



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

MARIANA ZANELATO TOMÉ

VINÍCIUS CAMPIGOTTO TORRES

**PATOLOGIAS E RECUPERAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO:
UMA ANÁLISE EM EDIFICAÇÕES PRIVADAS NOS MUNICÍPIOS DE
TUBARÃO/SC E LAGUNA/SC**

Tubarão

2017

**MARIANA ZANELATO TOMÉ
VINÍCIUS CAMPIGOTTO TORRES**

**PATOLOGIAS E RECUPERAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO:
UMA ANÁLISE EM EDIFICAÇÕES PRIVADAS NOS MUNICÍPIOS DE
TUBARÃO/SC E LAGUNA/SC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof. Vivian Mendes da Silva, Ms.

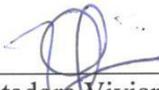
Tubarão
2017

MARIANA ZANELATO TOMÉ
VINÍCIUS CAMPIGOTTO TORRES

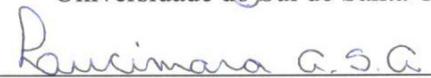
**PATOLOGIAS E RECUPERAÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO:
UMA ANÁLISE EM EDIFICAÇÕES PRIVADAS NOS MUNICÍPIOS DE
TUBARÃO/SC E LAGUNA/SC**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado à obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 30 de junho de 2017.



Professora e orientadora Vivian Mendes da Silva, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Lucimara Aparecida Schambeck Andrade, Ms.
Universidade do Sul de Santa Catarina



Prof. Daiana Savian da Silva, Esp.
Universidade do Sul de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre me acompanhando em todas as minhas caminhadas, sempre me dando força e fé para poder continuar.

Agradeço a minha família, meus pais Celso e Lourdes e meu irmão Thiago, por serem pessoas incríveis que sempre me apoiaram e sempre estiveram do meu lado durante toda a minha vida, nunca vou ter palavras suficientes para agradecer tudo que fizeram e fazem por mim.

Aos meus amigos, minha eterna gratidão, de ter escolhido as melhores pessoas para fazerem parte da minha vida, que não tem vínculos de sangue, mas que de coração sempre cuidaram de mim, me apoiaram, me deram força quando precisei e sempre estão comigo seja para comemorar minhas conquistas ou me acalantar nas derrotas.

Em especial meus amigos, Vinícius, Érika, Roberto, Miguel, Júlia Bittencourt, Júlia Correa, Douglas, Meyre, Beatriz, Etevaldo, Beatriz Bristot, Vittor, Larissa, Bruna e todos os que estiveram do meu lado todo este período, aguentando meus lamentos ou me ajudando a ficar tranquila de alguma forma.

Agradeço especialmente ao meu colega deste trabalho e amigo na vida, Vinícius, por ter confiado em mim e ter me feito confiar nele, para que possamos ter desenvolvido este trabalho.

Em especial gostaria de agradecer a professora Vivian, minha orientadora, que além de minha orientadora se tornou minha amiga, que sempre me incentivou e sempre depositou fé em mim durante todo este trabalho. Agradeço também a professora e engenheira Daiana, que contribuiu muito para o meu desenvolvimento acadêmico e a professora Lucimara por ter aceitado tão prontamente a fazer parte da minha banca e da minha história acadêmica.

Não posso esquecer de agradecer a Gisele Vargas, também professora desta instituição e minha atual chefe, que sempre me orientou e ajudou em tudo que precisei e que se tornou uma segunda mãe para mim nestes últimos anos.

Mariana Zanelato Tomé

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero agradecer a minha colega de equipe, Mariana, por ter-me convidado a desenvolver este trabalho. Com o tempo que passamos juntos, aprendi a ser mais humilde e a confiar na capacidade de outras pessoas. Ela é um ser de muito caráter e terá um futuro promissor.

Agradeço também a todos os professores com os quais tive contato e que me passaram conhecimentos interessantes e necessários, assim como experiências de vida que me instruíram a ser um bom cidadão, ter sede por conhecimento e questionar as injustiças da realidade.

Mostro minha gratidão aos verdadeiros amigos e a todos os momentos que passamos juntos. Ainda haverá o dia que veremos nossos netos envolvidos em suas brincadeiras e nos lembraremos das nossas epopeias enquanto jovens. Vamos rir, chorar, brigar, mas no fim, começaremos a rir de novo.

Não poderia esquecer das pessoas mais importantes da minha vida. Meu padrasto Conrado, minha mãe Jeane, minha irmã Ângela e a mais nova integrante da família, minha irmã Yasmin, que nesta data possui apenas um ano de idade e é a felicidade da casa. Agradeço por entenderem meus períodos reclusos, porém necessários.

Em especial, minha enorme gratidão para minha mãe Jeane. Não tenho palavras que possam expressar o quanto sou grato pelo amor que ela tem me ofertado, pelos desafios que superou para poder me dar a melhor educação ao seu alcance. Toda e qualquer conquista que eu tenha na vida, devo a ela. Quando pensar em desistir, vou lembrar que ela não desistiu.

Lá se foi a primeira grande maratona, que venham as outras.

Vinícius Campigotto Torres

“Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Não importa quais sejam os obstáculos e as dificuldades. Se estamos possuídos de uma inabalável determinação, conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho” (DALAI LAMA).

RESUMO

O presente trabalho aborda as patologias que ocorrem em estruturas de concreto armado na construção civil, bem como suas causas e procedimentos de recuperação. Foi dada ênfase à importância da utilização de métodos e técnicas adequados durante o processo de concepção do projeto e execução do mesmo, como forma de prevenir o aparecimento de patologias, ou retardá-las em caso de manifestações de ocorrência natural. A fim de aprofundar e aplicar o conhecimento adquirido durante a revisão bibliográfica, dois estudos de caso foram realizados junto de um profissional especializado na área de recuperação estrutural. As estruturas analisadas localizam-se em Santa Catarina, na microrregião de Tubarão, e já apresentavam patologias em estágio avançado. Como parte do estudo de caso, foram feitos o levantamento das patologias visuais nos elementos estruturais, a análise para identificar a causa do problema, a proposta de solução e, em um dos casos, a execução da recuperação estrutural. Por fim, como fruto deste trabalho, um organograma foi gerado pelos autores com o intuito de indicar boas práticas de fácil entendimento que, se adotadas, reduzem o risco de falhas humanas durante a concepção do projeto e execução da obra, conseqüentemente reduzindo o risco do aparecimento de patologias nas estruturas de concreto armado.

Palavras-chave: Construção Civil. Concreto Armado. Patologia. Recuperação.

ABSTRACT

The present work covers reinforced concrete structures' pathologies in civil construction, as well as their causes and recovery procedures. Emphasis was placed on the importance of using appropriate methods and techniques during the project's inception phase and implementation, as a way to prevent pathologies' onset, or to delay them in case of manifestations of natural occurrence. In order to deepen and apply the knowledge acquired during the bibliographic research, two case studies were made with a structural recovery specialized professional. The analyzed structures are located in Santa Catarina, in the microregion of Tubarão, and already had advanced stage pathologies. As part of the case study, first, the visual pathologies in the structural elements were listed, then a problem's cause identification analysis was made, and, ultimately, a solution was proposed and, in one case, the structural recovery was implemented. Finally, as a result of this work, an organization chart was generated by the authors with the intention of indicating easily understandable good practices that, if adopted, reduce the risk of human failures during the project's early stages and execution, consequently reducing the reinforced concrete structures' risk of developing pathologies.

