armaduras

Após a limpeza, é realizada a restauração do pH (potencial hidrogeniônico) da estrutura de concreto, além do ponto de aderência e passivação da armadura.

f) Preparação do substrato (Figura 19)

Figura 19 – Preparação do substrato.



Fonte: SIKA (2021)

O substrato deverá estar convenientemente preparado para receber as argamassas especiais de fechamento dos reparos. Para isto devem ser retirados todos os resíduos de concreto e pó que permanecerem sobre a superfície que foi apicoada, utilizando um jato de água, conforme Figura 19, promovendo também a saturação do substrato.

g) Aplicação da argamassa (figura 20 e 21)

Figura 20 – Aplicação da argamassa.



Fonte: SIKA (2021)

Figura 21 – Acabamento com desempenadeira.



Fonte: SIKA (2021)

Por fim, fazer a aplicação de argamassa polimérica industrializada (Figura 20), e realização de acabamento utilizando desempenadeira de madeira ou metálica (Figura 21).

3 METODOLOGIA

3.1 Pesquisa quanto aos fins

Para determinar o tipo de pesquisa a ser realizada, é necessária basear-se em alguns critérios, conhecer suas especificações e características. De acordo com Appolinário (2006), é usual classificar a pesquisa de acordo com o objetivo geral e fundamentá-la por meio dos objetivos específicos. A pesquisa quanto aos fins é classificada como: exploratória, descritiva ou explicativa.

Prodanov e Freitas (2013) definem que a exploratória ocorre quando na fase preliminar da pesquisa é possível delimitar o tema, orientando quanto aos objetivos e o foco nas investigações. De acordo com os autores, geralmente este tipo de pesquisa assume formas de pesquisas bibliográficas e estudo de caso, podendo ser realizada por diversos ângulos e aspectos como: levantamento bibliográfico, entrevista com pessoas que conheçam ou possuem experiência no assunto e análises de exemplos. A pesquisa exploratória é para que o pesquisador obtenha conhecimento familiarizando com o assunto estudado, para estimular a compreensão do tema como um todo.

Já na pesquisa descritiva, existem técnicas padronizadas para se obter a coleta dos dados, sendo através de formulários, testes, questionários, entre outros (PRODANOV; FREITAS, 2013). Os autores citam que o pesquisador faz o estudo dos dados levantados e registra a interpretação dos resultados, porém não interfere no resultado alcançado. Prodanov e Freitas (2013, p.52) completam dizendo que a pesquisa descritiva “procura descobrir a frequência com que um fato ocorre, sua natureza, suas características, causas, relações com outros fatos”.

Por sua vez, segundo Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa explicativa ocorre quando o pesquisador por meio de registros, de análise e classificações dos fatos observados e dos porquês de seu acontecimento, consegue delimitar os fatores determinantes das causas do estudo. Gil (2010, p. 28) cita que este tipo de pesquisa “aprofunda o conhecimento da realidade porque explica a razão, o porquê das coisas”. A maioria das pesquisas que usam o método explicativo consistem no método

experimental, pois, dessa forma, é possível manipular as variáveis, aprofundando o conhecimento no assunto, definindo os porquês explicando as razões pelo ocorrido.

Baseando nos conceitos apresentados, define-se que o presente trabalho se caracteriza quanto aos fins como uma pesquisa explicativa, por identificar os fatores contribuintes para a ocorrência de fenômenos que não foram considerados no método executivo das construções dos pilares.

3.2 Pesquisa quanto aos meios

Para se chegar a um resultado, é necessário a definição da forma que a pesquisa será feita, ou seja, definir qual será o caminho metodológico utilizado para chegar aos resultados do trabalho. Neste caso, a pesquisa é dividida entre pesquisa de campo, documental, bibliográfica, laboratorial e de caso.

Marconi e Lakatos (2003) definem pesquisa de campo aquela que tem como objetivo captar dados e conhecimentos sobre o problema a que se destina, ou alguma hipótese para comprovar, ou, ainda, achar algum fenômeno ou ligação entre eles. Gil (2008) diz que a referente pesquisa é muito mais que a distribuição de características da população, e sim o aprofundamento das questões propostas, sendo assim a pesquisa de campo mais flexível. Para o autor, mesmo que o objetivo em questão sofra alterações, estudo pode continuar sendo feito, ressaltando que a pesquisa de campo estuda uma amostra específica, no entanto, tende a utilizar mais técnicas de observação do que de interrogação.

Já na pesquisa documental, o material coletado para análise e investigação é restrito apenas a documentos, sejam eles escritos ou não, caracterizados como fontes de primeiro gênero (MARCONI; LAKATOS, 2003). Estes documentos podem ser elaborados no momento que o fato ou fenômeno ocorre ou após a ocorrência. Ainda de acordo com os autores, os documentos são primários quando:

- a) Compilados na ocasião pelo autor, como documentos de arquivos públicos, estatísticas, cartas, contratos, dentre outros;
- b) Compilados após o acontecimento pelo autor, como diários, autobiografias, relatos de viagens, entre outros.

Para Manzo (1971, p.32), a pesquisa bibliográfica "oferece meios para definir, resolver, não somente problemas já conhecidos, como também explorar novas áreas onde os problemas não se cristalizaram suficientemente". No entanto, de acordo com o autor, a pesquisa bibliográfica não é somente a repetição de algo já escrito ou dito, e sim uma forma inovadora de análise e conclusões diferentes com outros enfoques sobre o tema.

O estudo laboratorial, por sua vez, é um procedimento exato, pois requer uma investigação mais aprofundada, além de exigir equipamentos específicos, precisos, calibrados e, ainda, ambientes adequados (MARCONI; LAKATOS, 2003). Para os autores, no estudo em questão há técnicas que devem ser utilizadas para cada variável. Entretanto, ao realizar este tipo de estudo deve-se ter previamente planejado qual é o objetivo e qual será o ramo de estudo.

Por fim, tem-se o estudo de caso que, de acordo com Yin (2005), é considerado empírico, uma vez que analisa e investiga a matéria de acordo com a realidade, com experiências vividas e casos reais. Para o autor, o estudo de caso tende a esclarecer dúvidas, analisar, investigar e propor soluções sobre o fenômeno estudado em contexto real. Este método, tem se tornado o mais usual no meio acadêmico, pois é uma forma de estudar casos semelhantes que obteve sucesso com os resultados e trazer as vantagens que acarretam sobre um novo tema.

Com base nas definições, a presente pesquisa, quanto aos meios, é classificada como estudo de caso, pois analisa-se as patologias recorrentes de três pilares da edificação em estudo, localizada na cidade de Vespasiano, Minas Gerais. Além disso, através da análise, é proposto tratativas e soluções das patologias das estruturas.

3.3 Local em estudo

Os proprietários do local onde foi realizado o estudo de caso não autorizaram a divulgação de seus dados pessoais. Entretanto, houve interesse por parte deles em participar pois precisam de uma análise assertiva em relação ao melhor tratamento patológico a ser adotado na estrutura de concreto armado, no caso, os pilares.

Foi apresentado que a construção possui aproximadamente 20 anos de existência, sendo que a estrutura em estudo se trata de um anexo a edificação, que está localizada no vetor norte da cidade de Vespasiano, no estado de Minas Gerais. Como discutido no tópico de Resultados e Análises, os elementos estão com várias patologias, como deslocamento, corrosão e fissuras, o que pode acarretar num enfraquecimento da estrutura como um todo.

