

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-graduação em Produção e Gestão do
Ambiente Construído

Elaine Cristina de Resende

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS USUAIS EM
EDIFÍCIOS CONSTRUIDOS EM CONCRETO ARMADO.
UM ESTUDO DE CASO.

Belo Horizonte
2019

Elaine Cristina de Resende

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS USUAIS EM EDIFÍCIOS CONSTRUÍDOS EM CONCRETO ARMADO.UM ESTUDO DE CASO.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização: Produção e Gestão do Ambiente Construído do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Construção Civil

Orientador Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva

Belo Horizonte
2019

R433m Resende, Elaine Cristina de.
Manifestações patológicas usuais em edifícios construídos em concreto armado. Um estudo de caso [recurso eletrônico] / Elaine Cristina de Resende. – 2019.
1 recurso online (65 f. : il., color.) : pdf.
Orientador: Adriano de Paula e Silva.
“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais” .
Bibliografia: f. 62-65.
Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.
1. Construção civil. 2. Patologia de construção. 3. Durabilidade (Engenharia). 4. Concreto armado. I. Silva, Adriano de Paula e. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 69



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: ELAINE CRISTINA DE RESENDE

MATRÍCULA: 2018692679

RESULTADO

Aos 14 dias do mês de agosto de 2019 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:

"MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS USUAIS EM EDIFÍCIOS CONSTRUÍDOS EM CONCRETO ARMADO – UM ESTUDO DE CASO"

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 9,2

CONCEITO: A

BANCA EXAMINADORA:

Nome

Assinatura

Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva

Adriano Paula e Silva

Nome

Assinatura

Prof. Dr. Cristiane Machado Parisi Jonov

Cristiane Machado Parisi Jonov

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA NA ÁREA DE "SUSTENTABILIDADE E GESTÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO"

Belo Horizonte, 14 de agosto de 2019

Antonio Neves de Carvalho Júnior
Coordenador do Curso
Prof. Antonio Neves
de Carvalho Júnior
Coordenador do Curso

AGRADECIMENTOS

Os meus agradecimentos primeiramente a Deus, essa força divina que nos mantém firmes na busca por nossas conquistas. Agradeço aos meus pais Luiz e Maria por toda a dedicação, amor e afeto. Agradeço as minhas irmãs Gelly e Lilian por todo apoio e incentivo.

Aos meus colegas dessa jornada, pelos bons momentos compartilhados, engenheiros e arquitetos incríveis que tive a honra de estabelecer amizade e troca de experiências profissionais, e também pelos momentos de distração, ao nosso especial “toda quinta”. Em especial, ao nosso eterno amigo Leonardo Henrique (na memória) agradeço pela convivência, motivação diária e inúmeras colaborações nos projetos da vida, fica eternizado a amizade, o carinho e uma saudade eterna deixada a todos nós.

Ao professor Adriano pela disponibilidade em compartilhar os seus conhecimentos e a generosidade de orientar a elaboração deste trabalho.

Aos professores do departamento de materiais da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, pela contribuição e ensinamentos em suas aulas durante todo esse curso.

Enfim, agradeço a todos que estiveram presente na minha vida pessoal e profissional, que me serviram de inspiração para busca de novas conquistas.

EPÍGRAFE

“É Graça divina começar bem, graça maior persistir na caminhada certa, mas
graça das graças e não desistir nunca.”

Dom Helder Câmara

RESUMO

Com o crescente número de edifícios executados em concreto armado, despertaram-se a necessidade de realizar estudos que se refere a qualidade e conservação das edificações. Todavia a construção civil ainda não se tornou uma indústria e isto contribui para que o processo seja falho e conseqüentemente interfiram na durabilidade das edificações, comprometendo a segurança destas. Este estudo tem por objetivo apresentar os diagnósticos realizados nas edificações, as mais variadas manifestações patológicas, e as técnicas para a tratativa e recuperação da edificação. Para isso, realizou-se uma revisão bibliográfica sobre o assunto, buscando os mais variados autores e pesquisadores desta área. Para enfatizar a pesquisa apresentou-se um estudo de caso de uma residencial e comercial que sofreu modificações em sua área comercial.

Palavras-chave: Manifestações patológicas. Durabilidade. Construção civil. Concreto armado.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1:Eflorescência no concreto armado	26
Figura 2: Formação de etringita tardia	28
Figura 3: Enfoque holístico de formação de etringita	28
Figura 4:Fissuras devido a reação álcali-agregado	30
Figura 5: Microscopia da reação álcali-agregado	31
Figura 6:Corrosão das armaduras em ambiente úmido	33
Figura 7: Processo de corrosão e formação de fissuras	34
Figura 8:Passivação das armaduras	35
Figura 9: Processo de carbonatação.....	36
Figura 10: Vigas submetida a flexão	39
Figura 11: Fissuras devido a retração térmica	40
Figura 12: Fissurômetro	45
Figura 13: Ensaio com esclerômetro realizado no laboratório.....	46
Figura 14: Ilustração do mezanino da loja 1.....	48
Figura 15 Ilustração das ampliações da loja 2	49
Figura 16: Ilustração do fechamento da parede lateral	50
Figura 17: Ilustração do mezanino da loja 5.....	51
Figura 18:Ilustração do interior da loja 06	52
Figura 19:Ilustração da criação de janelas na loja 9	53
Figura 20: Ilustração da criação de nova porta	54
Figura 21: ilustração da interligação com prédio vizinho	55
Figura 22: Ilustração criação do mezanino.....	56
Figura 23:Infiltração das paredes e laje do teto.....	57
Figura 24: ilustração de apoios metálicos na loja 12.....	58

Figura 25: Ilustração da eflorescência apresentada na loja 12	59
Figura 26: Ilustração do deslocamento de cerâmica	59

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	11
INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA	12
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	12
1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	12
1.1.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	13
1.1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO	13
CAPITULO 2.....	15
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE CONCRETO ARMADO.....	15
2.2 DURABILIDADE E VIDA ÚTIL DO CONCRETO	16
2.3 GENERALIDADES SOBRE PATOLOGIA E DEGRADAÇÃO DO CONCRETO.....	19
2.4. PRINCIPAIS MECANISMO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONCRETO	24
2.4.1 LIXIVIAÇÃO.....	25
2.4.2 ATAQUES POR SULFATOS.....	26
2.4.1 REAÇÃO ÁLCALI- AGREGADO.....	29
2.4.3 PRINCIPAIS MECANISMOS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NAS ARMADURAS	31
2.4.1 CORROSÃO DAS ARMADURAS.....	31
2.4.2 CARBOTAÇÃO	35
2.5 PRINCIPAIS MECANISMOS DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS NO CONCRETO ARMADO.....	37
2.5.0 FISSURAS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DEVIDO A SOBRECARGAS	37
2.5.1 FISSURAS EM ELEMENTOS ESTRUTURAIS DEVIDO A RETRAÇÃO.....	39
2.6.0 DIAGNÓSTICO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	42
2.6.1 ENSAIO COM A MEDIDOR DE FISSURA.....	43
2.6.2 ENSAIO COM A UTILIZAÇÃO DE ULTRASSOM.....	45
2.6.3 ENSAIO DE ESCLERÔMETRO.....	46
CAPÍTULO 3.....	47
O ESTUDO DE CASO	47
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO ESTUDADA	47
3.2 LEVANTAMENTO DAS AMPLIAÇÕES E ALTERAÇÕES DE “LAYOUT” DO EDIFÍCIO.....	47
3.3 LEVANTAMENTO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENCONTRADAS	56
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
BIBLIOGRAFIA	62

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As manifestações patológicas, podem ser definidas como a ciência que estuda os sintomas, mecanismos, causas e origens das interferências encontradas nas estruturas de concreto armado, onde é possível verificar que as manifestações patológicas surgem quando uma sequência de danos e irregularidades ocorrem nas edificações (HELENE, 1988).

Segundo Cánovas (1988), a patologia da construção está relacionada a qualidade das obras, embora estas tenham avançado muito e em constante progressão, as ocorrências de surgimento das manifestações patológicas não diminuiriam.

As manifestações patológicas podem ser facilmente detectadas nas edificações em concreto armado, pois seu surgimento provoca anomalias na superfície da edificação e causa um ruim aspecto no ambiente.

Com a expansão do mercado da construção civil, em busca de um aceleração da produção associado a uma redução dos custos incorridos, passaram a ser adotadas práticas construtivas não aprimoradas, além da contratação de mão de obra com baixa qualificação, considerando também o despreparo dos usuários que expõe a edificação em situações de mal-uso além de uma programação preventiva quanto a realização de manutenções periódicas preventivas.

Fatores como; a falta de planejamento abrangente, melhor concepção do projeto, mão de obra qualificada, pesquisa e análise da aplicação dos materiais empregados, fazem com a vida útil e o desempenho da edificação fiquem limitados e comprometam a sua eficiência, portanto, é necessário diagnosticar as edificações quando apresentam sinais de “doenças” em sua superfície. O surgimento de fissuras, trincas e rachaduras são os primeiros sinais detectados em uma edificação, quando esta não está em seu estado normal.

Inspecionar, avaliar e diagnosticar são as principais metodologias abordadas para a identificação das manifestações nas estruturas. Cánovas, (1988) um dos autores precursores sobre o assunto, apresenta um organograma

a ser seguido para identificar soluções na ocorrência de manifestações patológicas, onde e de extrema importância a aplicação em deste mecanismo no processo de reconhecimento das anomalias encontradas.

1.1 Objetivos da Pesquisa

A pesquisa tem como objetivos apresentar as mais variadas ocorrências de manifestações patológicas existentes nas edificações em concreto armado.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo é levantar as mais variadas manifestações patológicas ocorrentes em edificações em concreto armado, fato recorrente nas mais diversificadas obras, incluindo as recém entregues. As patologias se derivam de uma série de causas, dentre a execução de obras empregando materiais de má qualidade, falta de acompanhamento técnico na execução dos serviços, uso da edificação de forma ineficiente, a partir dessa análise, o intuito dessa pesquisa é identificar as causas mais prováveis das ocorrências de manifestações patológicas, explicitar os tipos mais comuns dessas ocorrências em concreto armado, suas causas e eventuais consequências nas edificações.

1.1.2 Objetivo específico

Esta pesquisa também tem como objetivo analisar um estudo de caso prático, realizado em uma edificação em concreto armado que manifestações patológicas em seu interior devido a interferências realizadas em seu “layout”.

O procedimento utilizado para o estudo prático foi através da análise do relatório previamente escrito por um profissional da engenharia, contendo as características da edificação, as comparações entre o projeto primário e a situações do local, detectando as alterações posteriormente realizadas no “layout”, e finalizando com os levantamentos das manifestações patológicas encontradas, estas ilustradas através de fotografias, para melhor compreensão do estudo.

1.1.3 Limitações do Trabalho

Esta pesquisa aborda uma temática em que possui muitas variações sobre o assunto, o enfoque ao concreto armado delimitou-se a especificar apenas manifestações sujeitas a este.

