

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JULIANA MARTINS PUREZA

LORRAYNE DA SILVA TESSARO

MATHEUS MATTOS DOS SANTOS

RENAN HENRIQUE FERNANDES PIMENTEL

AS PRINCIPAIS PATOLOGIAS NAS EDIFICAÇÕES URBANAS

VOLTA REDONDA, RJ

2020

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AS PRINCIPAIS PATOLOGIAS NAS EDIFICAÇÕES URBANAS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do UniFOA como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Alunos: Juliana Martins Pureza

Lorrayne da Silva Tessaro

Matheus Mattos dos Santos

Renan Henrique Fernandes Pimentel

Orientador: Prof. M.Sc. Sergio Luiz Taranto de Reis

Coorientador: Prof. M.Sc. José Marcos Rodrigues Filho

VOLTA REDONDA, RJ

2020



Fundação Oswaldo Aranha



FOLHA DE APROVAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **AS PRINCIPAIS PATOLOGIAS NAS EDIFICAÇÕES URBANAS.**

Elaborado por **MATHEUS MATTOS DOS SANTOS**, Matrícula: **20150438**; **JULIANA MARTINS PUREZA**, Matrícula: **201510418**; **LORRAYNE DA SILVA TESSARO** Matrícula: **201510798**; e **RENAN HENRIQUE FERNANDES PIMENTEL**, Matrícula: **201520755**, apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso Engenharia Civil.

Aprovada em 21 de novembro de 2020.

Banca Avaliadora:

Professor Orientador

SERGIO LUIZ TARANTO DE REIS, MESTRE, UniFOA

Professor Avaliador

ROGÉRIO NOGUEIRA PEREIRA, ESPECIALISTA, UniFOA

Professor Avaliador

SÉRGIO ROBERTO MONTORO, DOUTOR, UniFOA

RESUMO

O presente trabalho tem como tema o estudo de conceitos, causas e diagnósticos de patologias em edificações urbanas. Este tema surgiu devido a identificação de acidentes em edifícios por falta de diagnósticos precisos e escolha incorreta dos métodos de correção, colocando a vida de moradores em risco. Com este estudo tem-se como objetivo demonstrar diagnósticos de patologias em estruturas feitas exclusivamente de concreto armado, realizando uma revisão bibliográfica em trabalhos científicos que abordam a avaliação de causas e erros cometidos no anteprojeto ou pós-projeto. Na elaboração deste trabalho foram analisados erros construtivos, má administração e supervisão da obra, assim como erros nos projetos estruturais. Para estruturação do trabalho realizou-se uma revisão da literatura através da metodologia científica de pesquisa bibliográfica que é aquela baseada na análise da literatura já publicada em forma de livros, artigos e literatura cinzenta (teses, dissertações, trabalhos apresentados em congressos, entre outros). Após a realização de todo o estudo espera-se como resultado identificar as causas e prevenções utilizando como base uma planilha de checklist para fazer o diagnóstico das possíveis patologias existentes na edificação, visando contribuir para a formação qualificada de profissionais do ramo da Construção Civil e redução de acidentes causados por falta de diagnóstico preventivo.

Palavras-chave: Diagnóstico; checklist; prevenção; projeto; sinistros; acidentes; construção civil.

Lista de figuras

Figura 1: Evolução dos custos pela fase de intervenção (Regra de Sitter)	16
Figura 2 - Fissuração provocadas por esforços solicitantes.	21
Figura 3 - Exemplo de corrosão por falta do cobrimento mínimo necessário.	22
Figura 4 - Edifício Mahembi inclinando na direção do edifício Paineiras na orla de Santos.....	26
Figura 5 - Esmagamento do concreto armado.	28
Figura 6 - Desgaste do piso de concreto.....	29
Figura 7 - Desagregação da estrutura de concreto armado.....	31
Figura 8 - Representação esquemática do avanço da carbonatação do concreto.	35
Figura 9 - Carbonatação do concreto causando fissuras e expondo as armaduras	36
Figura 10 - Processo de lixiviação em vida de concreto armado.	37
Figura 11 - Processo de cura com relação ao tempo e mudança de comprimento.	38
Figura 12 - Fissura de retração do concreto.....	39
Figura 13 - Concretagem.	41
Figura 14 - Eflorescência no bloco cerâmico.....	43

Lista de Quadros

Quadro 1 - Classes de agressividade ambiental - CAA.....	23
Quadro 2 - Sais mais comuns nas eflorescências.....	44

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Dimensões de aberturas de fissuras, trincas, rachaduras, fendas e brechas.....	21
Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o revestimento nominal para $\Delta c=10$ mm.....	24
Tabela 3 - Checklist de inspeção de patologias.....	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	Problema Abordado	10
1.2	Justificativa.....	10
1.3	Estratégias de pesquisa	11
1.4	Estrutura do projeto.....	11
1.5	Objetivo geral	12
1.6	Objetivos específicos	12
2	METODOLOGIA	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	A importância do diagnóstico de patologias em estruturas	15
3.2	Acidentes causados por patologias em estruturas de concreto armado	17
3.3	Patologias	19
3.3.1	Definição	19
3.3.2	Fissuração	19
3.3.3	Corrosão	22
3.3.4	Recalque em fundações	25
3.3.5	Deterioração do concreto.....	27
3.2.6	Desagregação do concreto.....	31
3.2.7	Carbonatação	34
3.2.8	Lixiviação	36
3.2.9	Retração do concreto.....	38
3.2.10	Falhas na concretagem	40
3.2.11	Eflorescência	43

4	CHECKLIST DE DIAGNÓSTICO.....	47
5	Conclusão	49

1 INTRODUÇÃO

A Engenharia Civil está em constante evolução, desde a antiguidade o homem procura desenvolver estruturas que atendam suas necessidades e tragam mais comodidade e facilidade para sua vida. Sejam elas de infraestrutura (barragens, pontes, metrô etc.), habitacionais (casas e edifícios), ou laborais (galpões, indústrias etc.).

A necessidade de estruturas cada dia mais robustas, aumenta a busca constante pelo desenvolvimento de materiais, técnicas e métodos de construção, visando suprir esta demanda. Porém, com o crescimento acelerado de construções, surgiu a necessidade de executar obras em prazos bem menores, acarretando maior aceitação de riscos, mesmo que dentro dos limites, desencadeando diversos tipos de problemas estruturais dando origem a um campo dentro da Engenharia Civil, conhecido como Patologia das Construções, de acordo com Souza e Ripper (1998):

“Designa-se genericamente por Patologia das estruturas esse novo campo da engenharia das construções que se ocupa das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas” (SOUZA E RIPPER 1998).

As principais Patologias nas edificações urbanas, originam-se, via de regra, de execução inadequada de serviço ou conjunto de serviços, e, quebrando o paradigma, não se encaixam exclusivamente nas obras mais antigas, pois é recorrente o aparecimento de obras recém inauguradas/entregues, com uma série de impedâncias originárias da má execução da obra, seja por projeto inadequado, execução por pessoal sem capacitação adequada, materiais de baixa qualidade e, também, pela falta de especificações mais contundentes sobre os serviços.

Com a utilização da unidade edilícia, as fragilidades começam a surgir e, indubitavelmente, trazem transtornos, primeiramente aos usuários e, posteriormente aos empreendedores que realizaram as obras. Então, um Engenheiro precisa comparecer ao local, identificar o problema, elaborar um diagnóstico e fazer a

propositura de solução ao aludido problema patológico, recomendando, também, que tal reforma seja feita dentro da boa técnica, para não ocorrer o agravamento/ampliação da patologia inicial (SANTOS, 2014).

Até projetos bem estruturados, com boa execução, estão passíveis do surgimento de patologias por causas naturais, imprevisíveis. Com o advento de novas tecnologias, equipamentos e técnicas de uma forma geral, é possível diagnosticar com mais celeridade e precisão os problemas estudados (SANTOS, 2014).

Diante dos fatos apresentados, sentiu-se a necessidade de organizar os dados existentes sobre este campo da Engenharia Civil. Para isto, realizou-se uma revisão bibliográfica em literaturas já publicadas, visando apresentar as principais Patologias das Construções, que seguem em grande evolução, com o objetivo de analisar suas possíveis causas e soluções.

1.1 Problema Abordado

De acordo com Sena (2019), muitos dos problemas encontrados nas edificações, principalmente no ambiente urbano, onde a agressividade do meio, como um todo, reflete nas edificações, em suas estruturas, vedações, esquadrias etc., posto que o nível de manutenção é quase inexistente. A recorrência de patologias diversas (corrosão, infiltração, lixiviação, trincas, fissuras, recalques etc.), podem, ao longo do tempo levar ao colapso o conjunto edilício.