3.4 Universo e amostra

Para Gil (2007), de modo geral, as pesquisas abrangem um universo de elementos tão grande que se torna impossível considerá-los em sua totalidade. Por essa razão, é frequente trabalhar com uma amostra, uma pequena parte dos elementos que compõem o universo. Para entender melhor o que é cada, segue as definições de acordo com Gil (2007):

- a) Universo ou população: em termos estatísticos, define-se como o conjunto dos elementos que tem alguma característica em comum e que possa ser contada, medida, pesada ou ordenada de algum modo, além de servir de base para as propriedades a serem investigadas;
- b) Amostra: é um subconjunto representativo ou não da população em estudo. Essa representatividade da amostra, que é uma propriedade altamente desejada em estatística, ocorre quando ela apresenta as mesmas características gerais da população da qual foi extraída.

Neste trabalho, o universo de pesquisa se trata de uma estrutura realizada em concreto armado localizado na cidade de Vespasiano, em Minas Gerais. Já as amostras são os elementos estruturais submetidos a compressão, no caso, os pilares executados em concreto armado.

3.5 Formas de coleta e análise de dados

A coleta e análise de dados são de suma importância para a metodologia científica. Para elaborar um instrumento de pesquisa, é essencial que o pesquisador

preveja como os dados coletados serão analisados. Para isso, existem diversas formas de coletar dados de pesquisa, já que existem inúmeras possibilidades quanto aos próprios instrumentos de pesquisa (APPOLINÁRIO, 2006). Algumas delas, apontadas pelo autor e por Gil (2007) são apresentadas a seguir:

- a) Observação simples: é aquela em que o pesquisador observa de forma espontânea os fatos que ocorrem, sendo ele considerado um espectador. Pode ser caracterizado por ser informal, não planejada. O processo de coleta de dados por meio da observação é seguido de análise e interpretação, fazendo com que tenha a necessária sistematização e capacidade de controle do procedimento científico, sendo os registros de observação simples geralmente realizados por meio de diários ou cadernos de nota;
- b) Observação participante: também conhecida como observação ativa, consiste no conhecimento da vida da sociedade, do grupo ou de uma situação específica. Neste caso, o observador assume por certo período o papel de membro do grupo;

Observação sistemática: este método é frequentemente utilizado em pesquisas que tem como objetivo a descrição precisa dos fenômenos ou o teste de hipóteses. Nela, pesquisador deve saber quais os aspectos significativos para alcançar os objetivos pretendidos, elaborando previamente um plano de observação para organização e o registro das informações que podem ser laudos, formulários, gravações de som e imagens, devendo se estabelecer critérios para registro das ações;

Entrevista: é um procedimento de coleta de dados que envolvem o encontro de duas pessoas – entrevistador e entrevistado –, devendo ressaltar a grande dependência das habilidades relacionais e de comunicação do entrevistador. Esta forma demanda competência técnica, possui baixo grau de precisão e fidedignidade principalmente no caráter quantitativo;

Análise documental: Toda pesquisa válida necessita da análise de dados como artigos, arquivos históricos, registros estatísticos, diários, biografias, jornais, revistas, relatórios técnicos, entre outros, para fornecer aos pesquisadores dados claro o suficiente, dando, assim, estrutura à pesquisa. Por isso, deve ainda possuir um plano de pesquisa bem elaborados indicando com objetivo a natureza dos dados a serem obtidos.

Com base nessas informações, para a produção deste trabalho fora adotado os procedimentos de coleta de dados através de observação direta, *checklist* e realização de levantamento fotográfico. O presente estudo de caso foi dividido em:

- a) Coleta de dados: fase inicial do estudo, na qual foi realizada visita ao local, no mês de fevereiro de 2021, colhendo informações através de checklist (apresentado no Apêndice A), realizando anotações em caderno de nota através de observação direta, e realizando levantamento fotográfico completo da estrutura afetada;
- b) Tratamento de dados: nesta fase foram analisados os dados, baseando em bibliografias, com a ajuda dos tutores e orientadores, engenheiros e especialista da área de estruturas de concreto armado;
- c) Soluções: nesta fase foi dada o parecer sobre a estrutura analisada e a patologia que nela se encontra, assim como proposto soluções para eliminar e/ou minimizar tais patologias.

3.6 Limitações da pesquisa

Segundo Vergara (1998), toda metodologia apresenta possibilidades e limitações, sendo sadio adiantar-se às críticas que o leitor poderá cometer ao trabalho, apontando quais as limitações que o método escolhido oferece. Porém, ainda assim, justificando-o como o mais adequado aos desígnios da pesquisa.

A principal limitação desta pesquisa foi a não liberação dos projetos estruturais dos pilares construídos pelos responsáveis e, com isso, não foi possível a realização de análises e estudos mais aprofundados. Além disso, houve uma certa dificuldade em acessar a edificação devido a recomendação da Organização Mundial de Saúde (OMS) em relação a não aglomeração de pessoas relativo à pandemia do Coronavírus (COVID-19), afetando os encontros presenciais *in loco* para a análise completa da estrutura estudada.

Pode-se destacar como limitação a dificuldade em encontrar fatos registrados em detalhes sobre o surgimento do concreto armado no mundo. Os livros pesquisados possuem uma visão geral do assunto, porém não fornece dados precisos como, por exemplo, registros de quando começou a utilizar o concreto nas edificações. Logo,

fez-se necessário utilizar artigos para coleta de dados sobre o assunto. Pontua-se também o ano dos livros pesquisados, não possuindo muitas bibliografias atuais que tratam do assunto.

Por fim, pelo mesmo motivo das análises *in loco*, não foi possível realizar encontros com o grupo para a realização do trabalho, sendo este um dificultador para que o resultado esperado tenha sido alcançado.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Apresentação e identificação da estrutura em Vespasiano – Minas Gerais

Os objetos de estudo deste trabalho são três pilares estruturais que se encontram em uma edificação comercial na cidade de Vespasiano, Minas Gerais. Os elementos fazem parte de um anexo do empreendimento, na qual não foi exposto o projeto. Por este motivo, analisar-se-á a estrutura como um todo, sem tratar de como foi feito seu dimensionamento. As Figuras 22 e 23 mostram os pilares estudados.

Figura 22 – Identificação do Pilar 1.



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 23 – Identificação dos pilares 2 e 3.



Fonte: Autoria própria (2021)

A partir das Figuras 22 e 23, visualiza-se os três pilares, que foram identificados numericamente para facilitar a compreensão dos resultados e análises a serem apresentados. Por meio das imagens é possível observar as patologias, e apontar inúmeras fissuras, trincas e rachaduras na estrutura, além da corrosão, principal enfermidade. Essas patologias serão apresentadas com detalhes e abordadas no tópico a seguir.

4.2 Identificação das patologias na estrutura em Vespasiano, Minas Gerais

Como apresentado no tópico anterior, os pilares contêm diversas patologias. As Figuras 24 e 25 focam nas anomalias do primeiro pilar.

Figura 24 – Corrosão no Pilar 1.



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 25 – Corrosão do Pilar 1.