Keywords: Civil Construction. Reinforced Concrete. Pathology. Recovery.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Cimento.....	17
Figura 2: Agregado miúdo (areia)	18
Figura 3: Agregado graúdo (brita).....	18
Figura 4: Pasta de cimento e água	19
Figura 5: Argamassa.....	19
Figura 6: Concreto simples.....	19
Figura 7: Berço de concreto para estrutura de drenagem	21
Figura 8: Aderência por resistência mecânica entre o concreto e o aço nervurado.....	22
Figura 9: Caminhão Betoneira (agitação mecânica) e lançamento direto	26
Figura 10: Concreto bombeado e lançamento através de tubulação	27
Figura 11: Saída da tubulação do concreto bombeado	27
Figura 12: Vergalhões	28
Figura 13: Laje maciça	30
Figura 14: Laje nervurada.....	30
Figura 15: Laje pré-fabricada com utilização de vigotas	31
Figura 16: Viga de concreto	31
Figura 17: Vigas pré-moldadas	32
Figura 18: Seção de pilar	32
Figura 19: Pilares pré-moldados posicionados.....	33
Figura 20: Esforços solicitantes na viga.....	34
Figura 21: Comportamento resistente de uma viga biapoiada.	35
Figura 22: Falha de concretagem.....	39
Figura 23: Desenvolvimento da reação álcalis-agregado no concreto.	45
Figura 24: Fissura do concreto armado.	58
Figura 25: Formação de fissuras por assentamento plástico do concreto.....	59
Figura 26: Corrosão por insuficiência de cobrimento.	61
Figura 27: Desagregação do concreto.	62
Figura 28: Apicoamento mecânico.....	65
Figura 29: Apicoamento manual.	66
Figura 30: Corte de concreto - Profundidade de remoção.....	67
Figura 31: Situações de confrontação corte x comprimento de ancoragem e amarração de barras de complementação.....	68
Figura 32: Demolição do concreto.	69

Figura 33: Tratamento de fissura por injeção.....	71
Figura 34: Selagem de fendas com abertura ω entre 10 e 30 mm.	72
Figura 35: Vedação de fendas com aberturas ω superiores a 30 mm.....	73
Figura 36: Reparo de uma fissura por costura.....	74
Figura 37: Localização viga 15 – Projeto estrutural.....	76
Figura 38: Situação da Viga 15.	76
Figura 39: Abertura da Viga 15.....	77
Figura 40: Detalhamento da viga 15.	78
Figura 41: Abertura da Viga 8.....	78
Figura 42: Localização da Viga 8 – Projeto estrutural.....	79
Figura 43: Situação da viga 8.	80
Figura 44: Abertura da viga 8.....	80
Figura 45: Detalhamento da viga 8.	81
Figura 46: Planta de forma projeto estrutural.....	82
Figura 47: Laje em balanço.	82
Figura 48: Pescoço com armadura totalmente exposta.	84
Figura 49: Pescoço com aparecimento de ninhos/bicheiras.....	84
Figura 50: Pescoço com aparecimento de ninhos/bicheiras e armadura exposta.....	85
Figura 51: Vigas baldrame com aparecimento de ninhos/bicheiras.....	86
Figura 52: Vigas baldrame com aparecimento de ninhos/bicheiras.....	86
Figura 53 - Organograma causas intrínsecas.....	88
Figura 54 - Organograma causas extrínsecas.	89
Figura 55: Quadro para diagnóstico de fissuras em vigas.....	90
Figura 56: Recuperação da viga 15.	91
Figura 57: Recuperação entre as vigas 8 e 15.	92
Figura 58: Colocação dos estribos na viga 8.....	93
Figura 59: Execução da caixaria da viga 8.....	93
Figura 60: Método de recuperação de segregação.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Capacidade de combate a patologias dos diferentes tipos de cimento Portland.....	25
Tabela 2: Classes de agressividade ambiental (CAA).....	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	IMPORTÂNCIA DO TEMA.....	12
1.2	JUSTIFICATIVA	12
1.3	OBJETIVOS	13
1.3.1	Objetivo geral	13
1.3.2	Objetivos Específicos.....	13
1.4	METODOLOGIA	14
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1	CONCRETO	17
2.2	CONCRETO SIMPLES ESTRUTURAL.....	20
2.3	CONCRETO ARMADO	21
2.3.1	Vantagens e desvantagens do concreto armado	23
2.3.2	Composição do concreto	24
2.3.3	Transporte e lançamento	25
2.4	AÇO	27
2.4.1	Classificação do aço para uso no concreto armado.....	28
2.5	ELEMENTOS ESTRUTURAIS.....	29
2.5.1	Armadura de aço em uma viga de concreto armado	33
2.6	PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	36
2.6.1	Tipos de patologias nas estruturas de concreto armado.....	37
2.6.2	Causas intrínsecas	38
2.6.2.1	Falhas humanas durante a execução.....	38
2.6.2.1.1	<i>Falha de concretagem</i>	<i>38</i>
2.6.2.1.2	<i>Inconformidade de formas e escoramentos</i>	<i>40</i>
2.6.2.1.3	<i>Insuficiência nas armaduras.....</i>	<i>41</i>
2.6.2.1.4	<i>Má utilização dos materiais de construção</i>	<i>41</i>
2.6.2.1.5	<i>Falta de controle de qualidade.....</i>	<i>42</i>
2.6.2.1.6	<i>Falhas humanas na utilização</i>	<i>43</i>
2.6.2.2	Causas naturais	44
2.6.2.2.1	<i>Estrutura porosa do concreto.....</i>	<i>44</i>
2.6.2.3	Causas químicas	45
2.6.2.4	Causas físicas.....	47

2.6.2.5	Causas biológicas	47
2.6.3	Causas extrínsecas.....	48
2.6.3.1	Falhas humanas durante a concepção de projeto.....	48
2.6.3.1.1	<i>Avaliação incorreta das cargas.....</i>	48
2.6.3.1.2	<i>Detalhamento incorreto ou insuficiente</i>	48
2.6.3.1.3	<i>Inconformidade ao ambiente</i>	49
2.6.3.1.4	<i>Não correção na interação solo-estrutura</i>	50
2.6.3.1.5	<i>Não correção das juntas de dilatação</i>	51
2.6.3.2	Falhas humanas durante a utilização da estrutura	51
2.6.3.2.1	<i>Alterações estruturais.....</i>	52
2.6.3.2.2	<i>Exagero de sobrecargas</i>	52
2.6.3.2.3	<i>Alterações do terreno de fundação.....</i>	53
2.6.3.3	Ações mecânicas	53
2.6.3.4	Ações físicas	54
2.6.3.5	Ações químicas.....	55
2.6.3.6	Ações biológicas.....	56
2.7	PROCESSOS FÍSICOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO	57
2.7.1	Fissuração	57
2.7.1.1	Contração plástica do concreto.....	58
2.7.1.2	Perda de aderência e assentamento do concreto.....	59
2.7.1.3	Movimentação de formas e escoramentos.....	60
2.7.1.4	Corrosão das armaduras	60
2.7.2	Desagregação do concreto	61
2.8	RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL, REPARO E LIMPEZA.....	62
2.8.1	Intervenções superficiais.....	63
2.8.1.1	Polimento.....	63
2.8.1.2	Lavagens.....	64
2.8.1.3	Apicoamento.....	65
2.8.1.4	Saturação	66
2.8.1.5	Remoção profunda do concreto degradado	67
2.8.1.6	Escolha do tipo de intervenção superficial a adotar	69
2.8.2	Demolição do concreto	69
2.8.3	Tratamento de fissuras	70
2.8.3.1	Injeção	70
2.8.3.2	Selagem	72