1.2 Justificativa

O crescente número de sinistros em edificações, principalmente na última década, onde presume-se que aspectos técnicos basais, não observados, fortaleceu o grupo em ampliar os conhecimentos recebidos no Curso de Engenharia Civil, ampliando com técnicas que possam diagnosticar com celeridade as não

conformidades numa edificação, antes que constituam-se em patologias e, no caso de constituídas, ofertar as soluções técnicas mas exequíveis, principalmente sabendo que há uma deficiência de profissionais Engenheiros Civis capacitados para este mister.

1.3 Estratégias de pesquisa

Para realizar o estudo de conceitos, causas, métodos de prevenções e soluções de patologias em edificações urbanas foi feita a revisão bibliográfica de literatura já existente como livros, artigos, teses, dissertações, trabalhos apresentados em congressos, entre outros. Dessa forma, a revisão e análise dos dados coletados, foi realizada por meio de revisão sistemática, ramo da metodologia de pesquisa bibliográfica, caracterizando um tipo de investigação científica. Assim, respondendo à problemática do projeto, utilizando métodos sistemáticos para avaliar os resultados dos estudos considerados relevantes.

1.4 Estrutura do projeto

Dentro do contexto previamente descrito este trabalho será estruturado a fim de alcançar os objetivos propostos da seguinte maneira: no primeiro capítulo serão realizadas as considerações iniciais, introduzindo o tema, abordando o objetivo e a estrutura do trabalho. No segundo capítulo será apresentado a metodologia utilizado para concepção do trabalho. O terceiro capítulo será constituído pela revisão bibliográfica de artigos que tratam da mesma temática, apresentando, dentre os tópicos, um estudo sobre a importância do diagnóstico de patologias, acidentes causados por patologias em estruturas de concreto armado e os tipos de patologias presentes em edificações urbanas. No quarto capítulo será apresentado um checklist de diagnóstico das patologias discutidas no trabalho. Já o quinto capítulo abordará a análise geral e a conclusão que foi possível obter após todo o estudo descrito.

1.5 Objetivo geral

Demonstrar conceitos de patologias existentes em edificações urbanas e os métodos de prevenção das mesmas, através de uma revisão bibliográfica em trabalhos científicos que abordam a avaliação de causas e erros cometidos no anteprojeto ou pós-projeto.

1.6 Objetivos específicos

Identificar as causas, as prevenções e os tipos de diagnósticos feitos com auxílio de uma planilha de checklist para simplificar o serviço, visando contribuir para a formação qualificada de profissionais do ramo da Construção Civil e redução de acidentes causados por falta de diagnóstico preventivo.

2 METODOLOGIA

A pesquisa realizada é classificada como pesquisa bibliográfica, pois, de acordo com Cervo e Bervian (1983), este tipo de metodologia é utilizado para exemplificar a problematização abordando quais são as causas de patologias em edificações urbanas e os métodos preventivo das mesmas. Este é explicado tendo como base a análise da literatura já publicada em forma de livros, artigos e literatura cinzenta (teses, dissertações, trabalhos apresentados em congressos, entre outros). Nessa análise busca-se conhecer e analisar quais as contribuições os autores realizaram para a melhoria e eficiência destes diagnósticos, para que sejam realizados a tempo de evitar acidentes fatais.

Existem três tipos de pesquisa bibliográfica e a escolhida para ser realizada foi a do tipo revisão sistemática, que segundo Manual da Biblioteca Prof. Paulo de Carvalho Mattos, UNESP (2015):

“é um tipo de investigação científica. Essas revisões são consideradas estudos observacionais retrospectivos ou estudos experimentais de recuperação e análise crítica da literatura. Testam hipóteses e têm como objetivo levantar, reunir, avaliar criticamente a metodologia da pesquisa e sintetizar os resultados de diversos estudos primários. Busca responder a uma pergunta de pesquisa claramente formulada. Utiliza métodos sistemáticos e explícitos para recuperar, selecionar e avaliar os resultados de estudos relevantes. Reúne e sistematiza os dados dos estudos primários (unidades de análise). É considerada a evidência científica de maior grandeza e são indicadas na tomada de decisão na prática clínica ou na gestão pública” (Mattos, 2015).

O recorte cronológico realizado para a pesquisa foi em publicações realizadas nos últimos anos, dessa forma buscando tecnologias e métodos já aprovados e novos, contribuindo, assim, para a complementação na formação de profissionais do ramo da Construção Civil.

Como uma primeira etapa foi realizado um levantamento bibliográfico, possibilitando levantar todas as referências encontradas, dentro do recorte cronológico, sobre diagnóstico de patologias em concreto armado e acidentes causados por problemas estruturais em edifícios residenciais.

Posteriormente, todo esse material coletado, foi organizado em fontes científicas e fontes de divulgação de ideias, auxiliando nessa forma a elaboração da contextualização, problematização e validação, inicial, do quadro teórico que foi utilizado para verificar quais diagnósticos para patologias existem, realizando uma investigação científica.

Em seguida, foi realizado o aprofundamento da análise para estabelecer quais relações existem dentro do material selecionado e o problema estabelecido. Com isso, possibilitou novas perspectivas, possivelmente, consolidando a área de conhecimento Patologias Estruturais, e compreender todas as técnicas e tecnologias utilizadas significativas para a abordagem na Construção Civil.

A finalidade da pesquisa foi a criação de um checklist para a identificação das patologias mais comumente encontradas em estruturas de concreto armado, com o propósito de servir como referência para a justificativa que a investigação poderá preencher, justificando a escolha da pesquisa bibliográfica como método para elaboração deste trabalho.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A importância do diagnóstico de patologias em estruturas

As estruturas de concreto armado ao serem expostas ao ambiente externo podem sofrer alterações, essas das quais podem alterar as exigências mínimas pré-estabelecidas para determinada estrutura, como sua resistência. Seja pela má qualidade do material utilizado, projeto não ser adequado para determinado tipo de estrutura ou ambiente, mão de obra desqualificada para executar o projeto e falta de manutenção da estrutura (BRANDÃO, 1999).

Mesmo estruturas que seguem os critérios estabelecidos pelas normas técnicas e sendo construídas corretamente tendem a manifestarem sintomas patológicos, isso ocorre porque as estruturas de concreto não são eternas, pois elas se deterioram com o passar do tempo, isso pode acontecer por problemas naturais como o envelhecimento do concreto ou até mesmo por problemas humanos como acidentes. Com o passar do tempo estruturas precisam de algumas atualizações como reforço ou recuperação, para que com o conhecimento adequado dos procedimentos e técnicas adotadas permita fazer com que a mesma estrutura tenha sua capacidade original retomada ou até ampliada dependendo da situação que foi diagnosticada (SOUZA e RIPPER, 1998).

A importância do diagnóstico de patologias em estruturas é ligado a prevenção de problemas futuros ou a recuperação de problemas já existentes, visando pelo ponto de vista econômico optar pela prevenção de algum tipo de acidente ou incidente ocasionado é muito mais vantajoso do que optar pela recuperação ou reforço estrutural, que dependendo do caso a estrutura possa até ser irrecuperável, tendo assim que fazer a demolição da mesma (VITÓRIO, 2005).

A figura 1, mostra que os custos de intervenção crescem em função do tempo, como dito anteriormente. É demonstrado que o custo corretivo é maior que o custo preventivo ao longo do tempo, as correções serão mais efetivas, fáceis e duráveis quanto antes forem executadas.

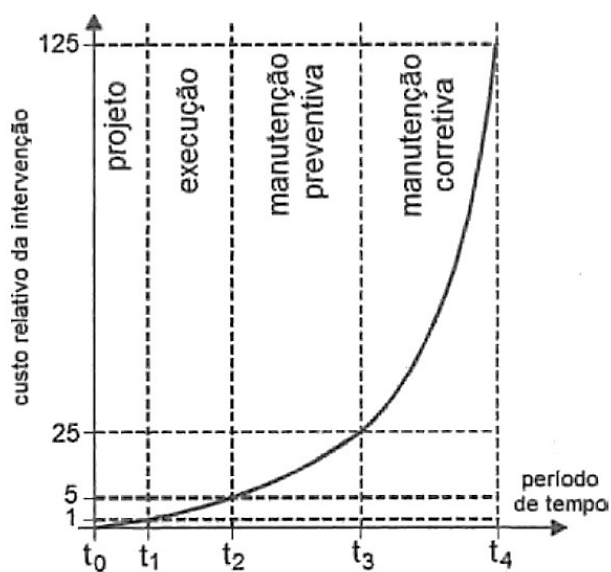


Figura 1: Evolução dos custos pela fase de intervenção (Regra de Sitter)

Fonte: SITTER, 1984 apud HELENE

3.2 Acidentes causados por patologias em estruturas de concreto armado

Diversas edificações apresentam patologias que aparecem antes do prazo mínimo de vida útil da obra, 50 anos, de acordo com a ABNT (NBR 15575:2013). Recuperar as estruturas é mais difícil do que construir uma nova, contando também que é preciso saber onde surgiu o problema, para solucioná-lo e assim recuperar a estrutura.