Fonte: Autoria própria (2021)

Nas Figuras 24 e 25, é possível observar que houve deslocamento do concreto do Pilar 1, deixando exposta a sua armadura. A partir dos estudos em bibliografias, entende-se que o principal causador desta patologia é a corrosão. Por não haver nenhum desgaste no aço, é provável que o tipo de corrosão seja a química que, de acordo com Meira (2017), acontece em ambientes secos e não provoca a deterioração da superfície metálica.

Ao observar o restante do elemento, visualiza-se que já está havendo a abertura de outras fissuras, como é possível ver na Figura 26.

Figura 26 – Fissuras no Pilar 1.



Fonte: Autoria própria (2021)

Essas fissuras e rachaduras vistas na Figura 26, podem também ter sido causadas pela corrosão, estando ainda em sua primeira fase de deterioração do concreto. As Figuras 27 a 30 mostram as patologias do Pilar 2.

Figura 27 – Corrosão no Pilar 2.



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 28 – Corrosão no Pilar 2.



Fonte: Autoria própria (2021)

Assim como no Pilar 1, o Pilar 2 apresenta corrosão na sua fase de deslocamento do concreto, como possível visualizar nas Figuras 27 e 28. Entretanto, neste caso, observa-se que na parte mostrada na Figura 27 houve corrosão

eletroquímica que, de acordo com Meira (2017), acontece em quando a armadura é exposta a ambiente úmido.

Figura 29 – Fissuras e rachadura no Pilar 2.



Fonte: Autoria própria (2021)

Já na Figura 29, é possível ver que o Pilar 2 também apresenta fissuras na sua estrutura (destacado em vermelho), assim como uma rachadura (em azul). Esta já é a terceira fase da corrosão antes do deslocamento, que já ocorreu em outras partes do pilar, como mostrado anteriormente.

Figura 30 – Bicheira no Pilar 2.



Fonte: Autoria própria (2021)

Outra patologia encontrada no Pilar 2 são as chamadas bicheiras, mostradas na Figura 30. Esta se dá pelo cobrimento insuficiente da armadura pelo concreto

durante a etapa de concretagem em uma obra, o que gera espaços vazios no material, causando a sua corrosão e expondo o aço em sua última fase.

Por fim, tem-se o Pilar 3, cujo patologia identificada é exibida na Figura 31.

Figura 31 – Deslocamento do concreto no Pilar 3.



Fonte: Autoria própria (2021)

Como é observável na Figura 31, houve um pequeno deslocamento do concreto no Pilar 3, não sendo possível portanto, identificar a causa desta fragmentação. Porém, a partir da análise feita nos outros dois pilares anteriormente apresentados, é pressuposto que o fundamento desta enfermidade seja a corrosão do concreto, presente nos Pilares 1 e 2.

No Quadro 3 é apresentado um resumo das patologias encontradas nos três pilares da estrutura.

Quadro 3 – Resumo das patologias encontradas nos pilares na construção em Vespasiano, MG.

Pilares	Patologias
Pilar 1	Deslocamento
	Fissuras
	Rachaduras
Pilar 2	Deslocamento
	Fissuras
	Rachaduras
Pilar 3	Bicheiras
	Deslocamento

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A partir das análises e identificação das patologias, resumidas no Quadro 3, entende-se que a possível causa desses deslocamentos foi a corrosão, sendo do tipo química no Pilar 1 e eletroquímica no Pilar 2. Já no Pilar 3 esta causa foi apenas pressuposta, não sendo possível identificar a classe. Por sua vez, as fissuras e rachaduras encontradas nos Pilares 1 e 2 também podem ter sido causadas pela corrosão, porém, por estar em sua primeira fase de deterioração do concreto, não é possível identificar o tipo. Já a bicheira, encontrada também no Pilar 2, se dá pelo cobrimento insuficiente da armadura na fase de concretagem na obra.

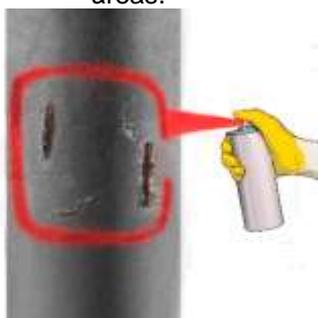
4.3 Proposta de um processo executivo para que as patologias sejam eliminadas ou minimizadas nos pilares

A partir do levantamento apresentado no tópico anterior, seguindo as bibliografias estudadas, será exposta a seguir uma proposta para minimização das patologias encontradas nos pilares. Enfatiza-se, portanto, que para uma resolução mais assertiva sobre o caso, seria necessário a análise do projeto estrutural da construção, que não foi apresentado.

O pilar é um elemento estrutural fundamental na segurança e suporte das cargas da estrutura e, como será feita uma intervenção nele, o restante da estrutura deve ser reforçado antes de qualquer ação. Este reforço pode ser feito por meio de suportes provisórios, como pilares de madeira. Além disso, recomenda-se a interdição da área em que será executado o serviço.

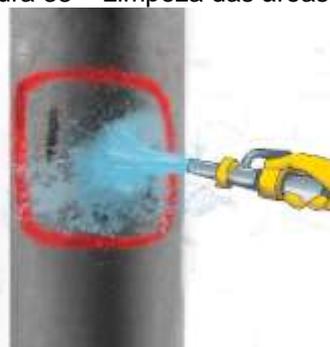
Feito estes “pré-procedimentos”, inicia-se a recuperação da estrutura, descritas abaixo e ilustradas pelas Figuras 32 a 39.

Figura 32 – Delimitação das áreas.



Fonte: Autoria própria (2021)

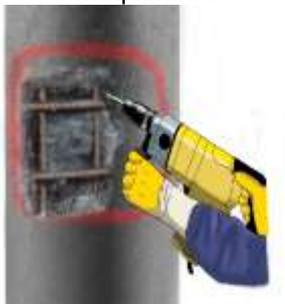
Figura 33 – Limpeza das áreas.



Fonte: Autoria própria (2021)

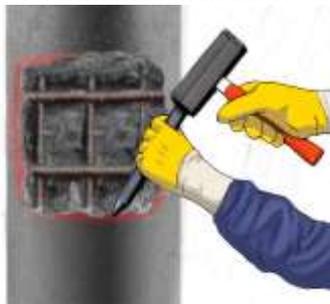
Primeiro, realiza-se a delimitação das áreas a serem reparadas (Figura 32). Segue-se então com a limpeza das áreas das estruturas por meio de jatos de água com pressão (Figura 33).

Figura 34 – Extração com maquinários.



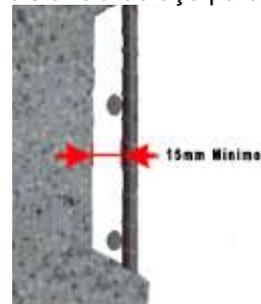
Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 35 – Extração com ferramentas manuais.



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 36 – Demonstração de distância do aço para o concreto.



Fonte: Autoria própria (2021)

O terceiro passo então, é a remoção do concreto das áreas deterioradas, até chegar ao aço. Esta extração deve ser feita com equipamentos e ou maquinários adequados – cortadores a discos ou martelotes (Figura 34) –, assim como, ferramentas manuais – marretas e talhadeiras (Figura 35) –, devendo deixar, no mínimo, 2 centímetros livres em torno da armadura (Figura 36).

Figura 37 – Limpeza da armadura.



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 38 – Preparação do substrato.