2.8.3.3 Grampeamento	73
3 ESTUDOS DE CASO	75
3.1 RESIDÊNCIA A	75
3.1.1 Patologias identificadas.....	75
3.2 RESIDÊNCIA B	83
3.2.1 Patologias identificadas.....	83
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	88
4.1 RECUPERAÇÃO DAS PATOLOGIAS IDENTIFICADAS NA RESIDÊNCIA A	91
4.2 RECUPERAÇÃO DAS PATOLOGIAS IDENTIFICADAS NA RESIDÊNCIA B	94
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	96
5.1 CONCLUSÃO	96
5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	97
REFERÊNCIAS	98

1 INTRODUÇÃO

1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

As patologias na construção civil tem se tornado um tema cada vez mais importante de ser estudado, pois está ligado diretamente a qualidade da construção e também ao elevado nível de prejuízos que tem sido decorrentes de problemas que se manifestam nas edificações.

No Brasil, ainda existem muitas falhas no sistema construtivo, devido à falta de conhecimento técnico e muitas vezes o descaso com os procedimentos. Ainda que ao longo dos anos tenha ocorrido uma grande evolução nos produtos e métodos para execução na construção civil, as construções ainda continuam tendo erros e vícios.

A maioria das empresas visam o baixo custo da obra e muitas vezes acabam contratando mão de obra de péssima qualidade e que não possuem o conhecimento técnico necessário para o desenvolvimento de tal procedimento construtivo.

Em estruturas privadas o não acompanhamento de um engenheiro de execução devidamente habilitado, e também a ausência de um projeto estrutural dimensionado para tal estrutura, ocasionam problemas patológicos, que poderiam ser evitados desde a concepção de projeto, até a execução do mesmo.

A não contratação do profissional técnico habilitado, a falta de acompanhamento do projeto estrutural e o não cumprimento dos procedimentos construtivos do projeto estrutural segundo a NBR 6118/2014, são alguns dos fatores elencados nos estudos de casos que serão verificados ao longo deste trabalho.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com o avanço tecnológico da construção civil e da engenharia, obras de maior complexidade foram passíveis de concepção e puderam ser realizadas em tempo reduzido. Contudo, algumas práticas acarretam a formação de problemas estruturais que oferecem perigo aos usuários das edificações.

No Brasil, ainda se utiliza mão de obra pouco especializada em habitações unifamiliares. Com pouco ou nenhum acompanhamento de um profissional técnico habilitado durante a execução da obra. Em construções de maior porte, os cronogramas físico/financeiros cada vez mais apertados e a política de licitação do “mais barato vence” faz

com que a cobrança do “fazer mais com menos” tenha seu limite ultrapassado e por consequência, o detrimento da qualidade. Em alguns casos, a própria complexidade da edificação pode ser o suficiente para possibilitar o surgimento de manifestações patológicas estruturais.

Dessa forma, a imperícia, negligência e, em alguns casos, a falta de sorte, permitem, dentre outros problemas, o surgimento de patologias estruturais. O tipo de patologia existente na estrutura da edificação pode definir se uma recuperação ou reforço é o suficiente para torná-la segura novamente ou se outra abordagem mais extrema seria necessária.

Neste sentido, este trabalho tem como objetivo analisar as estruturas de concreto armado, adotando como estudos de casos, duas edificações privadas localizados no município de Tubarão/SC e Laguna/SC, para verificar se a execução dos projetos estruturais e de toda construção, tiveram o devido acompanhamento de profissionais técnicos habilitados e se a concepção de projeto estaria apropriada para sua execução.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Apresentar as principais manifestações patológicas que ocorrem em elementos estruturais de concreto armado, através de estudos de caso em edificações privadas localizadas nos municípios de Tubarão/SC e Laguna/SC, identificando as patologias estruturais, suas causas e descrevendo soluções aos problemas encontrados.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar pesquisa bibliográfica referente às patologias estruturais no concreto armado, apontando suas causas e sintomas;
- b) Apresentar os principais métodos e materiais utilizados na recuperação ou reforço estrutural;
- c) Identificar os problemas causados pela falta de manutenção na estrutura de edificações de concreto armado;
- d) Apresentar maneiras de evitar ou diminuir as manifestações patológicas durante a fase de projeto de edificações de concreto armado;

e) Analisar estudos de caso de edificações que apresentem sinais de deterioração nas estruturas de concreto armado, avaliar a necessidade de intervenção estrutural e propor soluções para os problemas levantados;

f) Propor um modelo de fácil entendimento para prevenção e investigação de problemas patológicos.

1.4 METODOLOGIA

Esta pesquisa consiste numa abordagem exploratória e descritiva, adotando como estudo de caso a análise de duas edificações unifamiliares, localizadas nos municípios de Tubarão/SC e Laguna/SC, visando identificar patologias nas respectivas estruturas de concreto armado, apontando suas causas e possíveis soluções.

Quanto aos objetivos propostos foi utilizado a pesquisa bibliográfica que segundo Silva (2012), “[...] é o ato de fichar, relacionar, referenciar, ler, arquivar e fazer resumo com assuntos relacionados a pesquisa em questão”. Desta forma, o pesquisador investiga diferentes contribuições científicas sobre o tema a ser estudado, ao qual pode confirmar, confrontar ou enriquecer suas teorias.

A pesquisa bibliográfica pode ser desenvolvida através de sete etapas, que seriam:

- a) escolha do tema;
- b) delimitação do tema e formulação do problema;
- c) elaboração do plano de desenvolvimento da pesquisa;
- d) identificação, localização das fontes e obtenção do material;
- e) leitura do material;
- f) tomada de apontamentos;
- g) redação do trabalho.

Na primeira etapa é definido o tema a ser desenvolvido e pesquisado. Na escolha do tema o pesquisador deve levar em conta o interesse pelo assunto e também a familiaridade pelo mesmo, após deve identificar a existência de fontes bibliográficas para desenvolver sua pesquisa (Leonel e Motta, 2011).

Visando o aprofundamento do conhecimento da pauta em estudo, a abordagem exploratória foi utilizada. Esse tipo de pesquisa tem como objetivo proporcionar maior

intimidade com o elemento em estudo. Quando o pesquisador não dispõe de entendimento satisfatório para propor de forma adequada um problema ou sua hipótese não é precisa o suficiente, nesse caso é necessário “desencadear um processo de investigação que identifique a natureza do fenômeno e aponte as características essenciais das variáveis que se quer estudar” (KÖCHE, 1997, p. 126, apud MOTTA et al., 2013).