No Brasil, acidentes estruturais ocorrem com frequência. Entre eles, é válido destacar o prédio em Salvador (BA) que se encontrava em obra e caiu sobre uma casa, levando à óbito três pessoas, em julho de 2010; a torre de alta tensão de 70 m que caiu e levou à óbito duas pessoas no bairro Jardim Piemon, em Betim que fica em Belo Horizonte (MG) em janeiro de 2011; e o desabamento de uma obra na avenida Mateo Bei, que levou à óbito 10 operários, em São Mateus, na zona leste de São Paulo, em agosto de 2013. Ao total, os acidentes deixaram inúmeras vítimas fatais e indivíduos feridos. Um fato significativo, que põe em risco a qualidade e a segurança das construções brasileiras (TERRA, 2014).

Segundo os autores Souza e Enami (2009), suspeita-se que diversos acidentes estruturais, sem vítimas, ocorrem no Brasil, porém sem o devido registro, e em alguns casos, as autoridades competentes não tomam ciência do fato, e ainda há suspeitas de que alguns acabam encobertos pelos proprietários ou construtores.

A Indústria da Construção Civil (ICC) é uma das que apresenta as piores condições de segurança, em nível mundial. No Brasil, em 1995, ocorreram, no setor, 3381 Acidentes de Trabalho (AT) com 437 óbitos; em 2000, houve 3.094 AT, sendo 10,5% na ICC (BRASIL, 2001); em julho de 2001, registraram-se 12,5 afastamentos por mil empregados. Como se vê, a Indústria da Construção Civil (ICC) perdeu apenas para

a indústria pesada, com a marca de 13,4 (SILVEIRAL, ROBAZZI, WALTER, MARZIALE, 2005).

Em Maringá - PR, por exemplo, uma cidade conhecida pelo seu alto poder econômico e elevado desenvolvimento social, quando comparada ao padrão brasileiro, verificou-se somente no último semestre de 2009 a queda abrupta da marquise de um barracão industrial, a ruína frágil de uma cortina de estacas justapostas de um edifício residencial em construção e o colapso global das sacadas de um edifício residencial (SOUZA, ENAMI, 2009).

De acordo com Souza e Enami (2009), entre os acidentes registrados no Brasil, a maioria apresentam problemas como: concepção estrutural inadequada, deficiência no cobrimento de armaduras, falta de sondagem adequada no solo, construção de outros pavimentos, entre outros. Com isso, a solução proposta para diminuição dos acidentes estruturais se apresenta pela incrementação de leis para a inspeção das construções por profissionais habilitados.

3.3 Patologias

3.3.1 Definição

Patologia, por definição, é o desvio em relação ao que é próprio, adequado ou em relação ao que é considerado como o estado normal de uma coisa inanimada ou imaterial. Trazendo a definição para o meio da engenharia, patologia trata-se de problemas ou modificações que ocorrem na estrutura da edificação, comprometendo a mesma (HOUAISS, 2001).

Segundo Oliveira (2013), pode-se conceituar o termo patologia como um estudo mais aprofundado da engenharia, no que diz respeito ao diagnóstico dos problemas decorrentes da Construção Civil.

“O concreto armado, sendo um material não inerte, está sujeito a alterações ao longo do tempo, em função de interações entre seus elementos constitutivos (cimento, areia, brita, água, e aço), entre esses e materiais que lhe são adicionados (aditivos), e com agentes externos (ácidos, bases, sais, gases, vapores, microrganismos e outros).” (PIANCASTELLI, 1997).

Existem vários tipos de patologias, conseqüentes de erros de projeto, execução, materiais ou manutenção, e com muitos tipos de soluções. A partir da descoberta da patologia, tem-se que trabalhar no diagnóstico, para poder lidar da maneira correta com o problema e solucionar sem que haja efeitos colaterais na estrutura.

3.3.2 Fissuração

Segundo Vitório (2003), as fissuras representam uma posição elevada nos problemas mais comuns em alvenarias. Contando que não é tão simples identificar a causa dessa anomalia, o conhecimento da mesma é de extrema importância para escolhermos o melhor procedimento de correção.

De acordo com as normas da ABNT (NBR 6118:2014), elementos de concreto tem uma resistência a tração muito baixa, por conta disso, é inevitável que ocorra a fissuração da estrutura. Mesmo seguindo os parâmetros das ações de serviço de utilização, valores críticos de utilização ainda são atingidos. A norma regularizadora do estado-limite de fissuração prevê, que a fissura não prejudicará a estrutura se estiver dentro o limite de abertura previsto, assim, não diminuindo a sua durabilidade e a sua segurança em relação aos ELU (Estados-Limites Últimos).

“As fissuras podem ainda ocorrer por outras causas, como retração plástica térmica ou devido a reações químicas internas do concreto nas primeiras idades, devendo ser evitadas ou limitadas por cuidados tecnológicos, especialmente na definição do traço e na cura do concreto.” (ABNT NBR 6118:2014).

Souza e Ripper (1998) descreveram que, um projeto mal elaborado e executado, pode ter como consequência a fissuração da estrutura. Como mencionado anteriormente o concreto tem baixa resistência a tração por isso conta com o aço para resistir aos esforços solicitados. Caso a taxa de armadura calculada pelo engenheiro for insuficiente para resistir a flexão e tração da estrutura, a mesma poderá entrar em colapso.

Segue na Figura 2, alguns exemplos de fissuração pelo provocado cálculo inadequado dos esforços solicitantes.

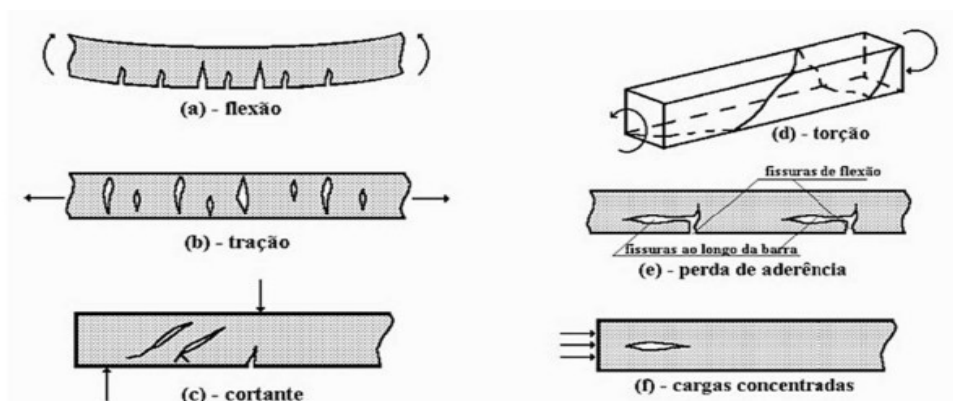


Figura 2 - Fissuração provocadas por esforços solicitantes.

Fonte: Souza e Ripper (1998).

“A abertura máxima característica W_k das fissuras, desde que não exceda valores da ordem de 0,2 mm a 0,4 mm, [...] sob ação das combinações frequentes, não tem importância significativa na corrosão das armaduras passivas” (ABNT NBR 6118:2019).

A tabela 1, mostra a classificação da abertura de acordo com suas dimensões e respectivamente sua denominação.

Tabela 1 - Dimensões de aberturas de fissuras, trinças, rachaduras, fendas e brechas.

Tipos de aberturas	Dimensões
Fissura capilar	Menos de 0,2mm
Fissura	0,2mm a 0,5mm
Trinca	0,5mm a 1,5mm
Rachadura	1,5mm a 5,0mm
Fenda	5,0mm a 10,0mm
Brecha	Mais de 10,0mm

Fonte: Thomaz (1989) – Adaptado.

3.3.3 Corrosão

Segundo Marcelli (2007), a corrosão das armaduras é uma grande causadora de acidentes na Construção Civil, provocando prejuízos financeiros e vítimas ocasionadas de sinistros. A corrosão é um fenômeno eletroquímico que pode ser causado por agentes externos ou internos do concreto e até pelo próprio meio ambiente.

Por conta de falhas na concretagem ou cobrimento menor do que o necessário, o aço passará a ser afetado pela umidade, assim, começará a criar pontos de ferrugem, que vão se espalhando pela armadura e comprometem a resistência da estrutura, como mostrado na figura 3.



Figura 3 - Exemplo de corrosão por falta do cobrimento mínimo necessário.

Fonte: Ferreira, T. & Brito (2005).

De acordo com Vitório (2003), a parte oxidada do elemento poderá aumentar seu volume em até 8 vezes, e como resultado da expansão, o cobrimento será expelido,

expondo totalmente a armadura às ações agressivas do meio, de modo que o processo de corrosão se acelere e acabe levando a estrutura a colapso.

Conforme as normas da ABNT (NBR 6118:2014), a classe de agressividade ambiental de uma estrutura é classificada de acordo com o quadro 1, que classifica qual o grau relacionado as ações físicas e químicas que afetarão a estrutura em si.