Fonte: Autoria própria (2021)

Em seguida, faz-se a limpeza das armaduras e a remoção dos produtos corrosivos dela (Figura 37). Esta etapa deve ser iniciada com a retirada das sujeiras “grossas” por meio de escovas de aço. Após isto, deve ser passado um produto inibidor de corrosão, limpando o restante das impurezas. Caso necessário, indica-se limpeza com a escova e, em alguns casos, com o produto. Finaliza-se esta fase com a preparação do substrato (Figura 38), retirando todos os resíduos de concreto e pó que permaneceram na superfície por meio de um jato de água até saturar o local. Adiciona-se que, no caso de a armadura estar muito deteriorada e com perdas, deve ser feita sua troca.

Figura 39 – Aplicação da argamassa.



Fonte: Autoria própria (2021)

Por fim, se faz a aplicação da argamassa (Figura 39). Recomenda-se que seja utilizado uma argamassa polimérica de reparo com inibidor de corrosão. Entretanto, caso não seja possível, pode ser feita uma mistura seguindo o seguinte traço:

- a) 1 saco de cimento;
- b) 4 latas de areia;
- c) 5 ½ latas de brita (1 ou 2);
- d) 1 ¼ latas de água.

Lembra-se que as latas devem ser de 18 litros. Além disso, deve ser feita antes da aplicação da argamassa a colocação da forma do pilar, seguindo a configuração circular do restante do elemento existente.

Após isto, espera-se em torno de 14 dias para a cura do concreto, podendo a forma ser retirada depois desse tempo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi apresentado um caso de três pilares de uma mesma estrutura com patologias visíveis, que podem ter sido causadas tanto na fase de projeto quanto na fase de execução. Apesar da limitação da não liberação dos projetos estruturais, este trabalho buscou contribuir com uma proposta de eliminação ou minimização das patologias encontradas nos pilares.

As enfermidades encontradas nos elementos estruturais citados foram majoritariamente a corrosão, considerada por inúmeros engenheiros e outros profissionais da área como a patologia mais recorrente nas estruturas de concreto armado, causando problemas tanto estéticos quanto estrutural, diminuindo até mesmo a sua segurança. Foram encontrados também fissuras, tricas e bicheiras que, mesmo em menor número, não são menos importantes e devem ser corrigidas.

Como uma possibilidade de resolver ou, ao menos, de minimizar estes problemas, foi proposto um procedimento considerado básico, porém de grande valência, sendo recomendado por inúmeros profissionais. Basicamente, o processo se dá pela retirada da estrutura danificada, limpeza e sua conseqüente reconstrução. Ressalta-se que esta técnica pode ser utilizada para quaisquer estruturas de concreto como lajes, paredes e vigas.

Lembrando que a incorreta execução dos processos descritos pode acarretar uma nova deterioração da estrutura e, portanto, uma nova recuperação. É válido reforçar também, que a proposta apresentada neste trabalho não dispensa a necessidade de um engenheiro especializado, assim como mão-de-obra qualificada.

REFERÊNCIAS

ALVES, Jader Rodrigues. **Levantamento das manifestações patológicas em fundações e estruturas nas edificações, com até dez anos de idade, executadas no estado de Goiás**. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

Disponível em:

https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/677/1/Dissertacao_Jader%20Rodrigues%20Alves_2009.pdf. Acesso em: 07 mar. 2021.

APPOLINÁRIO, Fabio. **Metodologia da ciência: filosofia e prática da pesquisa**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118**: Projeto e execução de obras de concreto armado. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2014. 238 p.

_____. **NBR 7212**: Execução de concreto dosado em central — Procedimento. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2012. 16 p.

_____. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2007. 13 p.

_____. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2015. 3 p.

_____. **NBR 9062**: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2017. 86 p.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2015. 23 p.

_____. **NBR 14931**: Execução de estruturas de concreto – Procedimento. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2004. 53 p.

_____. **NBR 15575**: Desempenho de edificações habitacionais. 4 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2013.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do Concreto Armado**. 2019. 89 f. Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2019. Disponível em:
<https://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2021.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. **Uma breve história do cimento Portland**. 2019. Disponível em:
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60334209/Uma_breve_historia_do_cimento_Portland_220190819-4724-r6lwgf.pdf. Acesso em: 06 mar. 2021.

CASAMAX. **Concreto**: Produção, informações, história e novidades. 2018. Disponível em: <http://acasamax.com.br/blog/concreto-informacoes/>. Acesso em: 06 mar. 2021.

CORNWALL GUIDE (Cornwall). **The Eddystone Lighthouse**. Disponível em:
https://www.cornwalls.co.uk/cornwall/eddystone_lighthouse.htm. Acesso em: 06 mar. 2021.

DEGUSSA. **Manual de Reparo, Proteção e reforço de estruturas de Concreto**. São Paulo, 2003.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. Ed. São Paulo: Atlas, 2010.

_____. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2007.

_____. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIONGO, José Samuel. **Concreto armado**: Introdução e propriedades dos materiais. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

GRANATO, J. E. Apostila: **Patologia das construções**. São Paulo, 2002.

GRAZIANO, Francisco Paulo. **Projeto e execução de estruturas de concreto armado**. São Paulo: Nome da Rosa, 2005.

HELENE, Paulo R. L. **Manutenção para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. Pini: São Paulo, 1992. 2 ed.

_____. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1988.

KAEFER, Luís Fernando. **A Evolução do Concreto Armado**. São Paulo, 1998.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MANZO, Aberlado J. **Manual para La preparación de monografias: uma 64uia para presentar informes y tesis**. Buenos Aires: Humanitas, 1971.

MARCOLIN, Neldson. Criação no concreto. **Pesquisa Fapesp**: Ciência e Tecnologia no Brasil, São Paulo, v. 127, p. 11, set. 2006. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/criacao-no-concreto/>. Acesso em: 06 mar. 2021.

MEIRA, Gibson Rocha. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: Fundamentos, diagnóstico e prevenção**. João Pessoa: IFPB, 2017. 130 p.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

NAZARIO, Daniel; ZANCAN, Evelise C. **Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal e Criciúma: Inspeção dos sete postos de saúde**. Santa Catarina, 2011. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/handle/1/151/Daniel%20Nazario.pdf?sequence=1>. Acesso em: 07 mar. 2021.

PAGNUSSATTI, Dagoberto; SILVA, Daiane dos Santos. **Análise da estrutura de uma residência executada sem projeto estrutural em comparação com os resultados do dimensionamento da mesma de acordo com a NBR 6118:2003 – Estudo de caso**. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011.

PARIZOTTO, Liana. **Dimensionamento de vigas e lajes em concreto armado segundo a ABNT NBR 6118:2014 e a NF EM 1992-1-1:2005**: Estudo comparativo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

PINHEIRO, Libânio Miranda. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. São Carlos: Edufscar, 2004.

PORTO, Thiago Bomjardim; FERNANDES, Danielle Stefane Gualberto. **Curso básico de Concreto Armado**: conforme NBR 6118/2014. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 51 p. Disponível em: <http://ofitexto.arquivos.s3.amazonaws.com/Curso-basico-concreto-armado-DEG.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2020.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Emani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnica da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

QUADROS, Peterson Araújo. **Estudo das correlações entre as propriedades mecânicas do concreto**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-A4NHBS/1/275.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2021.