Por se tratar de um estudo de caso sob uma verificação já concluída, constatou-se a necessidade de mais detalhamentos dos processos de levantamentos das patologias encontradas.

1.1.1 Estrutura do Trabalho

Este trabalho inicialmente apresenta conceitos teóricos de manifestações patológicas ocorrentes em edificações concebidas em concreto. A presente monografia também apresenta também um estudo prático realizado em uma edificação residencial mista, que compreende em apartamentos residenciais e lojas comerciais, situado na cidade de Belo Horizonte - MG.

A pesquisa está dividida da seguinte forma:

O capítulo 01 apresenta uma breve introdução sobre o tema, apresentando os objetivos principais da pesquisa, justificativas e as limitações encontradas.

No capítulo 02 uma breve revisão bibliográfica sobre os conceitos teóricos baseados nesta temática, onde realiza-se a busca por diversificadas pesquisas, que ao longo dos anos vêm tomando grandes proporções à medida que as ocorrências estão cada vez mais presentes no cenário da engenharia, e finalmente por analisar pontos de vista sobre a ótica de pesquisadores no Brasil e em outros países.

O capítulo 03 apresenta procedimentos experimentais realizados no diagnóstico de manifestações, além de possíveis recursos de recuperação e reparos de uma edificação.

Capítulo 04 apresenta o estudo de caso, realizado em uma edificação de uso misto onde o procedimento utilizado para o estudo prático foi através da análise do relatório previamente escrito por um profissional da engenharia, contendo as características da edificação, as comparações entre o projeto

primário e a situações local, detectando as alterações posteriormente realizadas no “layout”, e finalizando com os levantamentos das manifestações patológicas encontradas, estas ilustradas através de fotografias, para melhor compreensão do estudo.

E finalizando a pesquisa no capítulo 05 são apresentados os resultados e conclusões, extraído as informações pertinentes a esse assunto e sugestões de futuras pesquisas.

CAPÍTULO 2.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Considerações iniciais sobre concreto armado

O concreto armado constitui-se da junção entre o concreto e o aço. O concreto, composto por uma mistura previamente dosada de cimento, areia, água, agregados (grauído e miúdo) afim de atender as solicitações onde será empregado tendo como sua principal característica resistência à compressão. O sistema de barras de aço empregado ao concreto é composto justamente por ser um material de alta resistência a tração, isto faz com que o conjunto das ações mencionadas se tornem eficazes, apresentando assim uma estrutura resistente e capaz de alcançar diferentes formatos.

Segundo Bastos (2006; p.12) o termo concreto armado é, portanto, a união do concreto simples de um material resistente à tração (envolvido pelo concreto) de tal modo que ambos resistam solidariamente aos esforços solicitantes.

A norma técnica NBR 6118 (ABNT:2014, p.14) define concreto armado como uma composição onde o comportamento estrutural depende da aderência entre concreto e armadura, nos quais não se aplicam alongamentos iniciais das armaduras antes da materialização dessa aderência.

Segundo Andrade e Isaia (2005, p.45) afirma que o uso do concreto iniciou o século XX e foi intensificado a partir da década de 50 fruto do êxodo rural de pessoas migrando para as capitais em busca de melhores oportunidades.

No Brasil, a utilização do concreto armado predomina as técnicas construtivas do país, onde este mecanismo é empregado em obras de variados perfis e grande relevância para o desenvolvimento socioeconômico do país.

Conforme Santos (2008, p.32) o concreto foi um dos fatores da nacionalização da engenharia, dando margem a existência de uma “escola brasileira do concreto armado”, responsável pela formação de diversos calculistas de renome. Sem o concreto não seria possível a arquitetura e,

tampouco, o importante acervo modernista, edificado a partir dos anos 1930 e que teve seu auge nos anos 1960 com a construção de Brasília. (SANTOS, 2008).

O aumento da densidade populacional obrigou as principais cidades a se verticalizarem, demandando assim, maior necessidade de edificações com elevados números de pavimentos, esta situação conseqüentemente impactou também na necessidade da realização de obras de infraestrutura urbana, acompanhando o progressivo desenvolvimento das cidades.

Esse desenvolvimento, exigiu-se novas tecnologias aplicadas ao concreto armado, pois a grande demanda desse material exigiu-se mais qualidade e diferentes propriedades como; alta resistência e também uma consistência ideal para cada local a ser aplicado.

A utilização do concreto usinado tornou-se de uso constante em obras, e fez com que o processo de concretagem, uma das mais importantes etapas de a construção, tornasse mais rápido e eficiente, contudo a construção civil ainda mantém em seu processo de execução produção artesanal o que a deixa vulnerável quando se trata de qualidade e produção.

Como todo procedimento construtivo, a utilização do concreto armado possui vantagens e desvantagens. Dentre as vantagens, pode-se mencionar o relativo baixo custo, a boa durabilidade, a rapidez de construção, a impermeabilidade e a segurança contra o fogo. Dentre as desvantagens, pode-se mencionar o elevado peso próprio, a dificuldade de execução de adaptações, baixo grau de proteção térmica além da possibilidade de manifestações patológicas em sua superfície.

2.2 Durabilidade e Vida Útil do Concreto

Durabilidade é algo que comumente se espera de uma estrutura em concreto armado, pois quando se propõe a construir uma edificação, o que se almeja é uma estrutura durável e resistente.

Helene (2001,p.123) define durabilidade como sendo o resultado da interação entre a estrutura de concreto, o ambiente, além das condições de uso,

operação e também manutenção, portanto, não é uma propriedade inerente ou intrínseca à estrutura, à armadura ou ao concreto. Uma mesma estrutura pode ter diferentes comportamentos, ou seja, diferentes funções de durabilidade no tempo, segundo suas diversas partes, até dependente da forma de utilizá-la.

A durabilidade das estruturas de concreto depende de diferentes fatores dentre eles, podem estar ligados à fase de projeto, produção e caracterização dos insumos, preparação do concreto, execução da estrutura e manutenções preventivas e corretivas, como também podem sofrer o impacto da ação do meio ambiente, além do nível de agressividade na região onde a edificação será construída, isto determinará as características do concreto e da estrutura, tais como a relação água e cimento, a espessura do cobrimento da armadura, a resistência à compressão do concreto e a abertura máxima de fissura (FIGUEIREDO,2014,p.88).

Conforme Isaia e Helene (1995, p.54) a durabilidade de uma estrutura de concreto tem sido considerada determinante por intermédio de fatores como cobrimento mínimo, relação água/aglomerante máxima, limitação de abertura de fissuras, tipo de cimento empregado e o tipo de aditivo, estes valores são tomados a partir de pesquisas de laboratório ou de campo e também de lições oriundas da experiência prática. Os resultados obtidos através destes procedimentos levam, em geral, a um grau satisfatório de durabilidade, mas com variações significativas (positivas ou negativas) devido à grande influência das condições reais do meio ambiente ao qual está envolvido. (ISAIA e HELENE 1995,p.54).

Segundo Helene (2011, p.37) o conhecimento da durabilidade e dos métodos de previsão da vida útil das estruturas de concreto são fundamentais para:

Auxiliar na previsão do comportamento do concreto em longo prazo - o conceito de vida útil é introduzido no projeto estrutural de forma análoga ao de introdução da segurança;

Prevenir manifestações patológicas precoces nas estruturas- esse conhecimento é fundamental para reduzir riscos de fissuras, corrosão, expansões e outros problemas nas estruturas.

Contribuir para a economia, sustentabilidade e durabilidade das estruturas de concreto sempre lembrando que fazer uma

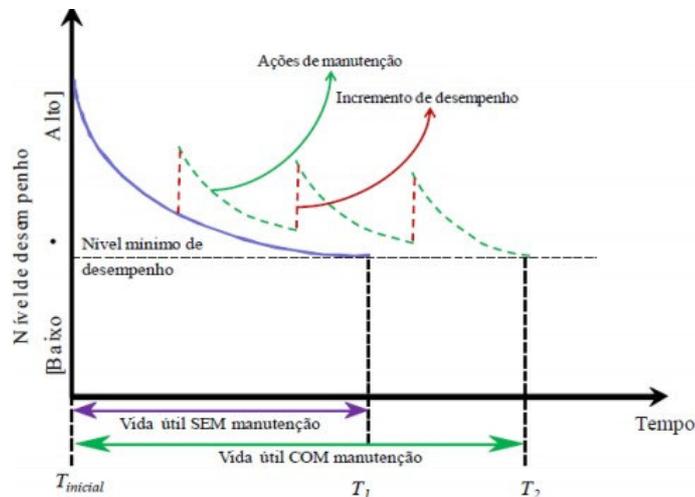
boa engenharia significa manejar bem custos, técnica, recursos humanos e respeito ao meio ambiente.

A NBR 15575 (ABNT:2013) é o principal documento que regulamenta a durabilidade e vida útil das construções, a norma estabelece que as edificações tenham vida útil num período de 50 anos. Para atingir essa longevidade, é necessário obviamente que as edificações passem por manutenções prévias e que possuam um plano periódico a ser seguido.

Na figura 01 pode-se verificar a influência das ações de manutenção em uma edificação, as quais são necessárias para garantir ou prolongar a vida útil de projeto.

A Norma de desempenho chama atenção para o fato de que “é necessário salientar a importância da realização integral das ações de manutenção pelo usuário”, destacando que se este não realizar a manutenção indicada corre-se o risco de a vida útil de projeto não ser atingida.

Figura1: Relação de desempenho e vida útil¹



Fonte: Adaptação, (Helene,2011 pg.08)

¹ Fonte: Helene. Durabilidade e vida útil.2011

Para a NBR 6118(ABNT/2014, p.13) vida útil de projeto é:

“Período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, conforme itens 7.8 e 25.4, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais”.

Quanto ao ciclo da construção, o conceito de vida útil conduz a um tratamento integralizado das seguintes fases;

- a) Planejamento;
- b) Projeto;
- c) Materiais;
- d) Execução;
- e) Utilização (operação e manutenção)

2.3 Generalidades sobre Patologia e Degradação do Concreto

Os estudos das manifestações patológicas são compreendidos segundo Helene (1949, p.23) como a parte da engenharia que estuda os sintomas, mecanismos, causas e origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema, que ocorrem a partir de um processo ou um mecanismo.

A Patologia está intimamente ligada a qualidade embora esta última tenha avançado muito e continue progredindo cada vez mais, os problemas construtivos não diminuíram na mesma proporção. (CÁNOVAS, 1988, 32).

Segundo Souza e Ripper (1998, p.37) enfatizam que a busca de soluções e o estabelecimento dos métodos a serem adotados para recuperar ou reforçar uma estrutura de concreto só poderão ser bem-sucedidos, se forem cuidadosamente estudadas e analisadas, em conjunto, com as condições físicas, químicas, ambientais e mecânicas às quais a estrutura está submetida, com as causas da sua deterioração que podem ser múltiplas e com os seus efeitos (sintomas patológicos).