Quadro 1 - Classes de agressividade ambiental - CAA.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1), 2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118:2014.

De acordo com Bazzan (2014), quanto maior for o cobrimento, maior será o intervalo de tempo para que agentes agressivos cheguem à armadura, assim retardando o efeito de corrosão na mesma. A norma brasileira ABNT (NBR 6118:2014) especifica qual deverá ser o cobrimento mínimo necessário para cada elemento estrutural, em função da sua classe de agressividade ambiental, como demonstrado na tabela 2.

Tabela 2 - Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c=10$ mm.

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

^a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

^b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

^c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

^d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

Fonte: ABNT NBR 6118:2014

3.3.4 Recalque em fundações

As fundações são elementos que têm a função de transmitir os esforços da superestrutura para o terreno. As cargas transmitidas devem ser compatíveis com a resistência do solo (VITÓRIO, 2003).

Segundo Hachich (1996), as fundações têm duas divisões, sendo eles: fundações diretas ou rasas e fundações profundas. A escolha mais adequada do tipo de fundação utilizada na edificação, se dará em função das cargas atuantes na estrutura e da profundidade da camada mais resistente do solo.

De acordo com Pinto (2000), recalque em fundação é o deslocamento da estrutura por conta de cargas verticais na superfície do terreno. Esses deslocamentos podem ocorrer de forma rápida ou se desenvolver ao passar do tempo, após aplicações de cargas.

Um exemplo de recalque de fundações são os edifícios da orla de Santos – São Paulo, como demonstrado na figura 4.

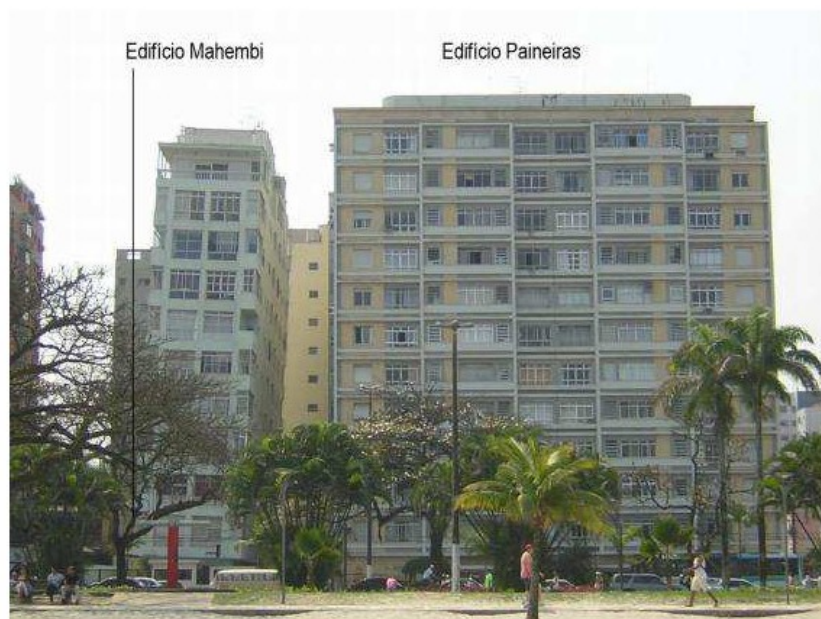


Figura 4 - Edifício Mahembi inclinando na direção do edifício Paineiras na orla de Santos.

Fonte: Dias (2010).

Segundo Alonso (1991), a diferença de recalque absoluto para recalque diferencial é que no absoluto o deslocamento vertical se dá em função de um elemento da fundação. Já no recalque diferencial, é a diferença de deslocamento de mais de um elemento da fundação, gerando tensões internas além do deslocamento da estrutura, assim podendo ocasionar novas patologias, como por exemplo a fissura.

De acordo com Caputo (2002), a geotécnica tem como objetivo determinar a interação solo-estrutura, visando sempre usar as normas técnicas e fundamentos científicos.

“Não se deve elaborar qualquer projeto de fundação sem que a natureza do subsolo seja conhecida, através de ensaios geotécnicos de campo, tais como sondagens de simples reconhecimento, ensaios de penetração estática, provas de cargas em protótipos etc.”(ALONSO, 1991).

3.3.5 Deterioração do concreto

Ao se analisar uma estrutura que apresenta problemas, deve-se buscar entender o motivo do surgimento e desenvolvimento do mesmo, podendo assim indicar o reparo necessário e garantir que não volte a acontecer. Conforme podem destacar Souza e Ripper (1998):

“Ao se analisar uma estrutura de concreto “doente” é absolutamente necessário entender-se o porquê do surgimento e do desenvolvimento da doença, buscando esclarecer as causas, antes da prescrição e conseqüente aplicação do remédio necessário. O conhecimento das origens da deterioração é indispensável, não apenas para que se possa proceder aos reparos exigidos, mas também para se garantir que, após reparada, a estrutura não volte a se deteriorar.” (SOUZA E RIPPER, 1998).

Dentre os fatores que reduzem a resistência do concreto à deterioração, pode-se citar: permeabilidade e capacidade de absorção, alta porosidade, tipo de cimento impróprio, ciclo molhagem/secagem, cura insuficiente, altas temperaturas etc. Segundo Souza e Ripper (1998):

“Assim como a qualidade dos materiais que compõe o concreto, a sua porosidade e condições ambientais da superfície também estão relacionados às patologias. Sendo a segunda mais complexa de lidar, a solução é ter o controle da porosidade do concreto de forma a torná-lo menos poroso e permissivo ao transporte interno de agentes agressivos, água e gases, o que acelera a sua degradação” (SOUZA E RIPPER, 1998).

Figueiredo (1994), descreve que os processos principais que causam a deterioração do concreto podem ser agrupados, de acordo com sua natureza, em mecânicos, físicos, químicos, biológicos e eletromagnéticos.

- Mecânicos

Conforme apresentado na figura 5, a ação de cargas excessivas não previstas no projeto, podem provocar fissuras, abrindo caminho para que outros tipos de deterioração se instalem.



Figura 5 - Esmagamento do concreto armado.

Fonte: Guide Engenharia (2017).

As vibrações, sendo por exemplo de equipamentos, devem ser previstas durante o projeto, pois podem gerar inúmeros tipos de deformações, tendo problemas devido ao cisalhamento, tração ou flexão. A intensidade da deterioração, de acordo com Brandão (1998), depende da amplitude das vibrações, da distância da fonte geradora e da idade do concreto.

A erosão do concreto é definida pelo desgaste de sua camada superficial, devido ao atrito, à abrasão e à percussão, ou ainda pela ação de água em alta velocidade, chamada de cavitação (BRANDÃO, 1998).

A ação abrasiva, apresentada na figura 6, pode ocorrer, segundo Souza e Ripper (1998):

“Devido à atuação de agentes externos, comumente sendo a água e o ar, que carregam partículas que provocam a abrasão, os veículos que passam sobre pistas de rolamento, pessoas caminhando, o impacto das ondas etc.” (SOUZA e RIPPER, 1998).



Figura 6 - Desgaste do piso de concreto.

Fonte: Guide Engenharia (2017).

- Físicos

A água do mar compõe-se de diversos sais dissolvidos em concentrações bem variadas. Conforme Wagner e Mendes (2020), alguns sais apresentados em quantidades significativas que podem afetar a durabilidade do concreto, são: cloreto de sódio, magnésio, potássio e sulfato de magnésio, cálcio, sendo que o teor de cloretos

tem uma escala muito maior que os de sulfatos. Fora os sais, a água do mar contém oxigênio e dióxido de carbono dissolvidos, variando a quantidade dependendo das condições locais.

A solução salina penetra no concreto e é conduzida por efeito capilar até regiões acima do nível d'água, onde acontece a evaporação, e logo em seguida a cristalização dos sais nos poros do concreto, iniciando o processo de degradação (WAGNER, 2020; BEATRIZ, 2020).

- Biológicas

Alguns desses agentes causadores da deterioração e da desagregação do concreto, segundo Mazer (2008), são: crescimento de vegetação nas estruturas (cujas raízes penetram através de pequenas falhas de concretagem, ou pelas fissuras e juntas de dilatação), e o desenvolvimento de organismos e microrganismos em certas partes da estrutura.

- Químicas

Normalmente é a causa mais comum de deterioração que a estrutura está sujeita durante sua vida útil, deve-se considerar os mecanismos de transporte dos agentes agressores químicos que na maioria das vezes se servem da estrutura porosa do concreto. Alguns meios são: ar e gases, presença de cloretos, reações com sulfatos, reações com ácidos e sais, entre outros (MAZER, 2008).

3.2.6 Desagregação do concreto

A desagregação é uma patologia caracterizada, consoante com Silva, *et al.* (2008), pela perda da capacidade aglomerante do cimento, fazendo com que o concreto se desprenda da estrutura em pedaços ou fatias, conforme a figura 7. Quando ocorre, a estrutura perde a resistência mecânica para a qual foi dimensionada.