QUEIROZ, Letícia Bezerra. **Uso do método Anova para análise de estruturas de pontes**. Universidade Federal de Alagoas, 2019. 65 f.

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de Construção Civil**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora Ufmg, 2002.

RIBEIRO, Daniel (Coord.). **Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise**. Campus: Rio de Janeiro, 2013.

ROME MUSEUM. **Colosseo**. Disponível em: <https://www.rome-museum.com/it/colosseo-roma.php>. Acesso em: 06 mar. 2021.

SANTOS, Fernanda Pereira Santos Leal dos. **Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017.

SANTOS, Roberto Eustáquio dos. **A cultura do concreto armado no Brasil: educação e deseducação dos produtores do espaço construído.** In: Anais do IV Congresso Brasileiro de História da Educação. Goiânia: Universidade Católica de Goiânia, 2006. Disponível em: http://www.mom.arq.ufmg.br/mom/01_biblioteca/arquivos/santos_06_a_cultura_do_concreto_armado_no_brasil.pdf. Acesso em: 06 mar. 2021.

SIKA. **Concrete repair: site handbook – Hand placed and spray applications.** Disponível em: <https://gbr.sika.com/dms/getdocument.get/3a7ec0d4-897f-378d-bff5-b3490ccb6beb/Concrete%20Repair%20Site%20Handbook.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2021.

SILVA, Adriano de Paula e; JONOV, Cristiane Machado Parisi. **Falhas e Patologias dos Materiais de Construção.** Curso de Mestrado em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2016.

SOARES, Flávio. **Relatório técnico.** 2015.

SOUZA, Marta Francisca Suassuna Mendes de; RODRIGUES, Rafael Bezerra. **Sistemas estruturas de edificações e exemplos.** Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: http://www.fec.unicamp.br/~nilson/apostilas/sistemas_estruturais_grad.pdf. Acesso em: 07 mar. 2021.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Pini, 1998. 257 p.

VALENTE, Ana Paula Veloso Valente; SILVA, Adriano de Paula e; CALIXTO, José Márcio Fonseca. **Análise Dos Processos De Recuperação de Patologias: Trincas e Impermeabilização.** Construindo, Belo Horizonte, v .1, n.2, p.7-11, jul./dez. 2009.

VERÇOZA, Enio Jose. **Patologia das Edificações.** Porto Alegre, 1991. 173 p.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

APÊNDICES

APÊNDICE A – CHECKLIST SUPERESTRUTURA – PILAR DE CONCRETO ARMADO

CHECKLIST SUPERESTRUTURA – PILAR DE CONCRETO ARMADO

CONDIÇÕES ESTRUTURAIS APARENTES

Fissuras	<input type="checkbox"/>	Trincas	<input type="checkbox"/>
Corrosão da armadura	<input type="checkbox"/>	Rachaduras	<input type="checkbox"/>
Manchas	<input type="checkbox"/>	Recobrimento insuficiente	<input type="checkbox"/>
Deterioração do concreto	<input type="checkbox"/>	Eflorescência	<input type="checkbox"/>
Destacamento do concreto	<input type="checkbox"/>	Lixiviação comp. Hidratado	<input type="checkbox"/>

REAÇÕES DE AGENTES QUÍMICOS

Cloretos	<input type="checkbox"/>	Álcali-agregados	<input type="checkbox"/>
Sulfatos	<input type="checkbox"/>	Ácidos	<input type="checkbox"/>
Carbonatação	<input type="checkbox"/>	Água ácida	<input type="checkbox"/>

INTERVENÇÃO

Reparo	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>	Não
Reforço	<input type="checkbox"/>	Sim	<input type="checkbox"/>	Não

Observação _____

Analisado por:

Ana Paula de Souza Lima _____

Caroline Freitas dos Santos _____

Fabiene Vilas Boas da Mata _____

APÊNDICE B – ARTIGO PUBLICADO PELO 4º CADERNO DE COMUNICAÇÕES UNIVERSITÁRIAS DO SIMPÓSIO DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E GESTÃO – SEAG

PATOLOGIAS DETECTADAS EM PILARES DE CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM UMA ESTRUTURA LOCALIZADA EM VESPASIANO/MG

Ana Paula de Souza Lima (FEAMIG) <anapaula15102009@hotmail.com>
Caroline Freitas dos Santos (FEAMIG) <krolfreitassantos@gmail.com>
Fabiene Vilas Boas da Mata (FEAMIG) <fabienevilasboas@hotmail.com>
Tábita Rodrigues de Oliveira Martins (FEAMIG) <talita.oliveira@feamig.br>

RESUMO

O presente trabalho trata-se de um estudo de caso de identificação e verificação de patologias em pilares de concreto armado. O projeto em análise refere-se a uma estrutura localizada na cidade de Vespasiano em Minas Gerais, na qual é possível identificar visivelmente enfermidades no elemento estrutural. O objetivo da pesquisa é apresentar as possíveis causas das patologias e as suas formas de tratamento, com base em uma pesquisa bibliográfica de fim explicativo, além de coleta de dados por meio de visita no local, quando foram anotadas observações sobre o caso. Por meio de observação, foram identificadas fissuras, rachaduras, deslocamento, corrosão do aço e bicheiras nos pilares estudados. Ao fim, é apresentado uma proposta de um processo executivo de recuperação das estruturas, em forma de passo a passo, para que estas patologias encontradas sejam eliminadas ou, ao menos, minimizadas.

Palavras-chave: Pilares de concreto armado. Patologias em estruturas. Recuperação de patologias.

Correspondência/Contato

Faculdade de Engenharia de Minas Gerais
FEAMIG
Rua Gastão Bráulio dos Santos, 837
CEP 30510-120
Fone (31) 3372-3703
parametria@feamig.br
<http://www.feamig.br/revista>

Editores responsáveis

Wilson José Vieira da Costa
wilsoncosta@feamig.br
Raquel Ferreira de Souza
raquel.ferreira@feamig.br

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil, o concreto armado é o material construtivo mais utilizado em todo o mundo, principalmente devido ao ótimo desempenho e facilidade de execução. Dentre as inúmeras utilizações do concreto armado, tem-se os pilares, que são peças estruturais que tem a finalidade de suportar os subsistemas horizontais (vigas e/ou lajes), coletando as cargas verticais e transmitindo-as às fundações mantendo assim todo o equilíbrio do sistema estrutural.

Atualmente no século XXI, são empregadas inúmeras tecnologias em estruturas de concreto armado e, mesmo com a evolução sofrida pelos materiais que são utilizados na construção civil, não foi suficiente para que sejam evitadas as patologias nas estruturas de concreto armado. Estas patologias podem ocorrer desde a fase inicial do projeto estrutural, na sua etapa de execução, ou durante sua vida útil, em decorrência de várias razões. Uma delas, pode ser pelo não seguimento das normas vigentes sobre o material, como, por exemplo, a ABNT NBR 6118 (Projeto e execução de obras de concreto armado), ou das normas de desempenho, como a NBR 15575 (Desempenho de edificações habitacionais). Caso as patologias não sejam tratadas da forma correta, podem levar ao seu colapso, comprometendo a durabilidade da estrutura de concreto armado, e colocando em risco para aqueles que as utilizam.