Nos últimos 20 anos, tanto no Brasil como em muitos outros países a sociedade e a engenharia tem percebido que as estruturas de concreto não são eternas, como um dia se acreditou. A interação com o meio ambiente ao longo da extensa etapa de uso e operação das edificações ocasiona sua deterioração, fato que vem preocupando o meio técnico tanto no âmbito internacional como no nacional. PEÑA e HELENE (2005, p.45)

Nos últimos anos foi possível acompanhar o crescimento na economia em muitos países, contribuindo assim para a aceleração em diversas áreas das ciências, tratando-se da engenharia, em especial da construção civil no qual habitações são construídas cada vez como dimensões maiores e de maneira mais rápida.

Este prognóstico no setor da construção civil gera uma alta demanda de funcionários da área, levando muitas contratações de mão de obra desqualificada, tal situação pode trazer um grande prejuízo se tratando da qualidade da construção em uma edificação, podendo inclusive ser fator de grande contribuição para o surgimento de manifestações patológicas (THOMAZ, 1989, p.123).

2.3 Classificação: Causas e Origens das Patologias

As origens das manifestações patológicas estão correlacionadas ao processo construtivo, mas é importante salientar a complexidade da execução de uma edificação, portanto outros fatores também irão influenciar nos surgimentos destas deformidades.

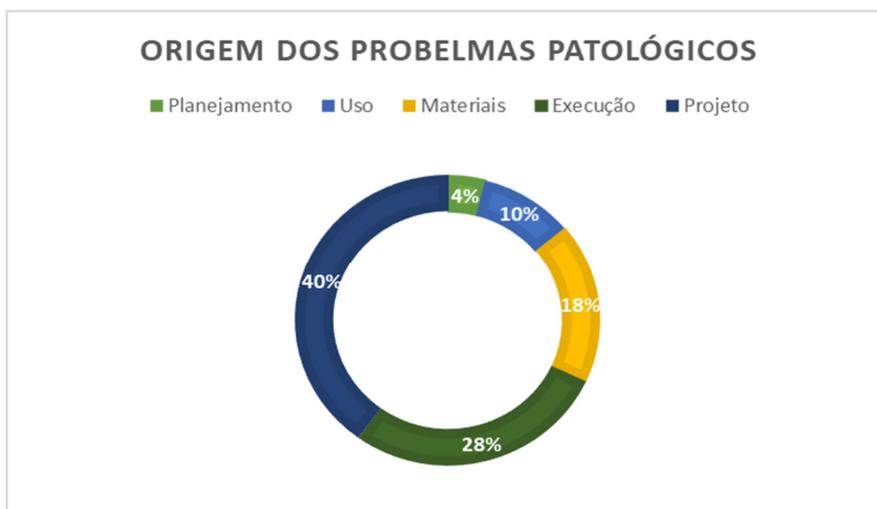
Segundo Helene (1992, p.64) o processo de construção pode ser dividido em cinco grandes etapas: planejamento, projeto, fabricação de materiais e componentes, execução e uso, e a última etapa, mais longa, que envolve a operação e manutenção. As quatro primeiras etapas são relativamente curtas se comparadas com a última etapa, a de uso, que se estende por longos períodos.

Souza e Ripper (1998, p.98) afirma que as etapas básicas que compõem o processo de construção são apenas três: projeto, execução e uso. Para eles também, existe certa dificuldade em apontar qual etapa é a maior responsável por originar as manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado.

O envolvimento de profissionais que nem sempre são qualificados o suficiente, contribuem para que a execução do concreto armado seja ineficiente. Para um produto final de qualidade e desempenho é necessário que a sua execução seja altamente padronizada, seguindo normas e sob orientação técnica.

Através de estudos publicados sobre este assunto, pesquisadores obtiveram dados conflitantes sobre o assunto, conforme o gráfico2, baseado na obra de Helene & Figueiredo (2003,p.71),onde é possível observar que: as manifestações patológicas possuem origem na maior parte das vezes nas fases de projeto, entretanto não se deve desprezar uma análise prévia onde será estabelecido a edificação, afim de antecipar das interferências que poderão surgir após a concepção do projeto.

Gráfico 2: Origem das manifestações patológicas



Fonte: Adaptado Valente, Helene e Figueiredo ,2003. ³

³Fonte: Adaptado Valente,A.P. Helene e Figueiredo,2003.

Os projetos de arquitetura devem ser pensados de modo que, detalhes diversos como: respingadores, brises, placas de composição das fachadas sejam devidamente analisados a fim de evitar problemas futuros.

Através da dissertação de Valente (2008,p.25) é possível analisar um estudo realizado por Cánovas (1988,p.289), que aponta os principais causadores de patologias em estruturas de concreto armado.

Tabela 1:Origem das manifestações; tipos de problemas.

Tipos de Problemas	%
Erros de concepção	3,5
Erros nas hipóteses de cálculo, erros materiais e ausência de estudos	8,5
Disposições defeituosas em certos elementos ou na transmissão de esforços	2,5
Falhas resultantes de deformações excessivas	19,7
Falhas resultantes dos efeitos de variações dimensionais (térmica)	43,7
Defeitos de execução	16,5
Fenômenos químicos	4,0
Causas diversas	1,6

Fonte: Adaptado, Cánovas.(1989,p.289)⁴

Outros estudos mostram ainda que certos tipos de problemas são mais comuns em alguns países, onde existe uma variação climática diferente, e que conseguem evoluir satisfatoriamente em algumas áreas do conhecimento sobre as estruturas de concreto armado.

A tabela 2 apresenta dados obtidos na pesquisa de Andrade & Costa e Silva, (2005) referente a pesquisa desenvolvida em países europeus, onde ressalta uma maior ocorrência percentual de problemas relacionados à etapa do projeto.

Fonte⁴: Cánovas. Manuel Fernández. Patologia e terapia do concreto armado. Pini, 1988. p.189

Tabela 2: Origem das patologias

Defeitos	Alemanha	Bélgica	Dinamarca	Romênia
Projeto	40,1 %	49,0%	36,6%	34,0%
Materiais	29,3%	22,0%	22,2%	24,2%
Execução	14,5%	15,0%	25,0%	21,6%
Uso	9,0%	9,0%	8,7%	12,2%
Outros	7,1%	5,0%	7,5%	8,0%

Fonte: (Adaptado, Andrade & Costa E Silva, 2005, p. 18)⁵

As informações apresentadas reafirmam que as quatro etapas (projeto, materiais, execução e uso) são fundamentais para o bom desempenho das edificações ao longo de sua vida útil e que a variação das informações obtidas em cada país reforça sobre especificidade de cada região. Variações como clima, agressividade do ambiente, além do processo de planejamento e construção.

A exposição do concreto em ambientes agressivos pode promover situações de eventualidade capazes de alterar seu estado como; a ocorrência de chuvas ácidas que, conforme a definição de Silva (2009, p. 18) é um fenômeno provocado pela emissão de gases poluentes na atmosfera que reagem com a água, tornando-a ácida. Comumente ocorre em áreas industriais e nos grandes centros e faz com que o sistema poroso do concreto seja destruído, alterando as propriedades da pasta já endurecida.

Andrade (2003) afirma que o contato entre ácido e concreto promove perdas em camadas sucessivas da superfície exposta, quanto mais quantidades, mais será proporcionalmente ocorrerá sua degradação.

⁵ Fonte: Andrade & Costa e Silva, 2005, p. 18

Os concretos fabricados de cimento Portland não apresentam boa resistência aos ácidos. Em sua tese, Brandão (1998) relaciona os ácidos que atacam significativamente o concreto, dentre eles são: ácidos sulfúrico, nítrico, clorídrico, sulfúrico, tartárico, fluorídrico, oxálico e fosfórico.

Os fluidos agressivos podem penetrar nos poros do concreto de três formas: difusão, resultado da diferença de concentrações iônicas entre os fluidos externos e internos; por pressão hidrostática, resultado da diferença de pressão; por forças capilares, resultado de mecanismos capilares (FERREIRA, 2000).

As reações químicas se manifestam através de efeitos físicos nocivos, tais como o aumento da porosidade e permeabilidade, diminuição da resistência, fissuração e destacamento (MEHTA et al, 1994, p.78).

2.4. Principais Mecanismo das Manifestações Patológicas no Concreto

O concreto exposto em ambientes agressivos, fica suscetível a uma variação de reações responsáveis pela sua deterioração.

Os agentes agressivos são capazes de alterar a composição do concreto armado, propiciando a vulnerabilidade. Tal situação é prejudicial para o concreto, pois facilita a entrada de agentes agressores alterando sua composição e assim perdendo sua resistência.

A NBR 6118 (ABNT:2014, p.23), relaciona os principais mecanismos de deterioração:

- a) lixiviação: por ação de águas puras, carbônicas agressivas ou ácidas que dissolvem e carregam os compostos hidratados da pasta de cimento;
- b) expansão por ação de águas e solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado;
- c) expansão por ação das reações entre os álcalis do cimento e certos agregados reativos;
- d) reações deletérias superficiais de certos agregados decorrentes de transformações de produtos ferruginosos presentes na sua constituição mineralógica.

As reações químicas se manifestam através de efeitos físicos nocivos, tais como o aumento da porosidade e permeabilidade, diminuição da resistência, fissuração e destacamento. Atenção especial deve ser dada ao ataque de sulfatos, ataque por álcali-agregado e corrosão das armaduras, uma vez que estes fenômenos são responsáveis pela deterioração de um grande número de estruturas de concreto (MEHTA et al, 1994).

2.4.1 Lixiviação

A Lixiviação é um mecanismo de deterioração, capaz de alterar a composição química do concreto, ocorre através da alteração nos compostos da pasta endurecida, através desse processo obtém-se a eflorescência, sintoma da ocorrência de lixiviação que consiste, segundo Andrade et. al. (2005 apud Cunha; Silva) na dissolução dos compostos da pasta de cimento por águas puras, carbônicas ou ácidas.

Quanto maior a permeabilidade do concreto, maior será a possibilidade do processo. Com a passagem da água pelos canais, o hidróxido de cálcio produzido pelas reações na hidratação do cimento, é dissolvido e levado até a superfície.

Segundo Mehta e Monteiro (2014,p.87) a lixiviação consequente da ocorrência de eflorescência no concreto, apresenta manchas brancas na estrutura. Essa mancha branca é o carbonato de cálcio (CaCO_3) resultante da reação entre o Ca(OH)_2 e o CO_2 presente na atmosfera.

Figura 1: Eflorescência no concreto armado



Fonte: Arquivo pessoal (2019)⁶

Em pequenas quantidades, a lixiviação não causa fortes danos a estrutura, porém quando em estágios avançados, a remoção de grandes quantidades de sólidos pode abrir caminho para a penetração de gases e substâncias nocivas. Desta forma cloretos, sulfatos e até o próprio CO₂, que pode causar a corrosão da armadura, podem comprometer a durabilidade e a resistência da estrutura.