Figura 7 - Desagregação da estrutura de concreto armado.

Fonte: Pini Web (2008).

“Deve-se entender como desagregação a própria separação física de placas ou fatias de concreto, com perda de monolitismo e, na maioria das vezes, perda também da capacidade de engrenamento entre os agregados e da função ligante do cimento. Como consequência, tem-se que uma peça com seções de concreto desagregado perderá, localizada ou globalmente, a capacidade de resistir aos esforços que as solicitam.” (SOUZA E RIPPER, 1998)

Cánovas (1988) apresenta que os componentes do concreto perdem sua coesão, reduzindo significativamente a resistência mecânica.

Segundo Piancastelli (1997), a desagregação é iniciada a partir da mudança de coloração do concreto, posteriormente surgem fissuras cruzadas em todas as direções, que aumentam sua amplitude rapidamente, devido à expansão da pasta de cimento.

Um abaulamento da superfície do concreto pode também ser observado. A desagregação do concreto pode ser provocada por alguns dos fatores: fissuração; reação álcali-agregado; ataque químico; micro-organismos, fungos e outros; substâncias orgânicas; e movimentação de formas.

- Fissuração:

De acordo com Piancastelli (1997), uma série de danos podem surgir devido ao aparecimento de fissuras em estruturas de concreto armado. Além da estética, a infiltração, redução da durabilidade da estrutura, são exemplos desse tipo de patologia que aparece com muita frequência.

- Reação álcali-agregado:

Conforme Souza, Zolett e Carrazedo (2016):

“A reação química álcali-agregado (RAA), originada a partir da junção dos álcalis do cimento e alguns tipos de minerais reativos encontrados nos agregados, que pode ou não resultar em um tipo de gel expansivo, que ao estar presente nos vazios do concreto, desencadeará em fissuras que comprometerá a qualidade da estrutura” (SOUZA, ZOLETT, CARRAZEDO, 2016).

- Ataques químicos:

De acordo com Mazer (2008):

“Sendo principalmente como sulfatos, como: magnésio, potássio, amônio, sódio e cálcio, que são encontrados mais comumente em águas marinhas, subterrâneas e servidas (esgotos e resíduos industriais). Os sulfatos atacam as estruturas de concreto de maneira progressiva com destruição gradativa do material, que provoca fissuração, que por sua vez conduz a perda de resistência e a desagregação” (MAZER, 2008).

- Micro-organismos, fungos, e outros, através de sua ação direta e suas excreções ácidas;
- Substâncias orgânicas: gorduras animais, óleos e vinho;

- Movimentação de formas:

Conforme expõe Mazer (2008), a movimentação lateral ou fuga de nata pelas fendas e juntas das formas, criam juntas de concretagem não previstas que provocam a segregação e desagregação do concreto.

- Umidade

Segundo Souza (2008), os problemas com a umidade são comuns em edificações novas e antigas, e podem trazer elevados prejuízos às construtoras, aos proprietários e aos usuários. Dessa maneira, conhecer meios de prevenção, é de enorme importância. Em último caso, quando a falha está presente no sistema, é necessário o conhecimento dos métodos de reparo para que o tratamento adequado seja realizado e para que os danos à edificação não sejam progressivos.

A umidade pode se manifestar em diversos elementos das edificações, como: paredes, pisos, fachadas, elementos de concreto armado, entre outros. Na maioria das vezes eles não estão relacionados a uma única causa. Os defeitos mais comuns na Construção Civil, são aqueles resultantes da penetração de água ou devido à formação de manchas de umidade (SOUZA, 2008).

A impermeabilização em uma obra custa em média de 1% a 3% do custo geral se tornando um valor muito irrisório no custo final, visto que beneficia a edificação contra os efeitos de infiltração, gerando impermeabilidade a sistemas construtivos e protegendo a estrutura contra danos como corrosão, fissuras, descolamentos, ações químicas, (PORCIÚNCULA, 2017).

Cunha e Cunha (1997) definem a impermeabilização como o ato ou efeito de colmatar, selar e vedar materiais porosos e as falhas de materiais que podem ser oriundas de movimentos estruturais ou por deficiências em técnicas de execução ou de preparo.

A fim de garantir total funcionalidade, a NBR 9575:2010, trata a Impermeabilização, como:

“6.2.1 A impermeabilização deve ser projetada de modo a:

a) Evitar a passagem de fluidos evapores nas construções, pelas partes que requeiram estanqueidade, podendo ser integrados ou não outros sistemas construtivos, desde que observadas normas específicas de desempenho que proporcionem as mesmas condições de estanqueidade;

b) Proteger os elementos e componentes construtivos que estejam expostos ao intemperismo, contra a ação de agentes agressivos presentes na atmosfera;

c) Proteger o meio ambiente de agentes contaminantes por meio da utilização de sistemas de impermeabilização;

d) Possibilitar sempre que possível acesso à impermeabilização, com o mínimo de intervenção nos revestimentos sobrepostos a ela, de modo a ser evitada, tão logo sejam percebidas falhas do sistema impermeável, a degradação das estruturas e componentes construtivos” (NBR 9575:2010).

3.2.7 Carbonatação

O efeito conhecido como carbonatação se dá através de uma reação química que modifica pH do material (concreto), podendo reduzir a longevidade da estrutura. Acontece quando o CO₂ penetra no concreto e, junto com a umidade que se encontra na estrutura, forma-se o ácido carbônico (H₂CO₃), que é decomposto em água (H₂O) e gás carbônico (CO₂), e mesmo sendo considerado fraco, caso entre em contato com componentes do concreto, torna-se água (H₂O) e no carbonato de cálcio (CaCO₃), que

é uma substância sólida que causa a redução do pH do concreto. Quando vai avançando dentro da estrutura do concreto, torna a mesma vulnerável, prejudicando assim toda a estrutura, demonstrado na figura 8 (REIS, 2017).

O concreto normalmente possui pH entre 12,6 e 13,5. Ao se carbonatar, estes números reduzem para valores próximos de 8,5 (TOKUDOME, 2009).

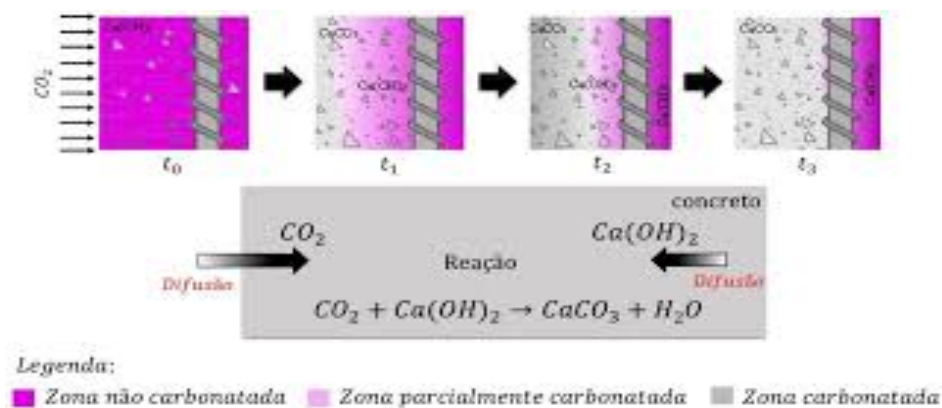


Figura 8 - Representação esquemática do avanço da carbonatação do concreto.

Fonte: Possan (2010).

“Conforme a carbonatação chega ao interior do concreto, provoca a despassivação da armadura, retirando a película de proteção contra a corrosão. O concreto se encontra poroso e assim seu interior mais propenso às ações de agentes externos à sua armadura” (DA SILVA, DA SILVA, OLIVEIRA E PEREIRA, 2018).

Demonstrado, na Figura 9, um exemplo de armadura sofrendo a ação de carbonatação.



Figura 9 - Carbonatação do concreto causando fissuras e expondo as armaduras

Fonte: Marcelo Medeiros (2017).

Entre os diversos métodos existentes para evitar essa patologia, podemos citar: uma melhor dosagem e adensamento do concreto, cura, além de um projeto adequado e uma equipe especializada, que também são meios de prevenção.

3.2.8 Lixiviação

A lixiviação é um processo onde ocorre a dissolução dos sólidos pela água, patologia comum em edificações, causada basicamente por infiltrações. Na figura 10, pode-se ver como o processo afeta a estrutura.



Figura 10 - Processo de lixiviação em vida de concreto armado.

Fonte: Guide Engenharia (2017)

Segundo Kerkoff (2017), quando ocorre a hidratação do concreto, tem-se o composto hidróxido de cálcio, que é dissolvido quando ocorrem infiltrações nas peças de concreto, indo para a superfície do concreto.