A partir deste contexto, este trabalho tem como objetivo identificar e analisar as principais patologias encontradas em pilares de uma estrutura localizada na cidade de Vespasiano, Minas Gerais, bem como estudar e apresentar as possíveis formas de sua recuperação estrutural.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto como material de construção

Complementando a humanidade desde os seus primórdios, tem-se a Construção Civil. Assim como cita Ribeiro et al. (2002, p.9), "a necessidade de abrigo fora das cavernas naturais alçou o homem para a busca de materiais apropriados a lhes fornecer segurança e qualidade". E dentre os inúmeros materiais utilizados em construções, os principais são o aço, o asfalto, a madeira e o concreto.

De acordo com a Norma Brasileira (NBR) 12655 de 2015 (p.3) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento, o concreto é um

“material formado pela mistura homogênea de cimento, agregados miúdo e graúdo e água, com ou sem a incorporação de componentes minoritários (aditivos químicos, pigmentos, metacaulim, sílica ativa e outros materiais pozolânicos), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento (cimento e água)” (ABNT, 2015, p.3).

Por sua vez, o concreto armado é quando o aço é empregado em conjunto com o concreto, unindo as qualidades da mistura – durabilidade, resistência à compressão, ao fogo e à água – com as da liga metálica – ductilidade e resistência à tração e à compressão (BASTOS, 2019).

2.1.2 Propriedades do Concreto Armado

Para o concreto ser utilizado em uma estrutura armada, necessita ter resistência mecânica, aderência suficiente com as barras das armaduras e densidade que garanta a impermeabilidade da estrutura e a proteção das armaduras em relação a corrosão (GIONGO, 2007). A NBR 8953 (2015) classifica os concretos em dois grupos de resistência para fins estruturais: I para concretos de 20 a 50 Megapascal (MPa) e II para concretos a partir de 50 até 100 MPa. A norma ainda salienta que os concretos com resistência inferior a 20 MPa não são estruturais, devendo ter seu desempenho atendido conforme NBR 6118 e 12655 caso sejam utilizados. Dentre as propriedades do concreto, tem-se a resistência à compressão (f_{ck}), à tração (f_{ct}) e o módulo de elasticidade estático secante do concreto (E_{cs}) (QUADROS, 2014).

Por sua vez, o aço deve ter propriedades que garantam a aderência com o concreto (PARIZOTTO, 2015). A norma NBR 7480 (2007) divide o aço em três categorias:

- a) CA-25: formada por barras de superfície lisa, com resistência característica de escoamento igual 250 MPa;
- b) CA-50: formada por barras com nervuras transversais e oblíquas, com resistência característica de escoamento igual 500 MPa.
- c) CA-60: formada por fios que podem ser lisos, nervurados ou entalhados, com resistência característica de escoamento igual 600 MPa.

2.2 Elemento estrutural: Pilar

Os elementos estruturais são partes dos sistemas estruturais responsáveis por receber e transmitir as solicitações nas estruturas (SOUZA; RODRIGUES, 2008). De acordo com os autores, os elementos podem ser:

- Barras: constituem vigas, pilares, arcos, pórticos, cabos, treliças, entre outros;
- Folhas: constituem placas, membranas, cascas, entre outros;
- Blocos: formam os blocos de fundações, por exemplo.

Como principal objeto de estudo deste trabalho, será destacado os pilares, que, de acordo com a ABNT 6118 (2014, p.84), são "elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes". Souza e Rodrigues (2008) complementam a definição da norma dizendo que quando a estrutura possui seção circular, elas podem ser chamadas de colunas.

Os pilares possuem grande importância na construção civil, pois são utilizadas em praticamente todos os tipos de construção, enfatizam os autores. A estrutura está associada ao sistema laje-viga-pilar, é comumente chamado de pórtico, o qual tem a função de transmitir os esforços e cargas atuantes para o elemento de fundação (BARROS *et al.*, 2012). O sistema contribui também com a estabilidade e a resistência a esforços normais, cortantes e de flexão, elucida o autor.

2.3 Patologias

Souza e Pippet (1998, p.13) definem a patologia das estruturas o "campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas". Alves (2009 *apud* DEGUSSA, 2008) cita que as patologias são partes da engenharia que estuda os sintomas, as causas e as origens dos defeitos/problemas apresentadas nas construções civis. Assim, o estudo das patologias tem como objetivo a correção e a solução desses problemas patológicos, inclusive aqueles devidos ao envelhecimento natural das estruturas de concreto armado.

2.3.1 Causas das patologias

As anomalias nas estruturas de concreto armado que ocasionam as patologias são o foco de estudo no presente trabalho. Estas doenças podem surgir nas estruturas desde a fase inicial do projeto, quanto na fase de execução, assim como anos depois da finalização

da edificação. Silva e Jonov (2016) apresentam dados da incidência das origens das enfermidades em construções no Brasil, mostrado no Gráfico 1.



Gráfico 1: Incidência das origens de patologias no Brasil.
Fonte: Adaptado de SILVA; JONOV (2016)

Como é possível observar, os autores constataam que 18% das causas das patologias estão ligadas com erros na execução de projetos, e apenas 3% estão ligados com as manutenções. Destaca-se também que mais da metade das enfermidades são originadas da execução.

Souza e Ripper (1998) enfatizam que as estruturas de concreto armado se deterioram com o passar do tempo, conceito muitas vezes ignorado. As estruturas mal projetadas ou executadas de maneira incorreta, com materiais fora da especificação feita, podem entrar em colapso com pouco tempo (SOUZA; RIPPER, 1998). Corroborando com os autores, Verçoza (1991) diz que se um concreto for corretamente feito e devidamente conservado, sua durabilidade poderá ser comparada com a das pedras. Mesmo assim, com o passar dos anos poderá sofrer deterioração se exposto a intempéries.

Abordando a parte do aço nas estruturas de concreto armado, Ribeiro (2013) cita que as patologias estão ligadas a corrosão da armadura, o que geralmente acontece depois de alguns anos de uso. De acordo com o autor, este efeito faz com que as barras de aço percam sua resistência comprometendo o funcionamento da estrutura. Ribeiro (2013) destaca que alguns sinais de fissuras e manchas podem indicar que a armadura está exposta e possivelmente iniciando um processo de deterioração.

Verçoza (1991) afirma que muitos são os fatores que podem destruir o concreto armado, enfatizando que existem agentes que atacam somente o concreto, outros que atacam somente as armaduras, como também, que atacam ambos. Esses agentes podem ser clas-

sificados como químicos, físicos, biológicos e mecânicos, além de agentes intrínsecos e agentes extrínsecos.

Como é possível observar, várias são as origens das patologias em estruturas de concreto armado. Com isso, abre-se espaço para os trabalhos de recuperação estrutural, processo no qual é necessário experiência e conhecimento do engenheiro que realiza este tipo de serviço.

2.3.2 Tratamento das patologias

Após a identificação de patologias em estruturas de concreto armado, é necessário a realização de uma vistoria técnica, para análise detalhada da real situação da estrutura. A análise de dados é uma etapa muito importante e acontece logo após a vistoria técnica. Ela possibilita ao engenheiro vistoriador um melhor entendimento das condições da estrutura, avançando, assim, para a próxima etapa: diagnósticos.

Segundo Souza e Ripper (1998), a etapa de diagnóstico depende de vários fatores, tais como econômicos, técnicos, de segurança e conforto. Esta fase leva ao profissional que está realizando a análise inúmeras conclusões, que podem ser aplicadas à construção. Os autores enfatizam que em alguns casos é necessário a demolição da estrutura, pois no levantamento pode-se verificar inviabilidade para o serviço de recuperação da estrutura.