Para evitar a lixiviação e conseqüentemente a eflorescência, recomenda-se a utilização de cimentos com adições pozolanas, pois os mesmos produzem menos hidróxido de cálcio. Aditivos plastificantes para reduzir a quantidade de água a ser utilizada na mistura e assim obter uma pasta de concreto menos permeável.

2.4.2 Ataques Por Sulfatos

⁶ Arquivo pessoal. Visita técnica.2019

Os sulfatos podem ter origem nos materiais que compõe o concreto ou no contato do concreto com os solos ou ainda águas ricas com este agente. O ataque produzido por sulfatos é devido a sua ação expansiva, que pode gerar tensões capazes de fissurá-lo. Os sulfatos podem estar na água de amassamento, nos agregados ou no próprio cimento e podem penetrar desde o exterior por difusão iônica ou por sucção capilar (SILVA, 1998).

O sulfato está presente em grandes variações de solos na forma de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). As fundações de concreto armado estão mais propensas a penetração de sulfatos em seu interior devido o contato direto com o solo, através do processo de capilaridade, a água que penetra nessas estruturas são as responsáveis pela contaminação.

O ataque dos sulfatos ao concreto também pode ocorrer através do processo de formação da etringita tardia. Com a presença de hidróxido de cálcio, em contato com sulfatos, estes se convertem em etringita ($\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CS} \cdot \text{H}_{32}$) que por sua vez é altamente sulfatada. A etringita tardia ocorre quando a pasta endurecida não submeteu por completo ao processo de hidratação e posteriormente quando exposta a alta temperatura reage com seus compostos e assim provoca expansão no concreto.

O processo de reação da etringita tardia promove a formação de cristais em seu interior, capazes de promover o aparecimento de microfissuras em sua superfície.

Segundo Helene (2003,p.78) concretos de baixa permeabilidade, com baixa relação água/cimento, bem adensados e bem curados, são pouco suscetíveis de serem atacados por sulfato ao longo de toda a pasta de cimento.

Estruturas de concreto submetidas totalmente à ação da água com sulfato (como fundações e estacas) serão menos prejudicadas do que estruturas sujeitas à evaporação da água por pelo menos uma das faces (como muros de arrimo ou galerias).

Figura 2: Formação de etringita tardia



Fonte: <https://www.ebah.com.br/durabilidadedoconcreto> ,acessado em 15/06/2019 ⁷

Abaixo temos representado na figura elaborada por Mehta e Monteiro (2008,p.38) a ilustração do processo de formação de etringita tardia, em consequência da alta permeabilidade do concreto, por onde o sulfato tardio é liberado e transportado pelo concreto por meio da água.

Figura 3: Enfoque holístico de formação de etringita



Fonte: Mehta e Monteiro, 1994⁸

⁷: Fonte: <https://www.ebah.com.br/durabilidadedoconcreto> acessado em 15/06/2019.

⁸ Fonte: Mehta e Monteiro. Concreto: estrutura, propriedades e materiais. 1994,p.38

Normalmente a ocorrência deste fenômeno no concreto é potencializada quando o concreto é confeccionado com um cimento que em sua composição é encontrado um alto teor de sulfato, portanto é indispensável conhecer a composição das matérias a serem empregados nas edificações.

2.4.1 Reação Álcali- Agregado

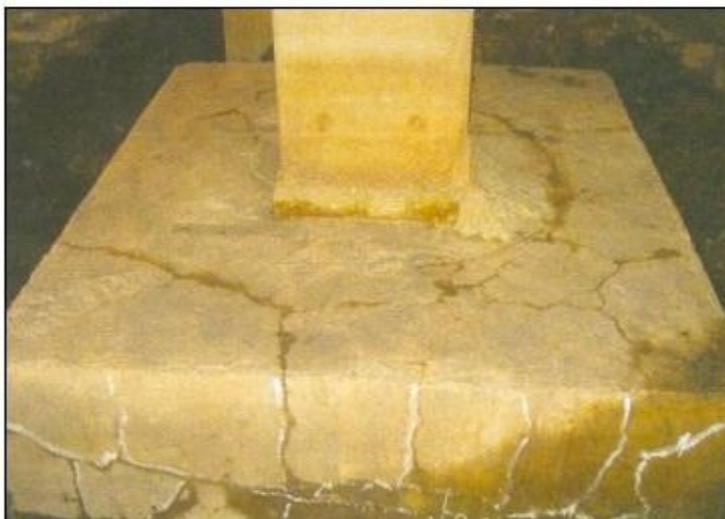
Segundo Silva (2009, p.65) as reações dos álcalis presentes no concreto, juntamente com íons de hidroxila e minerais siliciosos, podem reagir fissurando o concreto isto ocorre devido à expansão provocada, também pela perda de resistência e o módulo de deformação. Esta reação química é conhecida como reação álcali-agregado ou álcali-sílica (RAS).

Podem ser observadas severas fissuras nas estruturas ocasionadas pela expansão dos agregados. Para Andrade (2005, p.128).

“O mecanismo que causa esta reação não é perfeitamente entendido. É conhecido que certos agregados, como algumas formas reativas de sílica, reagem com o potássio, sódio e hidróxido de cálcio do cimento, e formam um gel em volta dos agregados reativos. Quando o gel é exposto à umidade ele expande-se, criando tensões internas que causam fissuras em torno dos agregados (umidade interna do concreto em torno de 80%)”.

As fissuras apresentam formas de mosaico conforme ilustrada na figura 4 onde um bloco de concreto armado que sofreu esta reação e está desencadeando fissuras são bastante peculiares a este tipo de anomalia. (HELENE, 2008).

Figura 4: Fissuras devido a reação álcali-agregado



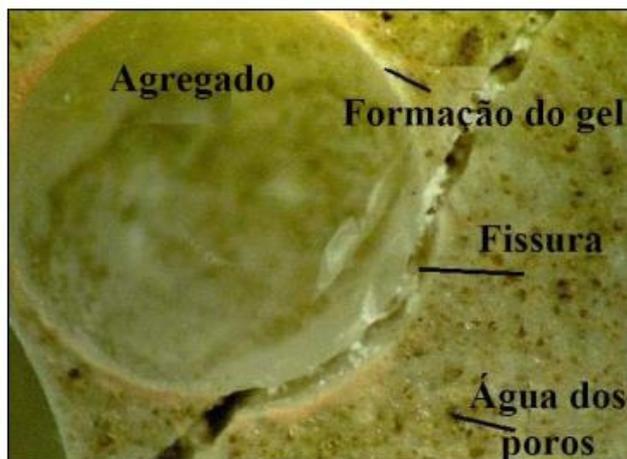
Fonte: Aguiar, 2006,p.43.⁹

A variação de temperatura pode causar variações dimensionais no concreto, de modo que, se a estrutura for impedida de se movimentar, essa variação térmica gerará trincas devido às tensões elevadas. Segundo Marcelli (2007, p.48) as peças esbeltas e longas, como vigas contínuas de vários tramos ou em grandes panos de lajes, são as que mais sofrem com a variação de temperatura, principalmente quando existem vínculos que impedem uma livre movimentação da peça de concreto.

Através da pesquisa realizada por Aguiar (2006,p.45) onde apresenta a reação do álcali-agregado pode se observar a formação do gel na estrutura o concreto sob reação álcali-agregado exibe em sua superfície um mapa de fissuras, que permite a entrada de mais umidade, acelerando ainda mais a reação, conforme mostrado na Figura 5.

⁹ Aguiar.E. Dissertação de mestrado. UFMG/2006,p.45.

Figura 5: Microscopia da reação álcali-agregado



Fonte: Aguiar, (2006,p.44) ¹⁰

Conforme Côrrea (2010, p.25) esta reação pode passar despercebida durante um período de tempo, possivelmente anos, antes que possa estar evidenciada. Para se confirmar a reação álcali-agregado é necessário exame com microscopia eletrônica.

2.4.3 Principais Mecanismos das Manifestações Patológicas nas Armaduras

A deterioração que se faz presente nas armaduras, são provenientes de estruturas de concreto armado em ambientes provenientes de agentes agressivos. Os casos mais comuns de patologias nesta condição e a corrosão das armaduras.

2.4.1 Corrosão das Armaduras

¹⁰ Aguiar. Dissertação de mestrado. UFMG/2006,p.44.

A corrosão das armaduras origina-se por uma ação química ou eletroquímica, resultando numa modificação do aço de forma contínua, até que todo o aço se transforme em ferrugem.

Segundo Souza e Ripper (1998, p.38) a corrosão das armaduras é caracterizada como, deterioração da camada passivante localizada ao redor da superfície das barras, sendo esta película formada pelo impedimento da dissolução do ferro, devido à alta alcalinidade da solução aquosa existente no concreto.

Devido à falta de uniformidade do aço a corrosão eletroquímica formada na armadura do concreto, pode estabelecer-se em diferentes aços, soldas, e também através do contato com metais de menor potencial eletroquímico, assim como da heterogeneidade do meio físico e químico que rodeia o aço (FERREIRA, 2000).

As armaduras quando desprotegidas, ficam suscetíveis ao ataque de agentes externos. Estes, causam reações capazes de alterarem a composição desses materiais. Diante dessa alteração, o inchamento das armaduras são os principais responsáveis pelo surgimento das trincas

A Figura 06 apresenta uma aparente desagregação do concreto, com deslocamento da camada de cobertura. Apresenta ainda armaduras expostas. Segundo Helene (1988,p.66), a manifestação patológica ilustrada consiste em corrosão generalizada, tendo como principais causas o cobertura insuficiente.

Figura 6: Corrosão das armaduras em ambiente úmido



Fonte: Arquivo pessoal. ¹¹

Para Silva (2011, p 96) as ações mais agressivas ocorrem em ambientes onde o concreto sofre ciclos de molhagem e secagem, pois há ingresso tanto de água e sais, como de substâncias em estado gasoso. Este cenário pode ser observado em zonas marinhas.

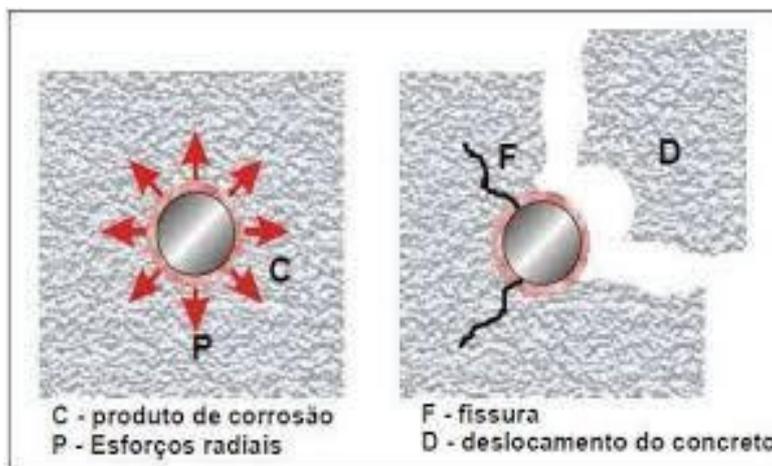
Nas áreas afetadas, observa-se uma maior concentração de cloretos e sulfatos que contribuem para a aceleração do processo de corrosão das armações. Outro ambiente muito propício para a esta ocorrência são as zonas industriais, estas são contaminadas por gases e cinzas que podem acelerar bastante o sistema corrosivo.