A manifestação da patologia prejudica a estrutura na parte estética quando ocorre em pequenas quantidades. Porém, caso o processo comece a progredir, retirando os sólidos existentes do concreto, ocorre uma preocupação maior. Quanto mais espaços vazios na estrutura, a mesma é submetida à ação de agentes prejudiciais que auxiliam na carbonatação do concreto e abrem espaço para os acometimentos de cloreto que existem na atmosfera, trazendo como resultado uma corrosão das armaduras, além de uma quantidade maior de vácuos que influi diretamente na resistência mecânica do material (KERKOFF, 2017).

“É o mecanismo responsável por dissolver e carrear os compostos hidratados da pasta de cimento por ação de águas puras, carbônicas agressivas, ácidas e outras. Para prevenir sua ocorrência, recomenda-se restringir a fissuração, de forma a minimizar a infiltração de água, e proteger as superfícies expostas com produtos específicos, como os hidrófugos” (ABNT NBR 6118, 2014).

Entre as formas de prevenção, as principais são: preparação do concreto, diminuindo a água na proporção água/concreto, um bom adensamento para aumentar a impermeabilização.

3.2.9 Retração do concreto

A retração do concreto é considerada, de acordo com Granato (2002) um processo natural, relacionada ao procedimento de cura do concreto. É preciso cuidado para que esse processo não se torne uma patologia ligada à retração. Tendo também a questão da estética, que é o menor problema em relação ao processo, as fissuras decorrentes da retração comprometem a estrutura, ocasionando a diminuição do tempo de vida da construção e tendo aumento nos custos de manutenção. Como mostrado na Figura 11, tem-se a relação de mudança no comprimento, entre a cura e o concreto.

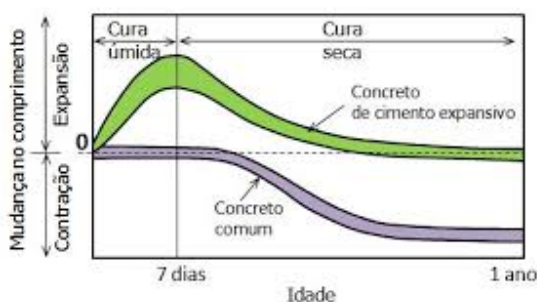


Figura 11 - Processo de cura com relação ao tempo e mudança de comprimento.

Fonte: LPE Engenharia (2016).

Para evitar o surgimento das fissuras consecutivas da retração, deve haver um controle para que não afete a estrutura inteira. Altas temperaturas, ventos constantes e baixa umidade do ar podem afetar no processo de cura, fazendo assim com que a possibilidade de retração aumente (HOLCIM, 2018).

Na Figura 12, está exemplificado uma fissura decorrente a retração do concreto.



Figura 12 - Fissura de retração do concreto.

Fonte: Guerra, Clube do concreto (2013).

“O vento e a temperatura acarretam na evaporação rápida da água de mistura do concreto. Um dos objetivos da cura do concreto é de assegurar que o concreto não seja submetido a tensões que originem fissuras devido a diferenças térmicas e retração de secagem. Outro objetivo é garantir que o concreto não seque e assegurar que a reação do cimento e água ocorra em toda a seção transversal e que a resistência corresponda à dosagem do concreto. A água livre do concreto é um pré-requisito importante para conseguir a resistência e densidade desejada. A água do concreto se evapora através da superfície úmida e dura até a reação do cimento, cerca de 10 – 12 horas. Após este período, o movimento da água se dá por difusão, que é um processo muito lento. Portanto, é muito importante impedir a secagem do concreto durante as primeiras 24 horas. A continuidade da cura por mais dias, repõe a perda de água por evaporação” (GRANATO, 2002).

Entre os tipos de retração existentes, temos, segundo Amaral (2011):

- Retração hidráulica: é gerada pelo método de secagem, podendo ser cura malfeita, ligada diretamente ao elemento e a perda de água dele.
- Retração plástica: ocorre antes do tempo de pega do concreto, é quando a evaporação da água é maior que a quantidade de água porejada no concreto.
- Retração química: não ocorre interferência do clima nem adição de substâncias, decorre em ambientes fechados, com os materiais do concreto passando por redução de tamanho, ligada à hidratação do concreto. Acontece antes da retração por meio da secagem, porém em concretos com alta resistência, por conta de o consumo de cimento ser alto e a relação de água/cimento ser baixa.

3.2.10 Falhas na concretagem

Das etapas que envolvem o procedimento de construção, a concretagem, figura 13, é a fase essencial de qualquer obra, portanto deve ser realizada de maneira adequada para que a estrutura se mantenha segura e durável. Segundo Cánovas (1988), a patologia é a parte da engenharia que estuda mecanismos, sintomas, causas e origens das deformidades em obras; sendo as patologias encontradas em edificações um dos problemas que reduzem a vida útil das construções. Nesse caso, o concreto se destaca por ser um dos materiais mais utilizados na construção de estruturas.



Figura 13 - Concretagem.

Fonte: Portal Mapa da Obra (2020).

De acordo com Souza e Ripper (1998) o concreto é um material de alta resistência às tensões de compressão, entretanto, possui baixa resistência à tração, cerca de apenas 10% da sua resistência à compressão. Portanto, a necessidade de incorporar o aço ao concreto é imperativa, por se tratar de um material com alta resistência à tração. Sendo o concreto composto por cimento, areia, pedra e água, ao receber uma armadura de aço este passa a ser chamado de concreto armado e é utilizado para construir estruturas de concreto. São nessas estruturas que, de acordo com o projeto e a execução do mesmo, existe a possibilidade de surgirem as patologias.

Segundo Amorim (2010), a negligência com a manutenção das estruturas e o desconhecimento por parte dos usuários a respeito dos elementos agressivos e da estrutura de concreto (como a exposição a umidades, utilização de produtos agressivos ao concreto e às armaduras), podem gerar danos graves à estrutura,

podendo comprometer todo o trabalho executado até então. Ferreira (2000) ainda pondera que, apesar do concreto se tratar do material de construção mais utilizado no planeta, o conhecimento e divulgação sobre as práticas construtivas adequadas com o mesmo não acompanharam o aumento da demanda de construção, gerando descuidos nas obras e reduzindo a durabilidade do concreto.

De acordo com Ambrósio (2004), as patologias decorrentes de falhas na concretagem podem se apresentar de diversos tipos, tais como: trincas, fissuras, rachaduras, entre outras; sendo que alguns erros nesta etapa são relativamente comuns e fáceis de evitar, já que a aplicação correta do concreto evita que a obra sofra com problemas estruturais ou de deterioração do concreto. Dos defeitos que podem ocorrer no processo de execução da concretagem destacam-se:

- A adição incorreta de água no concreto: ao adicionar a proporção incorreta de água na mistura, o concreto se torna mais fino e menos resistente; quando adicionada em excesso na etapa de acabamento gera um concreto que esfarela e, conseqüentemente, está mais sujeito a fissuras.
- Alinhamento inadequado das formas: o alinhamento inadequado das formas pode ocasionar em descontinuidades na face do concreto; ainda que tais descontinuidades ocorram em variadas circunstâncias, a sua incidência pode ser mais crítica em locais que estão sujeitos à alta velocidade do fluxo de água, já que a erosão pode ser induzida pela formação de cavidades ou em câmaras de bloqueio (canais) onde o atrito das superfícies é linear.
- Cura inadequada: uma das etapas fundamentais da concretagem é a cura, esta deve ser realizada na temperatura adequada, que é necessária para proporcionar a durabilidade. O desrespeito deste princípio resulta em um concreto passível de rachaduras.

Segundo Ambrosio (2004), embora a literatura tenha agregado conhecimento conforme o desenvolvimento da Engenharia Civil, ainda existem muitas estruturas cujo desempenho insatisfatório devido às falhas involuntárias, imperícia, a má utilização de materiais, envelhecimento natural, erros de projetos, etc; podendo-se afirmar resumidamente que existe uma série de fatores que contribuem para a deterioração das estruturas. Ante o exposto, torna-se evidente a necessidade de ampliar os estudos acerca dos métodos e técnicas que envolvem a etapa de concretagem, de modo a sistematizar os conhecimentos acerca do comportamento e problemas das estruturas.

3.2.11 Eflorescência

Segundo os autores Santos e Silva Filho (2008), a eflorescência pode ser definida como concentrações cristalinas de cor branca que aparecem na superfície do revestimento, como pisos (cerâmicos ou não), paredes e tetos. Trata-se de formações salinas que aparecem nas superfícies das paredes, trazidas do interior das mesmas pela umidade; apresenta um aspecto esbranquiçado na superfície da pintura ou reboco.

A figura 14 mostra um exemplo de eflorescência em um bloco cerâmico.



Figura 14 - Eflorescência no bloco cerâmico.