De acordo com Helene (1988) para escolher uma técnica adequada de correção do problema, além do diagnóstico criterioso que deve ser realizado, é preciso ter o conhecimento da região a ser corrigida, analisando também a importância do funcionamento deste elemento na estrutura. Outro ponto observado pelo Helene, em sua bibliografia de 1992, é que uma das etapas mais importantes é a realização da limpeza inicial da estrutura comprometida, sendo esta fase responsável por 50% da recuperação. Helene (1992) alega que, por mais que sejam utilizados materiais de ótima qualidade, nada adiantará se não tiver os devidos cuidados.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa se trata de um estudo de caso no qual se analisa patologias recorrentes em três pilares executados em concreto armado de uma edificação localizada na cidade de Vespasiano, no estado de Minas Gerais, tendo como intuito propor uma solução para eliminar e/ou minimizar tais anomalias. A construção possui aproximadamente 20 anos de existência, sendo que a estrutura em estudo se trata de um anexo do empreendimento.

A pesquisa se caracteriza como explicativa, sendo feito uma coleta de dados por meio de uma visita ao local, no mês de fevereiro de 2021, levantamento fotográfico e pesquisa bibliográfica, que serviu como base para o estudo, identificação e solução das anomalias na construção.

A principal limitação desta pesquisa foi a não liberação dos projetos estruturais dos pilares construídos pelos responsáveis e, com isso, não foi possível a realização de análises e estudos mais aprofundados. Além disso, houve uma certa dificuldade em acessar a edificação devido a recomendação da Organização Mundial de Saúde (OMS) em relação a não aglomeração de pessoas relativo à pandemia do Coronavírus (COVID-19), afetando os encontros presenciais *in loco* para a análise completa da estrutura estudada.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Apresentação e identificação das patologias da estrutura em Vespasiano, Minas Gerais

Os objetos de estudo deste trabalho são três pilares estruturais que se encontram em uma edificação comercial na cidade de Vespasiano, Minas Gerais. Os elementos fazem parte de um anexo do empreendimento, na qual não foi exposto o projeto. Por este motivo, analisar-se-á a estrutura como um todo, sem tratar de como foi feito seu dimensionamento. As Figuras 1 e 2 mostram os pilares estudados.



Figura 1: Identificação do Pilar 1.
Fonte: Autoria própria (2021)



Figura 2: Identificação dos pilares 2 e 3.
Fonte: Autoria própria (2021)

A partir das Figuras 1 e 2 visualiza-se os três pilares, que foram identificados numericamente para facilitar a compreensão dos resultados e análises a serem apresentados. Nas imagens já é possível observar as patologias, e apontar inúmeras fissuras, trincas e rachaduras na estrutura, além da corrosão, principal enfermidade. As Figuras 3 e 4 focam nas anomalias do primeiro pilar.



Figura 3: Corrosão no Pilar 1.
Fonte: Autoria própria (2021)



Figura 4: Corrosão do Pilar 1.
Fonte: Autoria própria (2021)

Nas Figuras 3 e 4 é possível observar que houve deslocamento do concreto do Pilar 1, deixando exposta a sua armadura. A partir dos estudos em bibliografias, entende-se que o principal causador desta patologia é a corrosão. Por não haver nenhum desgaste no aço, é provável que o tipo de corrosão seja a química que, de acordo com Meira (2017), acontece em ambientes secos e não provoca a deterioração da superfície metálica. Ao observar o restante do elemento, visualiza-se que já está havendo a abertura de outras fissuras, como é possível ver na Figura 5.



Figura 5: Fissuras no Pilar 1.
Fonte: Autoria própria (2021)

Essas fissuras e rachaduras vistas na Figura 5, podem também ter sido causadas pela corrosão, estando ainda em sua primeira fase de deterioração do concreto. As Figuras 6 a 9 mostram as patologias do Pilar 2.



Figura 6: Corrosão no Pilar 2.
Fonte: Autoria própria (2021)



Figura 7: Corrosão no Pilar 2.
Fonte: Autoria própria (2021)



Figura 8: Fissuras e rachadura no Pilar 2.
Fonte: Autoria própria (2021)



Figura 9: Bicheira no Pilar 2.
Fonte: Autoria própria (2021)

Assim como no Pilar 1, o Pilar 2 apresenta corrosão na sua fase de deslocamento do concreto, como possível visualizar nas Figuras 6 e 7. Entretanto, neste caso, observa-se que na parte mostrada na Figura 6 houve corrosão eletroquímica que, de acordo com Meira (2017), acontece em quando a armadura é exposta a ambiente úmido.

Já na Figura 8, é possível ver que o Pilar 2 também apresenta fissuras na sua estrutura (destacado em vermelho), assim como uma trinca (em azul). Esta já é a terceira fase da corrosão antes do deslocamento, que já ocorreu em outras partes do pilar, como mostrado anteriormente.

Outra patologia encontrada no Pilar 2 são as chamadas bicheiras, mostradas na Figura 9. Esta se dá pelo cobrimento insuficiente da armadura pelo concreto durante a etapa de concretagem em uma obra, o que gera espaços vazios no material, causando a sua corrosão e expondo o aço em sua última fase.

Por fim, tem-se o Pilar 3, cujo patologia identificada é exibida na Figura 10.



Figura 10: Deslocamento do concreto no Pilar 3.

Fonte: Autoria própria (2021)

Como é observável na Figura 10, houve um pequeno deslocamento do concreto no Pilar 3, não sendo possível portanto, identificar a causa desta fragmentação. Porém, a partir da análise feita nos outros dois pilares anteriormente apresentados, é pressuposto que o fundamento desta enfermidade seja a corrosão do concreto, presente nos Pilares 1 e 2.

4.2 Proposta de um processo executivo para que as patologias sejam eliminadas ou minimizadas nos pilares

A partir do levantamento apresentado no tópico anterior, seguindo as bibliografias estudadas e tendo como base o manual de recuperação estrutural disponibilizado digitalmente pela empresa Sika, será exposto a seguir uma proposta para minimização das patologias

encontradas nos pilares. Enfatiza-se, portanto, que para uma resolução mais assertiva sobre o caso, seria necessário a análise do projeto estrutural da construção, que não foi apresentado.

O pilar é um elemento estrutural fundamental na segurança e suporte das cargas da estrutura e, como será feita uma intervenção nele, o restante da estrutura deve ser reforçado antes de qualquer ação. Este reforço pode ser feito por meio de suportes provisórios, como pilares de madeira. Além disso, recomenda-se a interdição da área em que será executado o serviço.

Feito estes “pré-procedimentos”, inicia-se a recuperação da estrutura, descritas a seguir e ilustradas pela Figura 11.