Gil (1991), afirma que as pesquisas exploratórias são bastante flexíveis, de forma que permite a consideração dos mais diferentes aspectos relativos ao objeto estudado. Esse tipo de pesquisa pode envolver:

- a) levantamento bibliográfico;
- b) entrevistas com pessoas que possuem *know-how* do tema em estudo;
- c) análise de exemplos.

Já a abordagem descritiva, é “[...]aquela que analisa, observa, registra e correlaciona aspectos (variáveis) que envolvem fatos ou fenômenos, sem manipulá-los.” (Motta et al., 2013). Os diversos acontecimentos são investigados sem qualquer intervenção do pesquisador, que tem por objetivo descobrir com a maior precisão possível, com que frequência um ou mais fenômenos ocorrem, suas características, causas e relação com outros fatores.

Para Gerhardt e Silveira (2009), por se tratar de descrever um fenômeno ou fato, para desenvolver com sucesso a pesquisa descritiva, é necessário que o pesquisador já tenha informações a respeito do que deseja pesquisar e também conhecimento técnico relevante ao objeto de estudo. Caso contrário uma descrição não exata dos fenômenos pode ocorrer devido a falta de conhecimento para promover um exame crítico sobre o fato estudado, tornando dificultosa a possibilidade de outros verificarem os acontecimentos novamente.

Para a concretização da pesquisa foi realizado também um estudo de caso que pode ser definido como “[...] um estudo exaustivo, profundo e extenso de uma ou de poucas unidades, empiricamente verificáveis, de maneira que permita seu conhecimento amplo e detalhado” (Leonel e Motta, 2013).

O estudo de caso seguirá a seguinte sequência:

- a) Análise das estruturas de concreto armado e comparação com o levantamento bibliográfico, para identificação das patologias existentes;
- b) Propor soluções corretivas para sanar os problemas encontrados;
- c) Acompanhamento da recuperação estrutural.

Por fim, como considerações finais, será feita uma análise e discussão do tema abordando as principais causas das patologias estudadas. Como resultado, um organograma será proposto contendo práticas adequadas de execução e concepção de projetos, visando diminuir o risco do aparecimento de patologias em estruturas de concreto armado.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho será dividido, estruturalmente, em capítulos para que possa facilitar a compreensão.

No primeiro capítulo está apresentada a introdução, expondo o tema de pesquisa, a justificativa, os objetivos, os procedimentos metodológicos adotados e a estrutura que integra o trabalho.

O capítulo dois trará uma fundamentação teórica sobre o concreto armado, buscando explicar sua composição, forma de execução e através das teorias e abordagens compreender melhor sobre a funcionalidade do concreto armado. Serão expostas as patologias que mais se manifestam em estruturas de concreto armado, divididas de formas intrínsecas e extrínsecas para que se possa ter uma melhor compreensão da diferença entre elas e como elas ocorrem. Haverá descrição sobre os tipos de deterioração do concreto armado por processos físicos, que podem ocorrer por fissuras ou degradação do concreto. Serão descritas as formas de limpeza, reparo e recuperação dos tipos de patologias apresentados.

No terceiro capítulo será exposto o estudo de caso, onde terá a análise das patologias que se manifestaram nas estruturas privadas em questão.

O quarto capítulo será desenvolvido a análise dos resultados obtidos durante o estudo de caso e a revisão bibliográfica com a montagem do organograma.

No quinto e último capítulo trará a conclusão dos autores obtida com o desenvolvimento da pesquisa bibliográfica e resultados do estudo de caso.

Por último será apresentado às referências bibliográficas utilizadas para compor este trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONCRETO

Segundo o Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON, 2008), o concreto é um material construtivo amplamente utilizado em todo o mundo, devido sua versatilidade. Podemos encontrá-lo em casas de alvenaria, rodovias, torres de resfriamento, nos edifícios mais altos do planeta, usinas hidrelétricas e nucleares, plataformas de extração de petróleo, obras de saneamento, etc. A *Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado* (FIHP) estima que no Brasil se consome em média 1,9 toneladas de concreto por habitante ao ano, valor inferior apenas ao consumo de água.

A *American Society for Testing and Materials* (ASTM) afirma que o concreto é um material composto que consiste de um meio aglomerante no qual diferentes partículas estão aglutinadas. O material aglomerante é o cimento em contato com a água e, os agregados são qualquer material granular como areia e seixo. Os aditivos e químicos também podem ser utilizados quando o concreto ainda está no estado fresco, visando alterar suas propriedades para adequá-lo as necessidades construtivas.

Para Bastos (2006), o concreto na sua forma simples é um material composto formado por água, cimento, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (pedra ou brita) e ar, conforme podem ser observados nas figuras abaixo.

Figura 1: Cimento



Fonte: BASTOS, 2006, p. 2.

Figura 2: Agregado miúdo (areia)



Fonte: BASTOS, 2006, p. 2.

Figura 3: Agregado graúdo (brita)



Fonte: BASTOS, 2006, p. 2.

Pode-se utilizar, além desses, outros materiais na composição (cinza volante, pozolanas, sílica ativa, etc.) visando alterar uma ou mais características. Aditivos químicos são igualmente utilizados com o mesmo intuito de modificar as propriedades básicas do concreto (consistência, resistência, tempo de cura, etc.).

Para Fusco (2008), misturando-se cimento e água obtemos a pasta de cimento, indicado na Figura 4, a argamassa é a mistura entre a pasta de cimento e o agregado miúdo indicado na Figura 5 e adicionando-se o agregado graúdo, como a pedra britada, na argamassa, obtemos o concreto simples, conforme indicado na Figura 6.

Figura 4: Pasta de cimento e água



Fonte: BASTOS, 2006, p. 2.

Figura 5: Argamassa



Fonte: BASTOS, 2006, p. 2.

Figura 6: Concreto simples



Fonte: BASTOS, 2006, p. 2.

Algumas propriedades do concreto que garantem a ele o título de material extremamente versátil na construção são: sua resistência à água, que diferentemente da

madeira e do aço, quando exposto à água sua deterioração ocorre de maneira bastante lenta, e sua plasticidade quando no estado fresco, que torna possível o molde de elementos com as mais variadas formas.

Mas há outras vantagens no seu uso, como a disponibilidade abundante de suas matérias primas, o baixo custo de sua utilização na construção e, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), a sustentabilidade desde a obtenção de sua matéria prima até o uso nas obras, já que consome muito menos energia que o aço, alumínio, vidro, e também emite proporcionalmente menor quantidade de gases e partículas nocivas ao meio ambiente (IBRACON, 2008).

2.2 CONCRETO SIMPLES ESTRUTURAL

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) através da NBR 6118/2014 divide os elementos de concreto estrutural em dois grupos, os elementos de concreto simples estrutural e os elementos de concreto armado. O concreto propriamente dito é classificado em dois grupos, o concreto do grupo 1, de resistência (C20 a C50) e o concreto do grupo 2, de resistência (C55 a C90). O número que segue a letra “C” na classificação do concreto é referente a sua resistência característica à compressão em megapascal (MPa), por exemplo, o concreto C30 tem resistência característica à compressão igual a 30 MPa.

Júnior (2011) afirma que o Concreto de Alto desempenho (CAD) está sendo cada vez mais empregado, é obtido com adição de superfluidificantes e sílica ativa. O CAD apresenta características muito superiores ao concreto comum, ele é mais resistente, menos poroso, mais durável, mais impermeável, resiste melhor a ambientes agressivos, etc. Sua resistência característica à compressão (f_{ck}) atingi valores superiores à 100 MPa.