Fonte: Bezerra et al. (2012)

Pode-se considerar que os sais solúveis, facilmente encontrados nas matérias-primas, de acordo com Menezes (2006), representam uma das principais causas da eflorescência. Bauer (2001) elaborou uma descrição de como são indicados os sais mais comuns em eflorescências, a solubilidade dos mesmos em água, bem como a fonte provável para seu aparecimento, conforme encontrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Sais mais comuns nas eflorescências.

Composição química	Solubilidade em água	Fonte provável
Carbonato de Cálcio	Pouco solúvel	Carbonatação do hidróxido de cálcio do cimento; Cal não carbonatada.
Carbonato de magnésio	Pouco solúvel	Carbonatação do hidróxido de cálcio do cimento; Cal não carbonatada.
Carbonato de potássio	Muito solúvel	Carbonatação de hidróxidos alcalinos de cimentos de elevado teor de álcalis.
Carbonato de sódio	Muito solúvel	Carbonatação de hidróxidos alcalinos de cimentos de elevado teor de álcalis.
Hidróxido de cálcio	Solúvel	Cal liberada na hidratação do cimento.
Sulfato de cálcio desidratado	Parcialmente solúvel	Hidratação do sulfato de cálcio do tijolo.
Sulfato de magnésio	Solúvel	Tijolo e água de amassamento.
Sulfato de cálcio	Parcialmente solúvel	Tijolo e água de amassamento;

Sulfato de potássio	Muito solúvel	Tijolo, água de amassamento e cimento
Sulfato de sódio	Muito solúvel	Tijolo, água de amassamento e cimento.
Cloreto de cálcio	Muito solúvel	Água de amassamento.
Cloreto de magnésio	Muito solúvel	Água de amassamento.
Nitrato de magnésio	Muito solúvel	Solo adubado ou contaminado.
Nitrato de sódio	Muito solúvel	Solo adubado ou contaminado.
Nitrato de amônio	Muito solúvel	Solo adubado ou contaminado.

Fonte: Bauer (2001).

De acordo com Oliveira Junior (2008) cabe ressaltar que, apesar da possibilidade de todas as camadas estarem envolvidas nesta patologia, a origem está na presença de água ao longo de todo o sistema, decorrente do acesso da umidade em juntas mal vedadas. Considerando este fato, pode-se destacar que a argamassa que contém cal em sua composição está mais vulnerável à ocorrência de eflorescência, considerando que a incidência de eflorescência é menor quando as argamassas não contêm cal aditivada; portanto, quando a argamassa não contém cal, a eflorescência ocorre devido à cal livre dos cimentos.

Existem três tipos de eflorescência para se diferenciar: a Eflorescência de Secagem, a Eflorescência de Secador e a Eflorescência de Forno (VERDUCH; SOLANA, 2000).

- Eflorescência de Secagem – São as que se formam devido à secagem ao ar livre nas argilas sem moldar. São chamadas de “véus de secagem”.

- Eflorescência de Secador – As eflorescências de secador são formadas devido a secagem pela ação do ar industrial, provavelmente contaminado, sobre argilas que foram tratadas mecanicamente; deixando impressas nas mesmas as características geométricas e texturais impostas pelas máquinas.

- Eflorescência de Forno – Após as eflorescências de secador se consolidarem na superfície dos tijolos crus e irem ao forno, decorrente de reações, se transformam no que são chamadas eflorescências de forno. Assim, as eflorescências de forno são eflorescências de secador consolidadas e tornadas permanentes pela torra no ambiente.

4 CHECKLIST DE DIAGNÓSTICO

O checklist é uma ferramenta que se apresenta bastante eficaz podendo ser utilizada em diversas áreas. É composto de uma série de itens previamente estabelecidos, certificando condições de um produto, serviço, processo ou qualquer outra tarefa. No caso apresentado, poderá ser utilizado para fazer a verificação de patologias apresentadas em estruturas de concreto armado.

O checklist é composto colunas de identificação para as observações *in loco*. A primeira coluna (1) é reservada para identificar o local a ser verificado a patologia, piso, viga, pilar etc.

Na segunda coluna (2), lista alguns tipos de patologias que foram observadas no local da vistoria.

A terceira coluna (3), defini as características apresentadas da determinada patologia, para verificar se a primeira análise está correta e o tipo de problema que se deve tratar.

Na quarta coluna (4), ira-se observar as possíveis causas daquela patologia.

Já na quinta coluna (5), é um campo para colocar algumas observações ou possíveis soluções para o problema específico de acordo com as análises anteriores.

Na Tabela 3, tem-se a tabela de checklist, com todos os itens listados.

Tabela 3 - Checklist de inspeção de patologias.

Local (1)	Manifestações (2)	Aspectos observados (3)	Possíveis Causas (4)	Possíveis Soluções de reparo e Observações (5)
	Fissuras	() Fissura Capilar - Menos de 0,2mm () Fissura - Entre 0,2mm a 0,5mm () Trinca - Entre 0,5mm a 1,5mm () Rachadura - Entre 1,5mm a 5,0mm () Fenda - Entre 5,0mm a 10,0mm () Brecha - Mais de 10,0mm	() Recalque de Fundações () Retração do Concreto () Sobrecargas () Variação Térmica () _____ () _____	
	Corrosão da Armadura do Aço	() Bicheira () Fissuração () Desagregação do Concreto () Deteriorização do Concreto () Umidade () Aumento da área de aço	() Retração do concreto () Fissuração () Carbonatação () Infiltração () Falta de Cobrimento Mínimo () _____	
	Eflorescência	() Umidade () Presença de Manchas brancas () Degradação do Reboco () Bolor () _____	() Local muito quente e úmido () Fissuração () Corrosão da Armadura () Falta de Cobrimento Mínimo () _____	
	Desagregação do Concreto	() Mudança de coloração () Corrosão da Armadura () Fissuração () Desplacamento () Desgaste () Movimentação de Formas () _____	() Presença de sulfatos () Mau lançamento na concretagem () _____ () _____ () _____ () _____	
	Umidade	() Manchas de umidade () Corrosão da Armadura () Bolor () Degradação do Reboco () Fissuras () _____	() Falta de Impermeabilização () Infiltração () _____ () _____ () _____	
	Carbonatação	() Umidade () Desagregação () Corrosão () _____	() Infiltração () Fissuração () Falta de Cobrimento Mínimo () _____	
	Lixiviação	() Infiltração () Corrosão das Armaduras () Presença de Mancha Brancas () Umidade () _____	() Infiltração () Excesso de Água na Concretagem () Falta de Impermeabilização () _____ () _____	
	Retração do Concreto	() Fissuração () _____ () _____	() Má Cura do Concreto () Variação de temperatura () _____	
	Falha de Concretagem	() Fissuração () Bicheira () Desagregação dos materiais () _____	() Juntas de concretagem incorreta () Mau lançamento/adensamento () Má Cura do Concreto () _____	
	Deterioração do Concreto	() Fissuração () Desagregação do concreto () _____ () _____	() Mecânicos () Físicos () Biológicos () Químicos	

Fonte: Autores, 2020.

5 CONCLUSÃO

Considerando o objetivo proposto para o trabalho, conclui-se que o mesmo alcançou as expectativas dos componentes, de uma maneira simplificadora, visando a melhoria no dia a dia do profissional que tiver acesso.

Embora haja extensa literatura sobre o tema ainda existem muitas estruturas cujo desempenho se torna insatisfatório devido às falhas involuntárias, imperícia, a má utilização de materiais, envelhecimento natural, erros de projetos, afetando a estética da estrutura, podendo reduzir sua longevidade, entre outros problemas, o que torna-se evidente a necessidade de ampliar as observações e os estudos acerca dos métodos e técnicas que envolvem a etapa de concretagem, de modo a sistematizar os conhecimentos acerca do comportamento e problemas das estruturas.

Problemas como a falta de impermeabilização em uma obra custa em média de 1% a 3% do custo geral se tornando um valor muito irrisório no custo final da construção.

A negligência na execução bem como na manutenção das estruturas e o desconhecimento por parte dos usuários a respeito dos elementos agressivos e da estrutura de concreto, geram danos graves à estrutura.

Falhas na concretagem ou cobertura menor do que o necessário, comprometem a proteção do aço que será afetado pela umidade, criando pontos de corrosão, que irão se espalhar pela armadura e comprometer a resistência da estrutura.

Com base no tema apresentado, após o desenvolvimento do trabalho, identificou-se a importância do estudo de patologias em edificações, considerando todos os males que podem causar nas estruturas. Um modo de facilitar a inspeção de construções é através de um checklist como o apresentado, em que se encontra os tipos de patologia mais comuns, como se manifestam, as possíveis causas e com base nesses dados achar a solução mais adequada para a resolução do problema.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ALONSO, Urbano Rodriguez. **Previsão e controle das fundações**. Editora Edgard Blucher, São Paulo, 1991.

AMARAL, José Carlos do. **Tensões originadas pela retração dos elementos de concreto com deformação restringida considerando-se o efeito da fluência**. Universidade de São Paulo, 2011.