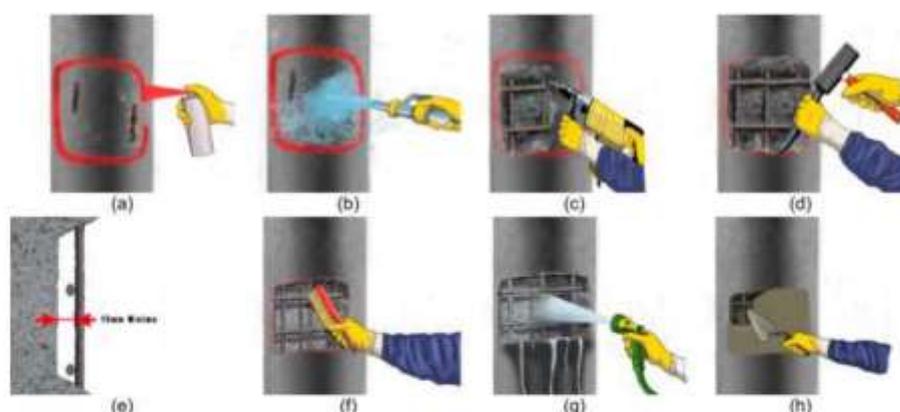


Figura 11: Fissuras e rachadura no Pilar 2.
Fonte: Autoria própria (2021)

Primeiro, realiza-se a delimitação das áreas a serem reparadas (Figura 11a). Segue-se então com a limpeza das áreas das estruturas por meio de jatos de água com pressão (Figura 11b).

O terceiro passo então, é a remoção do concreto das áreas deterioradas, até chegar ao aço. Esta extração deve ser feita com equipamentos e ou maquinários adequados – cortadores a discos ou martelões (Figura 11c) –, assim como, ferramentas manuais – marretas e talhadeiras (Figura 11d) –, devendo deixar, no mínimo, 2 centímetros livres em torno da armadura (Figura 11e).

Em seguida, faz-se a limpeza das armaduras e a remoção dos produtos corrosivos dela (Figura 11f). Esta etapa deve ser iniciada com a retirada das sujeiras “grossas” por meio de escovas de aço. Após isto, deve ser passado um produto inibidor de corrosão, limpando o restante das impurezas. Caso necessário, indica-se limpeza com a escova e, em

alguns casos, com o produto. Finaliza-se esta fase com a preparação do substrato (Figura 11g), retirando todos os resíduos de concreto e pó que permaneceram na superfície por meio de um jato de água até saturar o local. Adiciona-se que, no caso de a armadura estar muito deteriorada e com perdas, deve ser feita sua troca.

Por fim, se faz a aplicação da argamassa (Figura 11h). Recomenda-se que seja utilizado uma argamassa polimérica de reparo com inibidor de corrosão. Entretanto, caso não seja possível, pode ser feita uma mistura seguindo o seguinte traço:

- a) 1 saco de cimento;
- b) 4 latas de areia;
- c) 5 ½ latas de brita (1 ou 2);
- d) 1 ¼ latas de água.

Lembra-se que as latas devem ser de 18 litros. Além disso, deve ser feita antes da aplicação da argamassa a colocação da forma do pilar, seguindo a configuração circular do restante do elemento existente. Após isto, espera-se em torno de 14 dias para a cura do concreto, podendo a forma ser retirada depois desse tempo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi apresentado um caso de três pilares de uma mesma estrutura com patologias visíveis, que pode ter sido causada tanto na fase de projeto quanto na de execução. Apesar da limitação neste causada pela não liberação dos projetos estruturais, este trabalho buscou contribuir com uma proposta de eliminação ou minimização das patologias encontradas nos pilares.

As enfermidades encontradas nos elementos estruturais citados foram majoritariamente a corrosão, considerada por inúmeros engenheiros e outros profissionais da área como a patologia mais recorrente nas estruturas de concreto armado, causando problemas tanto estéticos quanto estrutural, diminuindo até mesmo a sua segurança. Foram encontrados também fissuras, tricas e bicheiras que, mesmo em menor número, não são menos importantes e devem ser corrigidas.

Como uma possibilidade de resolver ou, ao menos, minimizar estes problemas, fora proposto um procedimento considerado básico, porém de grande valência, sendo recomendado por inúmeros profissionais. Basicamente, o processo se dá pela retirada da estrutura danificada, limpeza e sua consequente reconstrução.

Lembrando que a incorreta execução dos processos descritos pode acarretar uma nova deterioração da estrutura e, portanto, uma nova recuperação. É válido reforçar tam-

bém, que a proposta apresentada neste trabalho não dispensa a necessidade de um engenheiro especializado, assim como mão-de-obra qualificada.

REFERÊNCIAS

ALVES, Jader Rodrigues. **Levantamento das manifestações patológicas em fundações e estruturas nas edificações, com até dez anos de idade, executadas no estado de Goiás**. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009. Disponível em: https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/677/1/Dissertacao_Jader%20Rodrigues%20Alves_2009.pdf. Acesso em: 07 mar. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto e execução de obras de concreto armado. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2014. 238 p.

_____. **NBR 7480**: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2007. 13 p.

_____. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2015. 3 p.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2015. 23 p.

_____. **NBR 15575**: Desempenho de edificações habitacionais. 4 ed. Rio de Janeiro: ABNT Editora, 2013.

BARROS, Regiane Prado de; SILVA, Larissa de Souza; SANCHES, Thamyres Gomes. **Pórticos isostáticos aplicados na engenharia civil**. In: VII Seminário de Extensão. Universidade de Taubaté, Taubaté, 2012. Disponível em: <http://www.unitau.br/enic/trabalhos/EPE0287.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2021.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do Concreto Armado**. 2019. 89 f. Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2019. Disponível em: <https://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto1/Fundamentos%20CA.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2021.

DEGUSSA. **Manual de Reparo, Proteção e reforço de estruturas de Concreto**. São Paulo, 2003.

GIONGO, José Samuel. **Concreto armado**: Introdução e propriedades dos materiais. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

HELENE, Paulo R. L. **Manutenção para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto**. Pini: São Paulo, 1992. 2 ed.

_____. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1988.

MEIRA, Gibson Rocha. **Corrosão de armaduras em estruturas de concreto: Fundamentos, diagnóstico e prevenção**. João Pessoa: IFPB, 2017. 130 p.

PARIZOTTO, Liana. **Dimensionamento de vigas e lajes em concreto armado segundo a ABNT NBR 6118:2014 e a NF EM 1992-1-1:2005**: Estudo comparativo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

QUADROS, Peterson Araújo. **Estudo das correlações entre as propriedades mecânicas do concreto**. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-A4NHBS/1/275.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2021.

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de Construção Civil**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora Ufmg, 2002.

RIBEIRO, Daniel (Coord.). **Corrosão em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise**. Campus: Rio de Janeiro, 2013.

SIKA. **Concrete repair**: site handbook – Hand placed and spray applications. Disponível em: <https://gbr.sika.com/dms/getdocument.get/3a7ec0d4-897f-378d-bff5-b3490ccb6beb/Concrete%20Repair%20Site%20Handbook.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2021.

SILVA, Adriano de Paula e; JONOV, Cristiane Machado Parisi. **Falhas e Patologias dos Materiais de Construção**. Curso de Mestrado em Construção Civil, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2016.

SOUZA, Marta Francisca Suassuna Mendes de; RODRIGUES, Rafael Bezerra. **Sistemas estruturais de edificações e exemplos**. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: http://www.fec.unicamp.br/~nilson/apostilas/sistemas_estruturais_grad.pdf. Acesso em: 07 mar. 2021.

SOUZA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998. 257 p.

VERÇOZA, Enio Jose. **Patologia das Edificações**. Porto Alegre, 1991. 173 p.