Segundo Aguiar (2006, p.34) é necessário não só considerar se um dado metal está em corrosão ou não, como também considerar velocidade desse processo, já que corrosão pode evoluir tão lentamente que seu efeito seja desprezível. No processo corrosivo influem além da natureza do eletrólito, o conteúdo de oxigênio e a resistividade do meio.

¹¹ Fonte: Arquivo Pessoal. Visita técnica.(2019)

Através da figura 08, pode-se observar o processo de corrosão das armaduras, resultante desse processo a formação de fissuras no concreto.

Figura 7: Processo de corrosão e formação de fissuras



Fonte: Andrade, 1992,p28.¹²

Segundo Pereira et al (2014, p12) as reações que ocorrem nos processos de corrosão eletroquímica são reações de oxidação e redução. As reações na área anódica (ânodo da pilha de corrosão) são reações de oxidação. A reação mais importante e responsável pelo desgaste do material é a de passagem do metal da forma reduzida para a iônica. $M \rightarrow M^{n+} + n e^-$ (responsável pelo desgaste do metal).

Mehta e Monteiro (2014, p.56) afirmam que a transformação do ferro metálico em produto de corrosão é acompanhada por um aumento de volume que, dependendo do estado de oxidação, pode ser da ordem de 600% em relação ao metal original. Esse aumento de volume é umas das principais causas da expansão e fissuração do concreto.

Para que ocorra o processo corrosivo é necessária a presença simultânea de oxigênio e umidade. A presença destes dois componentes acelera fortemente o processo, e a ausência deles detém o processo completamente.

¹² Andrade. Avaliação e características do concreto. IBRACON.2003

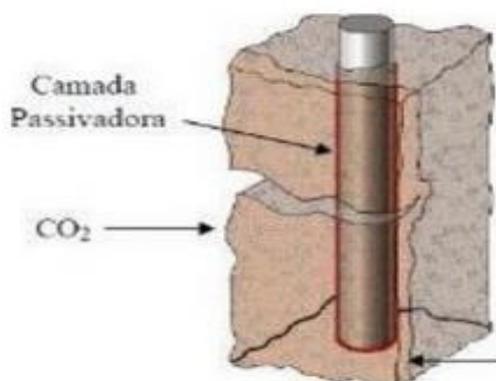
Em sua dissertação, Aguiar (2006) descreveu que, através da alteração do concreto, devido as substâncias que penetram em sua camada, a película passivante (camada fina entre concreto e a armadura) se rompe, facilitando assim a penetração dos agentes agressores externos.

Segundo Helene, et al (2008) p. 257

“Alcalinidade do concreto deriva das reações de hidratação dos silicatos de cálcio (C3 S e C2S) que liberam certa porcentagem de Ca(OH)_2 , podendo atingir cerca de 25% (~100 kg/m³ de concreto) da massa total de compostos hidratados presentes na pasta. Essa base forte (Ca(OH)_2) dissolve-se em água e preenche os poros e capilares do concreto, conferindo-lhe um caráter alcalino. O hidróxido de cálcio tem um pH da ordem de 12,6 (à temperatura ambiente) que proporciona uma passivação do aço.”

Ainda, conforme Helene (2007) o potencial de corrosão do ferro no concreto pode variar de +0,1 a -0,4 segundo a permeabilidade e as características do concreto para a temperatura de 25 °C.

Através da figura 08 é possível analisar o processo de passivação das armaduras. Figura 8: Passivação das armaduras



Fonte: [http:// www.faw.com.br/artigos-tecnic](http://www.faw.com.br/artigos-tecnic) Acessado em 17/06/2019¹³

2.4.2 Carbotação

Segundo Cunha e Helene (2001,p.56) a carbonatação é um fenômeno que ocorre devido as reações químicas entre o gás carbônico presentes na atmosfera, que ao penetrar nos poros do concreto, entram em

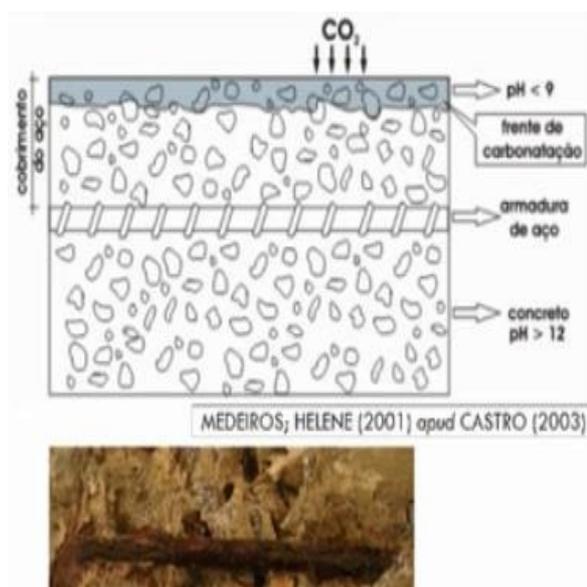
¹³ Fonte: www.faw.com.br/artigos-tecnicos.2018

contato com os compostos de hidróxido de cálcio e constituintes provenientes da hidratação do cimento.

A penetração e a reação de carbonatação ocorrem gradualmente, gerando uma camada carbonatada que aumenta de espessura ao longo do tempo. Esta camada é denominada frente de carbonatação

Para Libório (1998) a carbonatação inicia-se na superfície da peça e avança progressivamente para o interior do concreto, ocasionando a diminuição da alta alcalinidade do concreto, de $\text{pH} > 13$, para valores próximos a 8, conforme representado na figura 9.

Figura 9: Processo de carbonatação



Fonte:Conatcon,2018 ¹⁴.

Libório (1998) argumenta que no fenômeno de carbonatação o que se tem é um gás dissolvido em película úmida reagindo com o álcali em solução (e não um gás reagindo com material sólido), o concreto não tem um pH - o que é medido é o pH da fase líquida em equilíbrio com a massa sólida, desse modo,

¹⁴ Fonte:www.conatcon.com.br. acessado em 17/06/2018.

para que essas reações ocorram é necessária a existência de poro líquido, ou seja, há necessidade de um líquido onde o CO₂, possa estar dissolvido.

A frente de carbonatação, ao atingir a armadura, destrói o filme protetor, possibilitando o início da corrosão da armadura, que ocorre com expansão de volume e leva ao surgimento de fissuras, descolamento do concreto de cobertura aderente à armadura, e principalmente a redução da área de armadura. A corrosão obriga à necessidade de reparos nas peças, com sérios prejuízos financeiros aos proprietários.

A espessura do revestimento de concreto é o principal fator para a proteção das armaduras, ao se interpor entre o meio corrosivo e agressivo e a armadura, evitando que a frente de carbonatação alcance as armaduras.

2.5 Principais Mecanismos das Manifestações Patológicas no Concreto Armado

A deterioração do concreto ocorre muitas das vezes como resultado de uma combinação de diferentes fatores, externos e internos. Segundo Magalhães (2018) são complexos os processos determinados pelas propriedades físico-química e da forma como está exposto.

O processo de deterioração altera a composição o concreto, interferindo no seu desempenho e vida útil.

A partir dos tópicos seguintes, podemos verificar quais as manifestações patológicas provenientes da deterioração do concreto.

2.5.0 Fissuras em elementos estruturais devido a sobrecargas

Segundo Thomaz (1989, p.204) a atuação de sobrecargas, previstas ou não em projetos pode produzir fissuras nos elementos estruturais e de vedação. Elas ocorrem pelo carregamento excessivo de compressão.

As fissuras provocadas por compressão são as que mais exigem atenção e providências rápidas, pois numa estrutura é o concreto que absorve a maior parcela dos esforços de compressão. Uma fissura, neste caso, pode significar o colapso da estrutura. Ou ainda, a peça já perdeu a sua capacidade de carga original e redistribuiu os esforços para os pilares vizinhos, e estes também ficam comprometidos. (MACHADO, 2007, p.98).

Segundo Cánovas (1988), são patologias que além do próprio risco que trazem para a segurança da estrutura, também acabam por ser uma porta aberta para a ocorrência de corrosões das armaduras, já que acabam por desproteger o aço.

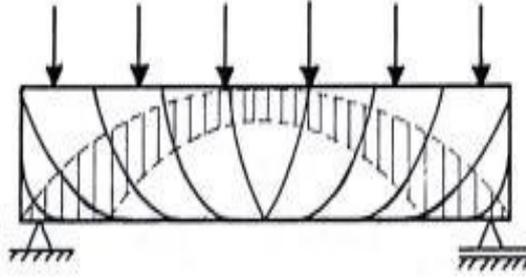
Sussekind (1987;p.48) relata que as fissuras são indesejáveis e antiestéticas. Além de causar um efeito psicológico negativo, essas manifestações patológicas geram gastos para efetuar os reparos necessários.

A Norma Brasileira NBR 6118(NBR/2014, p.223) recomenda que “As flechas medidas à partir do plano que contém os apoios, quando atuarem todas as ações, não ultrapassarão $1/300$ do vão teórico, exceto para o caso de balanços, para os quais não ultrapassarão $1/250$ do comprimento teórico dos balanços”.

Podemos observar dois tipos de fissuras causadas por excesso de cargas nas estruturas.

Segundo Thomaz (1989,p.187) são fissuras que se localizam perpendicularmente aos esforços de tração, sendo praticamente verticais no terço médio do vão e possuem aberturas maiores em direção à face interior no qual a viga está sofrendo maior valor de tração. Em vigas mais altas, essa inclinação com a horizontal tende a ser de 60° .

Figura 10: Vigas submetida a flexão



Fonte: Thomaz. Trincas em edifícios, 1989. ¹⁵

Os pilares também sofrem deformações provenientes de cargas excessivas, comumente as trincas de esmagamento nessas peças surgem no pé do pilar e ou quando que neste caso Segundo Thomaz (1989) os pilares devem ser imediatamente reforçados.

2.5.1 Fissuras em elementos estruturais devido a retração.

Segundo (Santos, 2006, p.89) as fissuras em elementos estruturais devido a retração.

“Todos os materiais de construção, especialmente os sólidos, estão sujeitos a deformações por origem térmica, tratando-se de estruturas em concreto, o problema acontece quando este se dilata em função do calor emitido pela reação de hidratação do cimento em contato com a água e das condições ambientais no entorno.”

A variação de temperatura pode causar variações dimensionais no concreto, de modo que, se a estrutura for impedida de se movimentar, essa variação térmica gerará trincas devido às tensões elevadas.