Araújo, Rodrigues e Freitas (2000) destacam como característica imperiosa do concreto, sua resistência mecânica quando endurecido, ou seja, sua capacidade de resistir a esforços de compressão, tração, flexão e ao cisalhamento. Contudo salientam que, o aumento da resistência do concreto após o início do endurecimento (cura) acontece de forma gradual, atingindo entre 75% e 90% de sua resistência máxima com 28 dias de cura.

Para aplicação estrutural, sabe-se que o concreto é um material que resiste muito bem aos esforços solicitantes de compressão e muito mal aos de tração, ficando sua aplicação restrita a necessidades onde a compressão da peça de concreto supera em muito a tração sofrida (COELHO, 2008).

Podemos utilizar o concreto simples com função estrutural em pilares, quando não existirem esforços laterais e a carga axial se encontrar preferencialmente no centroide do pilar ou no máximo no limite do núcleo do centro de inércia, em pilares paredes (nesse caso a carga axial pode estar distribuída) e em arcos, se confirmado a não existência de nenhuma tensão de tração nas seções transversais (NBR 6118, 2014).

Pinheiro (2010) afirma que pode-se empregar o concreto simples em obras de pavimentação rígida, como elemento arquitetônico em edifícios, como piso industrial, em tubulações de pequeno diâmetro, em obras de contenção de solos, elementos de cobertura, mourões, na regularização de superfície para assentamento de fundações e outras obras (berço de concreto, ver Figura 7), etc.

Figura 7: Berço de concreto para estrutura de drenagem



Fonte: CONSTRUTORA BONETTI, 2017.

2.3 CONCRETO ARMADO

Segundo Bastos (2006) podemos definir concreto armado como a interação entre o concreto simples e um material resistente à tração, este devendo estar envolto pelo concreto, de modo que os dois materiais trabalhem em conjunto para resistir as forças mecânicas.

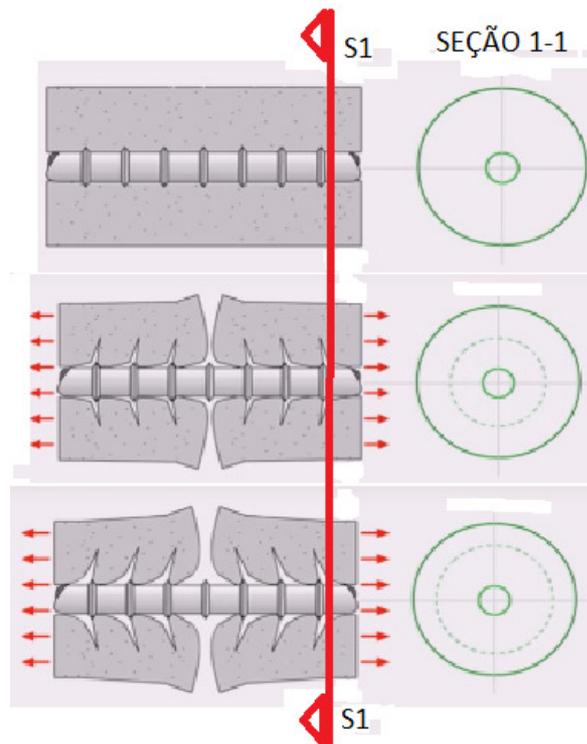
Na visão de Alves (2014), o concreto armado é obtido por meio da associação entre concreto simples e uma armadura convenientemente posicionada, chamada de armadura

passiva, de tal modo que os dois materiais resistam de forma solidária aos esforços solicitantes.

Mesmo que uma armadura passiva resistente a tração esteja corretamente posicionada no elemento estrutural de concreto, para que as tensões de tração sejam efetivamente transmitidas à armadura, é necessário que haja aderência entre o concreto e o material resistente a tração em questão.

A necessidade dessa aderência é o motivo pelo qual os vergalhões de aço destinados a resistir à tração, apresentam nervuras em sua superfície e não são lisos (ver Figura 8), o que diminuiria a eficiência do aço no conjunto e facilitaria seu escorregamento dentro do elemento estrutural (Júnior, 2011).

Figura 8: Aderência por resistência mecânica entre o concreto e o aço nervurado



Fonte: ALTOQI, 2010 - adaptado pelos autores.

A NBR 6118/2014 diz que em se tratando de armadura de aço, para que o elemento construtivo seja considerado de concreto armado ele deve apresentar uma taxa de armadura mínima absoluta ou mínima de cálculo (adota-se a maior), que varia conforme o componente estrutural (lajes, pilares, vigas, etc.) e a função da armadura (combater esforços de tração, cortante, flambagem, etc.).

Bastos (2006), afirma que:

O concreto é um material que apresenta alta resistência às tensões de compressão, porém, apresenta baixa resistência à tração (cerca de 10 % da sua resistência à compressão). Assim sendo, é imperiosa a necessidade de juntar ao concreto um material com alta resistência à tração, com o objetivo deste material, disposto convenientemente, resistir às tensões de tração atuantes. Com esse material composto (concreto e armadura – barras de aço), surge então o chamado “concreto armado”, onde as barras da armadura absorvem as tensões de tração e o concreto absorve as tensões de compressão, no que pode ser auxiliado também por barras de aço (caso típico de pilares, por exemplo).

Alves (2014) ainda cita que não apenas o aço pode ser usado para combater as tensões de tração no concreto, mas outros materiais podem ser empregados, como o bambu por exemplo, quando apresentam boa resistência a esse tipo de esforço, e levando-se em conta outros fatores, dentre eles, a durabilidade.

2.3.1 Vantagens e desvantagens do concreto armado

De acordo com Alves (2014), o concreto armado é utilizado principalmente com função estrutural e as vantagens de seu emprego são:

- a) Facilidade e rapidez na construção, principalmente no caso de se utilizar peças pré-moldadas;
- b) Economia em função do baixo custo dos materiais e da mão de obra envolvida;
- c) Adaptabilidade a qualquer forma construtiva, em função da boa trabalhabilidade;
- d) Processos construtivos bastante conhecidos em qualquer lugar do país;
- e) Boa resistência a diversas solicitações, incluindo-se a resistência ao fogo e ao choque;
- f) Materiais de fácil obtenção;
- g) Conservação fácil e de baixo custo, desde que a estrutura tenha sido convenientemente projetada e construída;
- h) Boa transmissão de esforços, em função da obtenção de estruturas monolíticas (concretagem in loco);
- i) Boa aderência entre os materiais e comportamento idêntico do concreto e do aço com relação aos módulos de deformação térmica.

Bueno (2000), refere-se ao concreto armado especificamente como sendo a interação entre o concreto simples e o aço, para ele as vantagens do uso do concreto armado são:

- a) Módulos de dilatação térmica praticamente idênticos (diferença na ordem de $0,0000002 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$);
- b) Boa aderência natural entre ambos materiais;
- c) Preservação do ferro contra a ferrugem;
- d) Resistência mecânica, a vibrações e ao fogo satisfatórios;

- e) Adequação a praticamente qualquer forma construtiva, inclusive peças esculturais;
- f) A resistência mecânica aumenta conforme o tempo;
- g) Elementos higiênicos;
- h) Obtenção de estrutura monolítica.