AMBROSIO, Thais da Silva. **Patologia, tratamento e reforço de estruturas de concreto no metrô de São Paulo**. 2004. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004.

AMORIM, Anderson Anacleto. **Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes**. 2010. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de Estruturas de Concreto-Procedimento**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2014.

_____ NBR 9575/2010. **Impermeabilização - Seleção e projeto**.

_____ NBR 15575/2013. **Edificações habitacionais - Desempenho**.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.v. 1.

_____ **Materiais de construção**. Rio de Janeiro: LTC, 2001.v. 2.

BAZAN, G.C.G. **Análise do cobrimento e carbonatação em obras de arte especiais no estado de São Paulo**. Trabalho de Conclusão de curso de Engenharia de Construção Civil. Escola Poli técnica da Universidade de São Paulo. São Paulo: 2014.

BEZERRA, A. P. L.; BARBOZA, J. S.; PAIVA, T.F.; FERREIRA, T. S.; RIBEIRO, I. J.; **Ensaio de eflorescência baseado na norma da ASTM C 67-92^a**, VII CONNEPI, Palmas, Tocantins, 2012.

BRANDÃO, A.M.S.; PINHEIRO, L.M. **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto. Cadernos de Engenharia de Estruturas**. Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e terapia do concreto armado**. Tradução de Maria Celeste Marcondes, Carlos W. F. dos Santos, Beatriz Cannabrava. 1^a ed. São Paulo: Pini, 1988.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. Edição Revista e Ampliada, 2002.

CERVO, A. L., BERVIAN, P. A. **Metodologia Científica**. 3^a edição, Editora McGraw-Hill Ltda. São Paulo, 1983.

CUNHA, Aimar G. da; NEUMANN, Walter – **Manual de impermeabilização e Isolamento Térmico: como projetar e executar** – Texsa Brasileira Ltda, 5 ed., Rio de Janeiro, 1979.

DA SILVA, M., D., SILVA, O., L., OLIVEIRA, N., M., DE ALMEIDA, P., P. **Patologias em obras de arte**. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil. Centro Universitário de Volta Redonda. Volta Redonda, 2018.

DIAS, Marianna Silva. **Análise do comportamento de edifícios apoiados em fundação direta no bairro da ponta da praia na cidade de Santos**. 2010. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Geotécnica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

DO AMARAL, J., C. **Tensões originadas pela retração dos elementos de concreto com deformação restringida considerando-se o efeito da fluência.** Universidade de São Paulo, 2011.

FARIA, B., M. **Concreto de retração compensada.** 2016. Disponível em: <<http://lpe.tempsite.ws/blog/index.php/concreto-de-retracao-compensada/>>.

FERREIRA, Rui Miguel. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do betão.** 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Braga, 2000.

FERREIRA, T. & BRITO, Jorge. **Concepção Arquitectónica na Faixa Costeira. Medidas Preventivas em Elementos de Betão Armado I.** Arquitectura & Vida. 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Edificio-com-graves-problemas-de-corrosao-nas-armaduras-devido-a-recobrimento_fig2_281744908>.

GRANATO, José Eduardo. **Patologia das construções.** São Paulo. 2002.

GUERRA, T., S., R. **Fissuras de retração.** 2013. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/11/fissuras-de-retracao.html>>.

HACHICH, W. et al. **Fundações: Teoria e Prática.** São Paulo, PINI, 1996.

HOUAISS, Antônio. **Grande Dicionário da Língua Portuguesa.** Editora Objetiva. 2001

KERKOFF, M., A. **Manifestações patológicas em edificações: Lixiviação.** 2017. Disponível em: <<https://guideengenharia.com.br/lixiviacao-em-edificacoes/>>.

LICHTENSTEIN, N. B. **Boletim técnico 06/86: Patologia das Construções.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1986.

MARCELLI, Maurício. **Sinistros na Construção Civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras.** São Paulo: Pini, 2007.

MARTINS, J. F. A., FIORITI, C. F. **Investigação de manifestações patológicas em sistemas estruturais de concreto armado: estudo de caso em edificação pública.** Revista Brasileira de Iniciação Científica, Itapetininga, v. 3, n. 4, 2016.

MAZER, Wellington. **PATOLOGIA, RECUPERAÇÃO E REFORÇO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2008.

MENEZES, R. R. et al. **Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e outros materiais de construção – revisão.** Revista Cerâmica, v. 52. 2006.

MOREIRA, V. C.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** Pini, 1998.

OBRA, Juntos na. **Retração do concreto: o que é e como evitar.** 2018. Disponível em:
<<https://www.juntosnaobra.com.br/retracao-do-concreto-o-que-e-e-como-evitar/>>.

OLIVEIRA JUNIOR, Fernando Antônio Serra de. **Identificação das causas da eflorescência nas residências de Caraúbas-RN: estudo de caso.** 2018. 43 f. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia), Centro Multidisciplinar de Caraúbas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2018.

OLIVEIRA, Daniel Ferreira. **Levantamento de causas de patologias na Construção Civil.** Monografia apresentada em Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2013. Disponível em:
<<http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007893.pdf>>.

PIANCASTELLI, Élvio M. - **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado** - Ed. Departamento de Estruturas da EEUFMG – 1997.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas.** São Paulo: Oficina de textos, 2000.

PORCIÚNCULA, E.A. **importância do projeto de impermeabilização**. 2017. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=20&Cod=137>>

PORTAL INSTUTO DA CONSTRUÇÃO. **Conheça os erros mais comuns na concretagem e saiba como evitá-los**. Disponível em: <<https://www.institutodaconstrucao.com.br/blog/conheca-os-erros-mais-comuns-na-concretagem-e-saiba-como-evita-los/>>.

PORTAL MAPA DA OBRA. **4 Sinais de problemas com o concreto**. Disponível em: <<https://www.mapadaobra.com.br/capacitacao/4-sinais-de-problemas-com-o-concreto/#:~:text=3%20%E2%80%93%20Desagrega%C3%A7%C3%A3o&text=O%20problema%20ocorre%20com%20a,ader%C3%A7%C3%A3o%20e%20desgaste%20do%20concreto.>>

PORTAL TERRA. **Notícias sobre desabamentos no Brasil**. Disponível em: <<https://www.terra.com.br/noticias/infograficos/desabamentos/>>.

REIS, L. **BDE Explica: como a carbonatação pode afetar a durabilidade do concreto?** 2017. Disponível em: <<https://engenharia360.com/bde-explica-como-a-carbonatacao-pode-afetar-a-durabilidade-do-concreto/>>.

SANTOS, C. F. dos. **Patologias de estruturas de concreto armado**. 2014. 84f. **Trabalho de conclusão de curso**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2015.

SANTOS, Pedro Henrique Coelho; SILVA FILHO, Antônio Freitas. **Eflorescência: causas e consequências**. Salvador: [s.n.], 2008.

SILVERA, C. A.; ROBAZZI, M. L. C. C.; WALTER, E. V.; MARZIALE, M. H. P. **Acidentes de trabalho na Construção Civil identificados através de prontuários hospitalares**. Rev. Esc. Minas vol.58 no.1 Ouro Preto jan./mar. 2005.

SOUZA, L., ZOLETT, E. R., CARRAZEDO, R. **Estudo dos efeitos do uso da escória de aciaria na expansão de corpos de prova sujeitos à reação álcali-agregado.** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais. vol.9 no.4 São Paulo July/Aug. 2016.

SOUZA, R. A.; ENAMI, R. M. **Sobre acidentes ocorridos na cidade de Maringá - PR.** Revista Tecnológica, v. 18, p. 91-101, 2009.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira; RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** 1º Edição. Editora Pini. São Paulo, 1998.

THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação.** 1. ed. São Paulo: Pini, 1989.

MATTOS, C., P. **Tipos de revisão de literatura.** Biblioteca Prof. Paulo de Carvalho Mattos, UNESP. Botucatu, 2015.

TOKUDOME, N. **Carbonatação do concreto.** 2009. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/carbonatacao-do-concreto/>>.

VERDUCH, A. G.; SOLANA, V. S. **Formação de eflorescências na superfície dos tijolos.** Cerâmica Industrial, 5 (5) setembro/outubro, 2000.

VITÓRIO, A. **Manutenção e gestão de obras de arte especiais.** VII Encontro Nacional das Empresas de Arquitetura e Urbanismo, Pernambuco, 2005.

VITÓRIO, José Afonso Pereira. **Fundamentos da Patologia da estrutura nas perícias de engenharia.** Instituto Pernambucano das Avaliações nas Perícias de Engenharia. Recife, 2003.

WAGNER, Beatriz da Silva; MENDES, Raphael Pereira. **ANÁLISE DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR LOCALIZADO NA CIDADE DE PALHOÇA/SC: ESTUDO DE CASO.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). UNISUL, Palhoça, SC, 2020.