Segundo Marcelli (2007.p44), as peças esbeltas e longas, como vigas contínuas de vários tramos ou em grandes panos de lajes, são as que mais

¹⁵ Fonte: Thomaz. Trincas em edifícios, 1989.

sofrem com a variação de temperatura, principalmente quando existem vínculos que impedem uma livre movimentação da peça de concreto.

As reações de hidratação do cimento são exotérmicas, geram calor e aumentam a temperatura expandindo a peça estrutural, originando as tensões de compressão, principalmente nos primeiros dias após a concretagem. Os valores dessas tensões serão pequenos, pois o módulo de elasticidade (E) do concreto nas primeiras idades é baixo e a fluência é grande, conseqüentemente a relaxação de tensão ainda é alta (NEVILLE, 1997). Essas fissurações são representadas na figura 11.

Figura 11: Fissuras devido a retração térmica



Fonte: <http://www.ecivilnet.com/> acessado em 15/06/2019¹⁶

A retração provoca uma diminuição do volume de concreto e como as peças estruturais são impedidas de movimentarem-se, visto que estão interligadas entre si e com a fundação, ocorrem tensões de tração no concreto. E locais onde os esforços são superiores à resistência a tração surgirão fissuras na estrutura (OLIVARI, 2003,p.44).

Para minimizar os malefícios causados pela retração é necessário adotar medidas como: favorecer a geometria dos elementos estruturais e seus componentes, além de determinar um traço do concreto que atenda as

¹⁶ Fonte: www.ecivil.com.br. Acessado em 17/06/2019

condições de exposição as quais o concreto ira se submeter, pois não é possível controlar as condições climáticas.

2.6 Métodos Experimentais

O emprego de metodologias de inspeção, diagnóstico são baseados em técnicas, equipamentos e seguidos por normalização vigente.

Segundo Figueiredo, (2005,p.104):

“Diante da complexidade que envolve os mecanismos de deterioração do concreto e da armadura, a engenharia mundial tem buscado formas de melhor entender os fenômenos de degradação e de realizar diagnósticos cada vez mais precisos. ”

Em geral, os problemas patológicos são evolutivos, apresentando uma tendência a se agravar com o passar do tempo. É possível afirmar que quanto mais cedo as correções devidas forem executadas, fáceis e duráveis serão (HELENE, 1992.p.78).

Figueiredo (2005, p.61) justifica que o avanço na área de inspeção e diagnóstico das estruturas, se deu por uma série de novos ensaios, metodologias e equipamentos, muitos deles oriundos de outras áreas do conhecimento, tais como a química, eletroquímica, mecânica e física. Torna-se importante observar que além da contribuição fornecida pelos instrumentos, as inspeções visuais efetuadas pelos especialistas complementam as atividades de controle necessárias para a avaliação da segurança das obras. FIGUEIREDO (2005,p.85)

Para uma melhor compreensão dos efeitos negativos ocorridos em uma edificação é fundamental estabelecer um diagnóstico preciso, informando o tipo de manifestação patológica, o grau de periculosidade e a urgência dos reparos necessários. Para definir o grau de periculosidade e a urgência do problema em uma análise de fissuração em uma edificação, por exemplo, deve-se proceder à sua classificação e determinar se o processo

encontra-se estabilizado ou se as causas ainda atuam sobre a peça (OLIVARI, 2003).

Corrêa (2013, p.63) caracteriza a Inspeção Visual, separando-a em 4 níveis de gravidade, de acordo com o estado da estrutura em análise:

- a) Nível Satisfatório: estruturas sem indícios de problemas estruturais ou de durabilidade, com padrão de construção visualmente satisfatório, porém não isentas do emprego de vistorias para assegurar sua durabilidade e vida útil. Corresponde ao período de vida útil de projeto, em que a estrutura não apresenta manifestações patológicas.
- b) Nível Tolerável: estruturas sem indícios de problemas estruturais, mas com presença de anomalias de pequena monta e de fácil recuperação que, se não forem tratadas, tendem a causar problemas maiores no futuro.
- c) Nível Alerta: estruturas em estado de durabilidade duvidosa, com presença de anomalias reveladas em que seria recomendável uma avaliação pormenorizada, podendo ser programada em médio prazo. Representa a fase em que a estrutura atingiu algum limite de serviço ou possui manifestações patológicas.
- d) Nível Crítico: com evidências nítidas de problemas estruturais e de durabilidade, necessitando de verificação imediata ou em curto prazo. Representa a proximidade com a vida útil última da estrutura, com manifestações patológicas graves e comprometimento estrutural.

2.6.0 Diagnóstico em estruturas de concreto armado

As estruturas em concreto armado devem ser previamente analisadas, afim de antecipar-se dos malefícios aos quais estão expostas. A partir das análises e da criticidade e que se pode criar um planejamento para a recuperação ou a definitiva demolição da edificação.

Para diagnosticar uma patologia e definir as causas do mecanismo de sua formação e da gravidade potencial da manifestação patológica, a partir da análise dos sintomas e na eventual realização de ensaios e estudos específicos.

Baseado em Figueiredo (2005, p.98) os ensaios não-destrutivos são os que primeiramente devem ser realizados, estes têm a finalidade de averiguar e determinar a qualidade de uma estrutura ou elemento de concreto armado que esteja em fase de execução, em serviço ou que tenha sofrido qualquer tipo de alteração. É importante salientar que como o próprio nome indica, esse tipo de ensaio pode ser executado sem prejuízo ou integridade da estrutura em questão.

Para definir o grau de periculosidade e a urgência do problema em uma análise de fissuração em uma edificação, por exemplo, deve-se proceder à sua classificação e determinar se o processo encontra-se estabilizado ou se as causas ainda atuam sobre a peça (OLIVARI, 2003).

2.6.1 Ensaio com a medidor de fissura

Para se medir a abertura das fissuras e fendas, pode-se usar o auxílio de medidores de fissuras. Existe o medidor ótico, que consiste em aparelho. É constituído por dois blocos de referência redondos de aço inoxidável que são instalados em ambos os lados da abertura com um medidor interno digital (paquímetro digital) a lente graduada permite medições com um rigor de 0,01 mm.

O fissurômetro comumente utilizado por ser mais acessível, consiste em uma régua simples de plástico transparente, com diferentes traços de espessuras conhecidas e que por comparação visual permite estimar a abertura das fissuras.

A medição com o fissurômetro é realizada através da fixação da régua junto ao elemento estrutural a ser monitorado, de modo que as setas impressas nos extremos fiquem centradas com os traços atrás referidos e que o

centro do reticulado coincida com a fissura. Posiciona-se o fissurômetro, segundo a direção mais próxima da normal à fissura. Para uma melhor fixação do medidor, pode se utilizar cola, fazendo com que não haja interferências nos resultados medidos e fornecendo um suporte rígido, após o completo endurecimento da cola de fixação, removem-se cuidadosamente os dois autocolantes, ficando o fissurômetro a medir os movimentos da fissura nesse ponto.

A classificação de uma fissura pode ser feita através da espessura da sua ruptura, conforme especificado no Tabela 3.

Tabela 3: Classificação de fissuras

Classificação	Espessura
Fissura capilar	Menor que 0,2 mm
Fissura	0,2 mm a 0,5 mm
Trinca	0,5 mm a 1,5 mm
Rachadura	1,5 mm a 5 mm
Fenda	5 mm a 10 mm
Brecha	Maior que 10mm

Fonte: Adaptado, Olivari,2003, p37¹⁷

A leitura é realizada através da verificação dos componentes de deslocamento, analisando as direções longitudinal e transversal, e uma componente de rotação (em torno dum eixo perpendicular ao plano do instrumento).

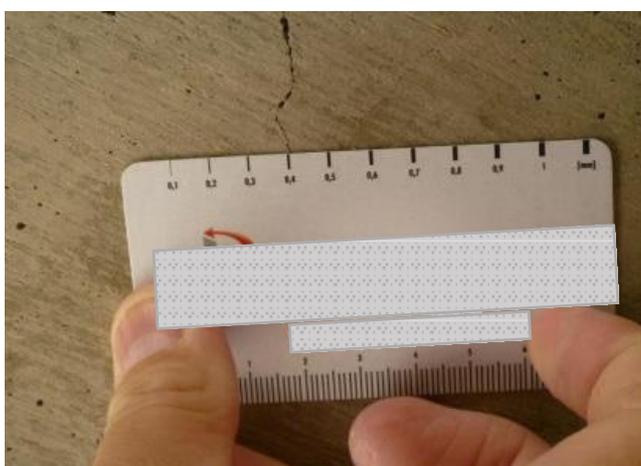
Essas três leituras podem ser realizadas, através de anotações em relatórios simples, e fotografias das aberturas, também importante relacionar a

¹⁷Fonte: OLIVARI, Patologia em edificações. São Paulo,2003

altura de onde está sendo medido, para obter uma melhor e mais precisa comparação, deve manter um registro individual de cada uma das medidas realizadas, para que se tenha ideia da tendência de movimento e assim permitir detectar o agravamento dessas fissuras.

O fissurômetro, ilustrado na figura 12 , como citado , e uma medida simples de comparação, porém muito aplicável e acessível.

Figura 12: Fissurômetro



Fonte: Aguiar, 2018 ¹⁸

2.6.2 Ensaio com a utilização de ultrassom

Outra opção de ensaios não destrutivos para estruturas de concreto que tem sido cada vez mais utilizado é o ensaio de ultrassom.

Com este ensaio é possível verificar as boas condições internas da estrutura de concreto. Descontinuidades na estrutura, presença de brocas, material sem homogeneidade, fissuras e trincas podem ser monitoradas por este tipo de ensaio.

¹⁸ Aguiar. J.E. Notas de aulas. Especialização/UFMG.2018

O ensaio consiste em enviar ondas acústicas ultrassônicas por um emissor que são recebidas por um receptor. A boa homogeneidade da estrutura de concreto é indicada pela velocidade com que a onda passa pela estrutura, quanto mais rápida é a passagem das ondas melhores são as condições internas da estrutura.

2.6.3 Ensaio de esclerômetro

O método de esclerômetro baseia no princípio do ricochete utilizado para medir a dureza superficial do concreto “consiste em medir o retorno de uma força no regime elástico após seu impacto com a superfície do concreto. MALHOTRA & CARINO (2004,p.63).

O equipamento possibilita a avaliação da uniformidade da resistência mecânica do concreto e as características mecânicas por meio de curvas de correlação. Este método correlaciona a dureza da superfície com a compressão axial do concreto. A confiabilidade do método quando se deseja avaliar a resistência à compressão é relacionado ao conhecimento da composição do concreto.

Este é um dos ensaios não destrutivos de maior conhecimento. O ensaio é muito simples e consiste na utilização de um equipamento chamado esclerômetro de reflexão, um tipo de martelo que é impulsionado por uma mola e choca-se contra a superfície do concreto ensaiado conforme ilustrado na figura 13.

Figura 13: Ensaio com esclerômetro realizado no laboratório.



Fonte: Arquivo pessoal, 2019¹⁹

CAPÍTULO 3.