Todavia, o autor ressalta que há também desvantagens no uso do concreto armado, como por exemplo:

- a) Impossibilidade de alterações;
- b) Demolição de alto custo e sem aproveitamento do material;
- c) Necessidade do uso de formas e ferragens corretamente posicionadas;
- d) Dificuldade para moldagem de peças com seção reduzida.

Apesar de Bastos (2006) afirmar que o concreto armado é um material extremamente versátil e bastante vantajoso, para o autor, algumas características intrínsecas desse material conferem a ele certas desvantagens, se comparado a outros materiais mais leves e flexíveis:

- a) Peso específico elevado (em torno de 2000kg/m^3 a 2800kg/m^3 conforme NBR 6118/2014);
- b) Caso necessário, reformas e adaptações na estrutura são de difícil execução;
- c) Fissuração ocorre normalmente e deve ser previsto e controlado;
- d) É um isolante térmico e acústico de baixo rendimento.

Apesar do alto peso, o concreto pode ser associado a outros materiais para se tornar mais leve. Alves (2014) afirma que podemos adotar valores de peso específico entre 1200kg/m^3 a 1600kg/m^3 para concretos leves (que utilizam na composição escórias, vermiculita, EPS, argila expandida, etc).

2.3.2 Composição do concreto

O tipo de material empregado na composição do concreto, bem como a quantidade, deve ser cuidadosamente selecionado, pois diferentes materiais vão conferir diferentes características ao concreto. Sendo que, em se tratando de resistência mecânica, essa depende de três fatores principais, a resistência do agregado, da pasta e da ligação entre

agregado e a pasta (Araújo, Rodrigues e Freitas, 2000). A Tabela 1, mostra um exemplo da capacidade de prevenção a patologias nas estruturas de concreto, apenas utilizando diferentes tipos de cimento Portland.

Tabela 1: Capacidade de combate a patologias dos diferentes tipos de cimento Portland

PATOLOGIA	CIMENTO PORTLAND
Lixiviação	CP III / CP IV
Reações álcali-agregado	Pozolânicos CP IV
Profundidade de carbonatação	CP I / CP V
Penetração de cloretos	CP III / CP IV / Adição de microssílica e cinza de casca de arroz

Fonte: ALVES, 2014 com adaptação dos autores.

Outra importante característica do concreto é o fator água/cimento (a/c), sendo que quanto menor for essa relação, mais cimento há na composição e conseqüentemente maior resistência e menor trabalhabilidade o concreto vai apresentar. Em contrapartida, quanto maior a relação a/c menor a quantidade de cimento, menor a resistência e maior a trabalhabilidade (ALVES, 2014).

A fixação da relação a/c depende de fatores como a resistência mecânica de projeto necessária (f_{cd}) do concreto, das necessidades relativas a durabilidade (impermeabilidade, ação de líquidos e gases agressivos, temperatura, etc.), controle de retração, forma de transporte, lançamento e adensamento, e eventuais dificuldades de execução das peças (Júnior, 2011).

2.3.3 Transporte e lançamento

O concreto deve ser transportado do local onde ocorre o amassamento até onde será utilizado num tempo não superior à uma hora. O meio empregado para o transporte não deve gerar desagregação ou separação dos elementos que constituem o concreto, ou mesmo perda por vazamento ou evaporação (COELHO, 2008).

Conforme apresentado na Figura 9, caso utilizado agitação mecânica, o tempo restante para o lançamento poderá ser iniciado a partir do fim da agitação. Com a utilização de

retardadores de pega, o prazo ainda poderá ser alterado conforme especificações do aditivo. No entanto, nunca deverá ser feito o lançamento do concreto após o início da pega.

Figura 9: Caminhão Betoneira (agitação mecânica) e lançamento direto



Fonte: CONCRELIT, 2017.

O transporte em pequenas obras acaba sendo feito por baldes e carrinhos de mão, já em obras maiores é necessário a utilização de transporte a vácuo ou por esteiras, porém independentemente do método utilizado, deve-se garantir o correto apiloamento do concreto durante o lançamento nas formas utilizando-se ponteiros de ferro, vibradores mecânicos e até mesmo a própria colher de pedreiro, garantindo dessa forma um concreto menos poroso e suscetível a patologias (Bueno, 2000).

Quando o transporte/lançamento for feito por bombas, conforme apresentados nas Figuras 10 e 11, o diâmetro interno mínimo do tubo deverá ser pelo menos três vezes superior ao diâmetro máximo do material agregado (COELHO, 2008).

Figura 10: Concreto bombeado e lançamento através de tubulação



Fonte: CONCRETATUDO, 2017.

Figura 11: Saída da tubulação do concreto bombeado



Fonte: MASTER MIX, 2017.

2.4 AÇO

Segundo Alves (2014), o aço é uma liga formada, sobretudo, por ferro e carbono em pequena quantidade, podendo ainda ter outros materiais em sua composição (manganês, alumínio, níquel, titânio, cromo, níquel, silício, etc.), apresenta boa resistência e é um material consideravelmente dúctil. O que difere o aço do ferro na composição é a quantidade de carbono, sendo o teor igual 2,04% e entre 2,04 e 6,70% respectivamente. O aço empregado na construção civil tem teor de carbono variando de 0,08% a 0,50%.

Pinheiro (et al., 2010) apresenta uma visão bem mais conservadora em relação ao teor de carbono presente no aço:

O aço é uma liga de ferrocarbono junto de outros elementos químicos adicionais (silício, fósforo, manganês, etc.), resultante da eliminação total ou parcial de elementos inconvenientes que se fazem presentes no produto obtido na primeira redução do minério de ferro. O teor de carbono nessa liga varia de 0 a 1,7%.

A associação entre o aço e o concreto simples é altamente conveniente. O aço apresenta grande ductilidade, incombustibilidade, facilidade de emprego, alta resistência à esforços de tração, flexão, torção, compressão, absorção de impactos, abrasão e resistência aos desgastes físicos e químicos. Enquanto o concreto, apesar da alta resistência à compressão, é um material frágil (costuma se deformar muito pouco antes do colapso) e pouco resistente à tração (FUSCO, 2008).

2.4.1 Classificação do aço para uso no concreto armado

A NBR 7480/2008 dispõe dos requisitos para encomenda, produção e fornecimento de fios e barras de aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado, sendo o aço com revestimento superficial ou não.

Os vergalhões com diâmetro nominal igual a 6,3 milímetros até 40 milímetros, obtidos por processo de laminação a quente, são denominados barras. Os fios por sua vez podem ter diâmetro de 2,4 até 10 milímetros e são obtidos através da trefilação ou laminação a frio.

O que garante ao aço sua denominação usual é a resistência ao escoamento. As barras são classificadas nas categorias CA-25 e CA-50, com valor da resistência característica ao escoamento respectivamente de 250MPa e 500MPa, enquanto os fios estão na categoria CA-60, com valor característico da resistência ao escoamento igual a 600MPa.

Figura 12: Vergalhões



Fonte: NORTACO, 2017.