O ESTUDO DE CASO

Com objetivo de apresentar um caso real do surgimento de manifestações patológicas em edificações, este capítulo aborda o estudo realizado em um edifício construído em concreto armado.

3.1 Caracterização da edificação estudada

O edifício, localizado na região nordeste da cidade de Belo Horizonte-MG. O local é dotado de todos os melhoramentos públicos usuais: ruas pavimentadas e com meio fio, energia elétrica e iluminação pública, canalizações pluviais, serviço telefônico, transporte coletivo, sistema de coleta de lixo, distribuição de gás de cozinha. A edificação foi construída na década de 80, a afim de atender demandas comerciais e residenciais.

A parte residencial do edifício conta com 52 (cinquenta e dois) apartamentos e 108 (cento e oito) vagas de estacionamento. A parte comercial e constituída de 14 (quatorze) unidades autônomas (lojas) e 16 (dezesesseis) vagas de estacionamento. O Condomínio possui também áreas de uso comum, de recreação e lazer, salão de festas, depósitos e área de portaria.

3.2 Levantamento das ampliações e alterações de “layout” do edifício

A edificação estudada sofreu algumas mudanças desde seu projeto primário, a fim de atender as necessidades e possíveis ganhos de espaço nas áreas em comum.

A mudança significativa na área residencial foi a realização do fechamento do pergolado, sendo este substituído por laje maciça. Esta alteração

¹⁹ Fonte: Arquivo pessoal. Laboratório do DEMC/UFMG.2019

seu de pela busca de ampliação nas áreas de lazer e consequente mente nas áreas comerciais.

Com o fechamento do pergolado, conforme ilustrado na figura, foi possível obter um espaço maior nas áreas comerciais.

Figura 14: Área de lazer do edifício



Fonte: Relatório estudo de caso, Arquivo pessoal²⁰

Loja 01

Esta área comercial passou pela seguinte mudança;

- Mezanino construído em estrutura metálica e piso em madeira conforme ilustrado na figura 14.Figura 15: Ilustração do mezanino da loja 1

²⁰ Fonte: Relatório de estudo de caso, Arquivo pessoal.



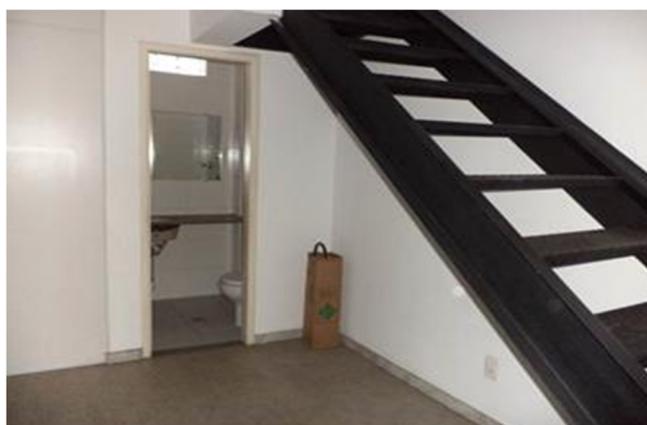
Fonte: Relatório estudo de caso, Arquivo pessoal²¹

Loja 02

Nesta loja comercial foram realizadas as seguintes intervenções;

- Construção de mezanino, executado com estrutura em perfis metálicos e piso em madeira;
- Construção de 1 banheiro nas dependências do mezanino, conforme ilustrado na figura 15;
- Abertura de uma janela no banheiro na parede lateral do edifício.

Figura 16 Ilustração das ampliações da loja 2



Fonte: Relatório estudo de caso, Arquivo pessoal²²

²⁰ Fonte: Relatório de estudo de caso, Arquivo pessoal.

²¹ Fonte: Relatório de estudo de caso, Arquivo pessoal.

²⁰ Fonte: Relatório de estudo de caso, Arquivo pessoal.

Loja 03

Nesta loja comercial foram realizadas as seguintes alterações;

- Ampliação da loja, aproveitando o fechamento da laje no pilotis do edifício;
- Construção do mezanino com o aproveitamento da laje e piso em madeira;
- Fechamento lateral na parede de divisa com peças de vidro, conforme ilustrado na figura 16;
- Construção de 01 banheiro no Mezanino;
- Ligação da Loja 03 com a Loja 04.

Figura 17: Ilustração do fechamento da parede lateral



Fonte: Relatório estudo de caso, Arquivo pessoal²³

Loja 04

Na loja 5 é possível identificar as alterações nas seguintes situações;

- Pavimento térreo com piso laminado;
- Ampliação da loja após o fechamento com laje no Pilotis do edifício;

²³ Fonte: Relatório de estudo de caso, Arquivo pessoal.

- Mezanino – laje e piso laminado;
- Fechamento lateral na parede de divisa com peças de vidro;
- Construção de banheiro no Mezanino;
- Junção das lojas 03 e 04.

Loja 05

Nesta área foram realizadas as seguintes alterações;

- Ampliação da loja após o fechamento com laje no Pilotis do edifício;
- Construção do mezanino – laje conforme ilustrado na figura 17;
- Construção de banheiro no Mezanino.

Figura 18: Ilustração do mezanino da loja 5



Fonte: Relatório estudo de caso, Arquivo pessoal²⁴

Loja 06

Com as alterações do “layout” seguidos de ampliações, a loja 06 obteve as seguintes alterações;

- Instalação de cozinha conforme ilustrado na figura 18;

²⁴ Fonte: Relatório de estudo de caso, Arquivo pessoal.

- Colocação de toldo no terraço;
- Execução de revestimento cerâmico no piso do terraço;
- Colocação de caixa de gordura abaixo das janelas da cozinha;
- Colocação de bancada e pia no Terraço;
- Execução de meia parede e colocação de cilindros de gás.
- Mezanino – laje e piso laminado;
- Construção de banheiro no Mezanino.

Figura 19: Ilustração do interior da loja 06



Fonte: Relatório estudo de caso, Arquivo pessoal²⁵

Loja 07

Nesta área foram realizadas as seguintes alterações;

- Pavimento térreo com piso cerâmico;
- Mezanino – laje e piso cerâmico;
- Construção de banheiro no Mezanino.

²⁵ Fonte: Relatório de estudo de caso, Arquivo pessoal.

Loja 08

- Pavimento térreo com piso cerâmico;
- Mezanino – laje e piso cerâmico;

Loja 09

A loja 9 recebeu mudanças significativas, conforme descritas abaixo;

- Pavimento térreo com piso laminado;
- Colocação de janelas na parede de fundos do edifício no pavimento térreo e Mezanino conforme ilustrado na figura 19;
- Construção de mezanino – laje e piso laminado;
- Construção de 01 banheiro no mezanino;
- Junção das lojas 09 e 10;

Figura 20: Ilustração da criação de janelas na loja 9.



Fonte: Relatório estudo de caso, Arquivo pessoal²⁶

Loja 10

²⁶ Fonte: Relatório de estudo de caso, Arquivo pessoal.

Nesta área foram realizadas as seguintes alterações;

- Pavimento térreo com piso laminado;
- Ampliação da loja após o fechamento com laje no Pilotis do edifício;
- Colocação de janelas na parede lateral do edifício;
- Mezanino – laje e piso laminado;
- Construção de banheiro no Mezanino;
- Ligação da Loja 10 com as Lojas 09 e 11 conforme ilustrado na figura 20.

Figura 21: Ilustração da criação de nova porta.



Fonte: Relatório estudo de caso, Arquivo pessoal²⁷

Loja 11

Nesta área foram realizadas as seguintes alterações;

- Pavimento térreo com piso laminado;
- Ampliação da loja após o fechamento com laje no pilotis do edifício;
- Colocação de janelas na parede lateral do edifício;
- Abertura de porta de comunicação com prédio vizinho conforme ilustrado na figura 21;
- Construção de mezanino – laje e piso laminado;

²⁷ Fonte: Relatório de estudo de caso, Arquivo pessoal.

- Construção de banheiro no Mezanino;
- Junção das lojas 11 e 10.

Figura 22: ilustração da interligação com prédio vizinho



Fonte: Relatório estudo de caso, Arquivo pessoal²⁸

Loja 12

Nesta área foram realizadas as seguintes alterações;

- Ampliação da loja após o fechamento com laje no pilotis do edifício;
- Colocação de janelas na parede lateral do edifício;
- Construção de mezanino – estrutura metálica e laje;
- Construção de 01 banheiro no Mezanino;

Loja 13

Nesta área foram realizadas as seguintes alterações;

²⁸ Fonte: Relatório de estudo de caso, Arquivo pessoal.

- Construção de mezanino – estrutura metálica e laje;
- Construção de 01 banheiro no Mezanino;

Loja 14

Nesta área foram realizadas as seguintes alterações;

- Pavimento térreo com piso cerâmico;
- Mezanino – estrutura metálica ao fundo e piso em madeira.
- Construção de banheiro e copa no Mezanino.

Figura 23: Ilustração criação do mezanino



Fonte: Relatório estudo de caso, Arquivo pessoal²⁹

3.3 Levantamento das manifestações patológicas encontradas

As significativas alterações no “layout” da edificação e consequentes ampliações foram determinantes para o surgimento de manifestações patológicas na edificação. Tais anomalias podem se tornar

²⁹ Fonte: Relatório de estudo de caso, Arquivo pessoal.

graves consequências além de colocar em risco a vida e integridade de moradores, funcionários e clientes que transitam pela edificação.

Loja 02

Na loja 02 foram apresentadas infiltrações nas paredes e na laje de teto, conforme ilustrado na figura 23, consequentes do fechamento da laje do pilotis. A criação da laje citada, proporcionou a ampliação das lojas conforme apresentadas, porém esta área ficou comprometida devido sua supressão dos espaços de ventilação da edificação, além da passagem de águas pluviais. A laje recebeu impermeabilização em toda a superfície, porém a instalação do toldo na fachada comercial fez com que as paredes no entorno recebessem um volume maior de águas pluviais.

Figura 24: Infiltração das paredes e laje do teto.



Fonte: Relatório estudo de caso, Arquivo pessoal³⁰

Loja 12

Na loja 12 foram inseridas sustentações metálicas conforme ilustrado na figura 24, a fim de realizar apoio estrutural da construção do mezanino

³⁰ Fonte: Relatório de estudo de caso, Arquivo pessoal.

A criação de mezanino no interior das lojas, conseqüentemente adicionam sobrecargas nos elementos estruturais, porém, através da análise do projeto estrutural, foi possível identificar a existência de mísulas (peça resistente de forma triangular) com a função de servir de apoios, isso mostra que o projeto estrutural previa a execução de peças acopladas a parede. Entretanto, não foram identificadas presença de manifestações patológicas importantes que poderiam ser originadas na existência de sobrecargas.

Figura 25: ilustração de apoios metálicos na loja 12



Fonte: Relatório estudo de caso, Arquivo pessoal ³¹

Os problemas de umidade, além de serem frequentes, representam um dos maiores problemas de uma edificação durante sua vida útil. A eflorescência ocorrida na laje da respectiva são prováveis do contato maior com a umidade presente no ambiente onde está exposta. A percolação de água na área interna dos elementos de concreto é capaz de provocar patologias como estas apresentadas.