A Norma ainda afirma que as barras da classe CA-50 devem apresentar nervuras transversais oblíquas (conforme observado na Figura 12 acima), enquanto os fios com classificação CA-60 podem ser lisos, nervurados ou entalhados, a exceção são os fios de 10 milímetros de diâmetro que não podem ser lisos. A classe CA-25 deve ser obrigatoriamente lisa.

2.5 ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Para Bastos (2006), nas estruturas de concreto armado é bastante comum a utilização em três elementos estruturais, são eles: lajes, vigas e pilares.

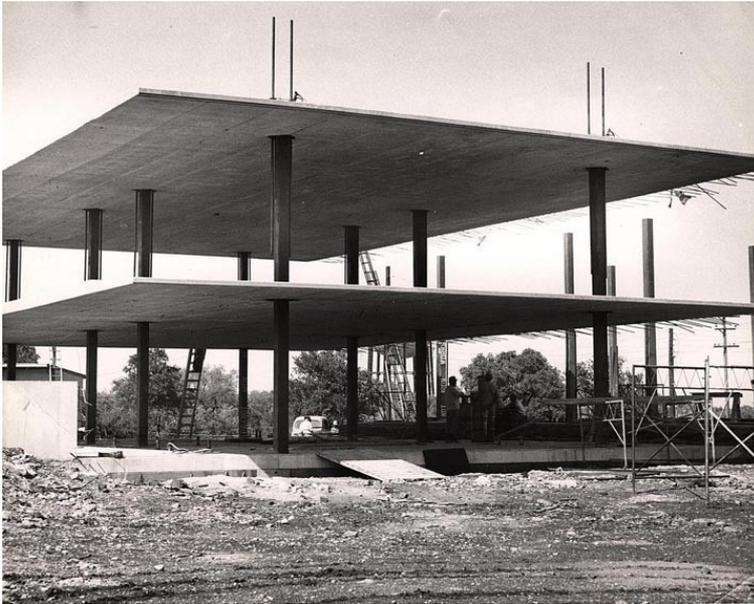
As lajes são elementos bidimensionais (possui comprimento e largura muito superiores à espessura) e podem ser denominados elementos de superfície. Recebem a maior parte dos carregamentos e “[...]além das cargas permanentes, recebem as ações de uso e as transmitem para os apoios; travam os pilares e distribuem as ações horizontais entre os elementos de contraventamento” (Pinheiro, 2010).

Quanto ao tipo, as lajes podem ser maciças, nervuradas ou pré-fabricadas. As maciças (ver Figura 13) possuem espessura entre 7 e 15 centímetros, são amplamente empregadas em edificações de um ou mais patamares e em construções importantes, onde se necessita maior segurança e rigidez, como escolas e hospitais. Não são muito utilizadas em obras residenciais de menor porte por serem de difícil execução se comparada a outras estruturas. E devido ao seu grande peso, exige uma estrutura global da edificação melhor preparada.

As lajes nervuradas (ver Figura 14) eliminam os espaços onde o concreto tracionado não possui armadura, já que no concreto armado a função de resistir à tração é exclusiva do aço, o espaço pode ser ocupado por materiais inertes mais leves, como EPS, ou utilizado moldes removíveis após a concretagem, como consequência são mais leves.

Já as Lajes pré-fabricadas (ver Figura 15), ou treliçadas, são utilizadas amplamente em residências unifamiliares devido principalmente a sua satisfatória transmissão de esforços de baixa exigência e facilidade de instalação (Bastos, 2006).

Figura 13: Laje maciça



Fonte: HOMETAKA, 2013.

Figura 14: Laje nervurada



Fonte: ECIVIL, 2017.

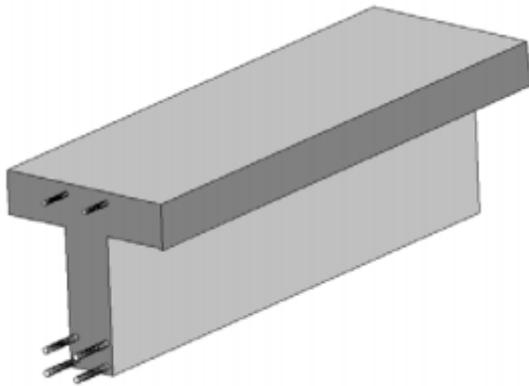
Figura 15: Laje pré-fabricada com utilização de vigotas



Fonte: CIMENTO ITAMBÉ, 2016.

As vigas são elementos lineares (possui uma dimensão muito maior se comparada as outras duas) em que a flexão é preponderante (NBR 6118/2014). Trabalham recebendo as ações de lajes, outras vigas, paredes e eventualmente de pilares. Sua principal função é a de vencer vãos e transmitir os esforços para os apoios, normalmente pilares (Pinheiro, 2004), conforme apresentado na Figura 16 e Figura 17.

Figura 16: Viga de concreto



Fonte: PINHEIRO, 2004.

Figura 17: Vigas pré-moldadas



Fonte: PREMOLDADOS ZORTEA, 2017.

Os pilares são elementos lineares de eixo reto, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes (NBR 6118/2014). Tem como principal função transmitir os esforços recebidos até as fundações, embora pode acontecer de transmitirem para outras estruturas de apoio (Bastos, 2006), conforme demonstradas nas Figura 18 e 19.

Figura 18: Seção de pilar



Fonte: PINHEIRO, 2004.

Figura 19: Pilares pré-moldados posicionados

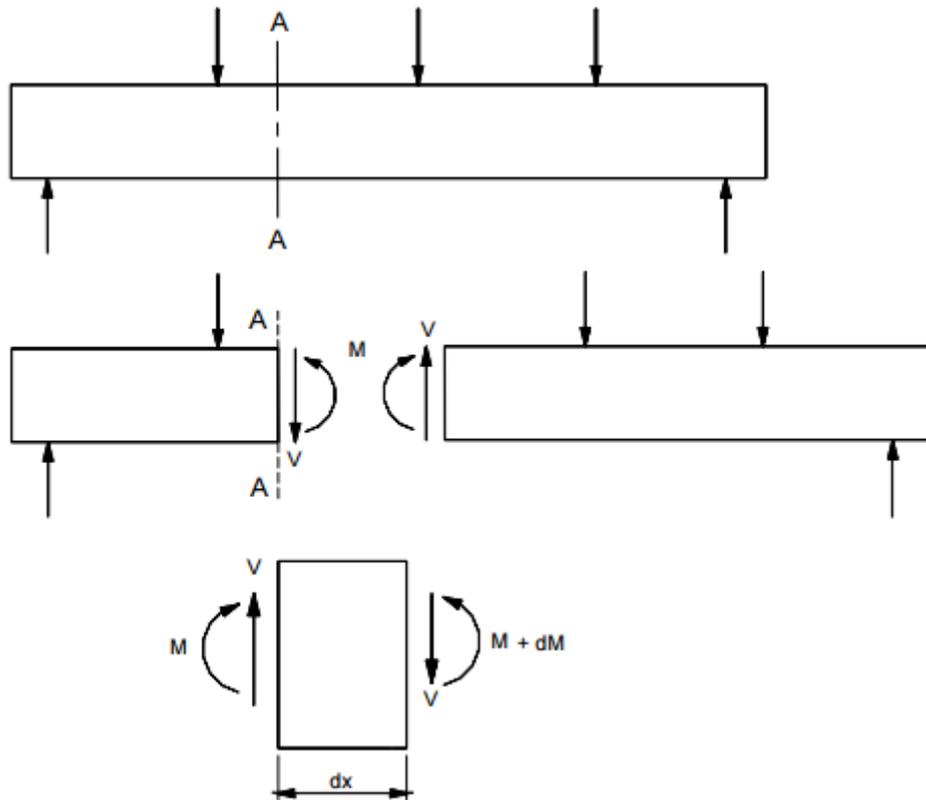


Fonte: ARCHIEXPO, 2017.