Para ocorrer a eflorescência, é determinante haver a presença e a ação dissolvente da água. As vesículas podem ser causadas por uma série de fatores, tais como a existência de pedras de cal não completamente extintas, matérias orgânicas contidas nos agregados, torrões de argila dispersos na argamassa e outras impurezas.

³¹ Fonte: Relatório de estudo de caso, Arquivo pessoal.

Figura 26: Ilustração da eflorescência apresentada na loja 12.



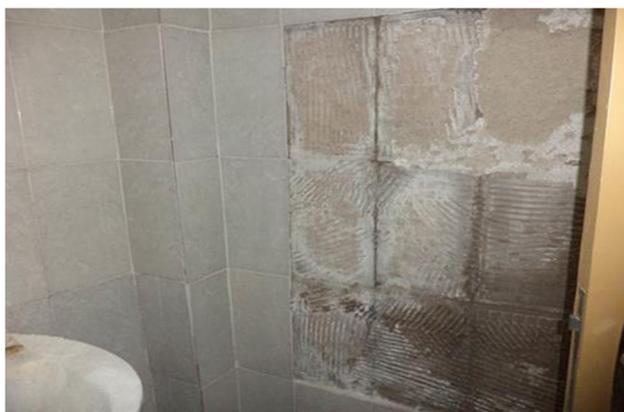
Fonte: Relatório estudo de caso, Arquivo pessoal³²

Para o adequado desempenho de áreas onde recebem umidade, é necessário que os revestimentos a elas aplicados apresentem propriedades específicas, pois além de auxiliar as vedações de estanqueidade a água, elas proporcionam um acabamento final adequado em pisos e paredes.

Na parede do banheiro houve deslocamento dos revestimentos cerâmicos, conforme ilustrado na figura 26, as possíveis causas para esta ocorrência estão atreladas a umidade presente nas paredes.

Figura 27: Ilustração do deslocamento de cerâmica.

33



Fonte: Relatório estudo de caso, Arquivo pessoal

³² Fonte: Relatório de estudo de caso, Arquivo pessoal.

³³ Fonte: Relatório de estudo de caso, Arquivo pessoal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da pesquisa realizada foi possível detectar as principais ocorrências de manifestações patológicas no concreto armado, constatou-se que estas podem surgir em diversas etapas construtivas e não ocorrem apenas por erros técnicos, mas também através de má concepção de projeto, gestão inadequada, e também mal-uso. Portanto é se faz necessário uma gestão adequada do processo como um todo.

Foi detectado, através de consultas bibliográficas a necessidade de maior enfoque durante as etapas de concepção dos projetos, etapa de maior concentração das possíveis anomalias presentes nas edificações, estes devem atender todas as necessidades para o qual foram criados, outra etapa de grande importância e a execução de obras, deve-se adotar melhores processos construtivos, e busca pela melhor empregabilidade dos materiais utilizados.

O estudo mostrou que uma simples alteração na fachada com a inserção de toldo, trouxe problemas consideráveis, pois contribuiu com para que as paredes recebessem um volume de águas pluviais, antes não recebido, também foi possível identificar que pergolado, existente na área de lazer, criando sob este uma laje maciça, trouxe problemas devido ao escoamento de águas pluviais, pois as paredes das lojas nas áreas comerciais do edifício também receberam um volume de água antes não existente, ainda com o fechamento do pergolado a ventilação ficou comprometida.

O fechamento da laje do pilotis citado anteriormente se deu pela necessidade de ampliação das lojas comerciais, pois a partir deste, foi realizado a construção de mezaninos em seu interior, além de banheiros, copa e cozinha. Estas mudanças podem trazer riscos a edificação, pois foi adicionado aos elementos estruturais sobrecargas não previstas nos cálculos estruturais do projeto primário. Um agravante de tal situação é a condição de que a área comercial está situada sob cargas permanentes, principalmente da piscina existente na parte residencial. A loja 03 e 04 foi a única a apresentar um projeto afim de assegurar as condições estruturais da edificação, neste foi detectado que o projeto foi desenvolvido com o intuito de sanar os problemas apresentados

pela construção do mezanino, visando resguardar a segurança da estrutura do edifício. Dessa forma, concluiu-se que as reformas realizadas não comprometem a estabilidade da estrutura do edifício. Dentre as análises no local, não foram constatadas manifestações patológicas que detectadas problemas de sobrecargas na edificação.

As manifestações patológicas aparentes na edificação são provenientes de umidade, conforme constatado, na loja 12, que obteve maiores anomalias dentre eflorescência aparente na laje de teto, acompanhada de trinca, e também a ocorrência do deslocamento de parte do revestimento do banheiro interno do banheiro, que se deu pela umidade

Através do estudo pode-se concluir a fundamental importância de se planejar reformas e ampliações nas edificações existentes, pois quando acompanhadas por profissionais técnicos, as mudanças promovem bem-estar e satisfação aos usuários, porém quando executadas de forma não planejada, causam danos a edificação. A necessidade do profissional técnico se dá pela análise criteriosa dos projetos existentes, contemplando as plantas arquitetônicas, dimensionamento estrutural e das instalações elétricas e sanitárias, dentre outros documentos complementares que trazem informações pertinentes a concepção e funcionamento da edificação, ainda assim é de extrema importância analisar as condições e o comportamento da edificação *in loco* afim de identificar possíveis interferências e também para promover melhorias eficazes a esta.

BIBLIOGRAFIA

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). **NBR 5674. Manutenção de edificações – Procedimento.**2012.

_____**NBR 5674. Manutenção de edificações – Procedimento.** 2012.

_____**NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, 2014.**

_____**NBR 15575.Edificações habitacionais Desempenho das edificações .**2013.

AGUIAR, J. E. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estruturas duráveis.** Tese de M. Sc., Programa de Pós-graduação em Construção Civil – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2006.

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

ANDRADE, Carmen. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras.** São Paulo: Pini, 1992. 104 p. ARALDI, E. **Reforço de pilares por encamisamento de concreto armado: Eficiência de métodos de cálculo da capacidade resistente comparativamente a resultados experimentais.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

ANDRADE, T; COSTA E SILVA, A.J. **Patologia das estruturas.** In: CONCRETO, ensino, pesquisa e realizações. VOL II. IBRACON 2005. Cap 32, p.953-983.

ANDRADE, J.J.O. et al. **Avaliação das características do concreto quando submetido à degradação de origem química.** In: Congresso Brasileiro do Concreto– REIBRAC, 45, 2003, Vitória - ES. Anais. São Paulo: IBRACON, 2003

ANDRADE, Jairo José de Oliveira. **Vida Útil das Estruturas de Concreto.** In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.) *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.* São Paulo: IBRACON, 2005. 2. v, cap. 31, p. 923- 951. ISBN 85- 98576- 05-

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

BASTOS, P. S. S. **Fundamentos do Concreto Armado – Notas de Aula.**

UNESP. Bauru, São Paulo, 2006.

BASTOS P.S. S – **Estruturas de Concreto I.** UNESP. 2013. Notas de aulas.

BIANCHINI, Mauricio; et al. **Fissuras em aristas de vigas nas primeiras idades do concreto.** In: Congresso Brasileiro do Concreto. 50°.2008.[S.L.]. p 2.

BRANDÃO. J.F. **Análise Experimental E Numérica De Cascas De Concreto De Ultra-Alto Desempenho Reforçado Com Fibras.** Tese de doutorado. UFRJ.2005

BRANDÃO, G. C. Estudo de caso do sistema de iluminação da EAUFGM: **Análise do uso de energia e de medidas de conscientização.** 2015. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, orientadora: Roberta Vieira Gonçalves de Souza). Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

CUNHA, A.C.Q.; HELENE, P.R.L. **Despassivação das armaduras de concreto por ação da carbonatação.** Boletim técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – BT/PCC/283. São Paulo, 2001.

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e terapia do concreto armado.**

Tradução de Maria Celeste Marcondes, Carlos W. F. dos Santos, Beatriz Cannabrava. 1. ed. São Paulo: Pini, 1988. 522 p.

CORRÊA, Ederson Souza. **Patologias decorrentes de alvenaria estrutural.** Pará, 2010.

FIGUEIREDO, A.D. Concreto com Fibras. In.: **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações.** Editor: Geraldo Cechella Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005, V.2, Cap. 39.

FERREIRA, Rui Miguel. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão.**

2000. 246 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2000.

HELENE, Paulo R.L. **Manual prático para reparo e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1992. 119 p.

_____, Paulo R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. 231 f. Tese (Livre- Docência) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

ISAIA, Geraldo Cechella; HELENE, Paulo R. L. **Efeitos de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo de durabilidade com vistas a corrosão da armadura**. 1995. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

LIBÓRIO J.B.L **Patologia das construções**. EESC.-USP .1998. Notas de aulas.

NEVILLE.A.M. **Propriedades do concreto**. São Paulo.

MALHOTRA, V. M. Surface hardness methods. In MALHOTRA, V. M.; CARINO, N. J. Handbook on nondestructive testing of concrete. 2. ed. CRC Press, p. 17-31, 2004.

MARCELLI, M. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras** - São Paulo: Pini, 2007.

SANTOS, E. S. **Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. Monografia (Graduação). Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2006.

SILVA, F. A. S. **Avaliação do teor de íons cloreto no ar atmosférico da praia de futuro em Fortaleza/CE**. Monografia. Universidade Federal do Ceará, 2011.

SOUZA, V.; RIPPER, T. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. – São Paulo: Pini.

MACHADO, A. de P. **Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono**. São Paulo: Pini, 2002.

RINCÓN, O.; CARRUYO, A. **Manual de Inspeccion, Evaluacion y Diagnostico de Corrosion en estructuras de hormigón armado** – CYTED, 1997.

PEÑA, Manuel R. & HELENE, Paulo. **Estudo de fissuração associada à retração em argamassas para reparo em estruturas de concreto**. São Paulo, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Boletim Técnico BT/PCC/406, 23p. 2005.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1 ed. São Paulo: PINI, 1989.

OLIVARI, G. **Patologia em edificações**. São Paulo, 2003

OLIVEIRA, Bernardo Jefferson. **Francis Bacon e a fundamentação da ciência como tecnologia**. Belo Horizonte, Editora UFMG, 2002.

RIBEIRO, Daniel Verás et al (Org) **Corrosão em Estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SUSSEKIND. J.C. Curso de análise estrutural. Vol 1. Rio de Janeiro : Globo, 1987. 236 p.

VALENE. Ana Paula Veloso. **Avaliação da eficácia de alguns processos de recuperação nas edificações do Tribunal de Justiça do Estado de Minas Gerais**. Dissertação de mestrado. UFMG. 2008

<https://periodicos.set.edu.br/index.>___Acessado em 17/06/2019

<https://www.concetcon.com.br> acessado em 12/06/2019