2.5.1 Armadura de aço em uma viga de concreto armado

Sendo um elemento constituinte de uma estrutura de concreto armado, a viga tem de resistir a esforços de momento fletor (M) e forças cortantes (V). Normalmente o dimensionamento à tração na flexão é feito primeiro e determinam a seção transversal da viga e a armadura longitudinal. Sequencialmente é feito o dimensionamento ao cisalhamento determinando-se a seção da armadura transversal, como apresentado na Figura 20 (BASTOS, 2004).

Figura 20: Esforços solicitantes na viga



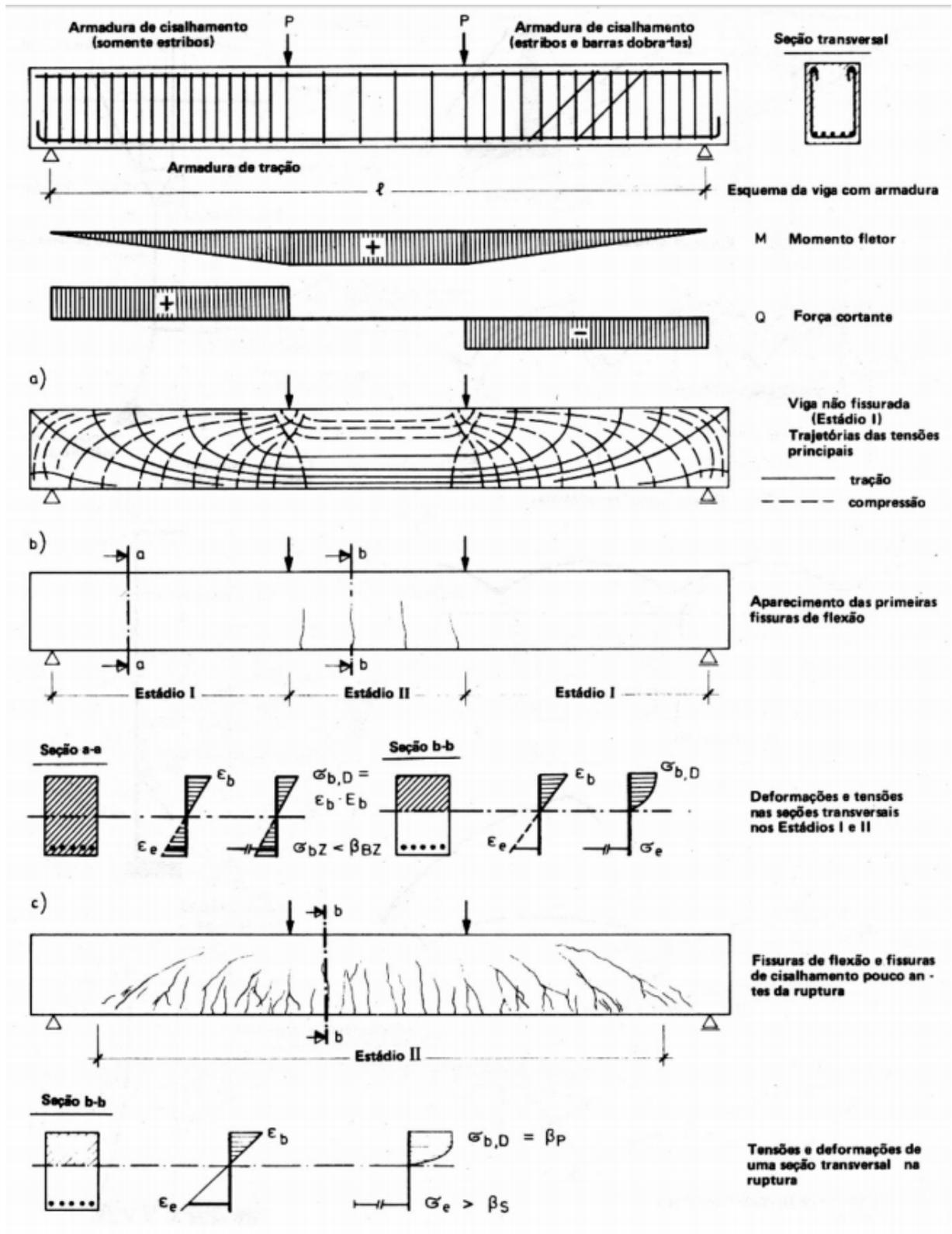
Fonte: BASTOS, 2004.

A NBR 6118/2014 diz que o dimensionamento de qualquer estrutura de concreto armado deve oferecer uma probabilidade suficientemente pequena de colapso. No caso da ocorrência de uma eventual falha é preciso garantir uma boa ductilidade a peça, de modo que o processo de ruína ocorra de forma lenta, dando tempo hábil para tomada de medidas corretivas e alertando os usuários.

Para Bastos (2004) a falha estrutural por cisalhamento é violenta e frágil. Para evitar esse cenário, a armadura de combate à força cortante deve ser superior em termos de garantia à armadura de flexão, já que a ruptura por falha na armadura de flexão costuma ser mais lenta e gradual.

Na Figura 21 é possível identificar a armadura de cisalhamento (vertical e inclinada ao plano horizontal da viga) e de tração (paralela ao plano horizontal da viga), bem como os diagramas de tensão do momento fletor e da força cortante e o desenho esquemático da trajetória das tensões dentro da viga submetida a duas forças “P”.

Figura 21: Comportamento resistente de uma viga biapoiada.



Fonte: LEONHARDT & MONNIG, 1982, apud BASTOS, 2004.

2.6 PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Com o crescimento acelerado da construção civil, naturalmente ocorreu a progressão do desenvolvimento tecnológico e com ele, um maior conhecimento dos materiais e das estruturas. Este conhecimento foi possível devido a estudos e análises de erros que podem ter sido ocasionados por acidentes ou deterioração precoce das estruturas de concreto armado. Através destes estudos, pode-se diagnosticar os problemas patológicos que podem ser do tipo simples, no qual o diagnóstico é evidente, ou complexo, que exige uma análise individual e com maiores detalhes (SOUZA e RIPPER, 1998).

Apesar do concreto armado ser o material mais utilizado na construção civil, o conhecimento e a divulgação das formas construtivas adequadas não acompanharam o crescimento desta atividade construtiva. Com o descuido dos métodos construtivos nas obras, conseqüentemente, reduziu-se a capacidade do concreto de proteger as armaduras contra a corrosão (FERREIRA, 2000).

Tomazeli e Martins (2008, p.13), afirmam que:

Inúmeros são os edifícios que sofrem ou sofrerão de algum tipo de manifestação patológica durante a sua vida útil. Tais manifestações são geralmente oriundas de projetos inadequados ou impraticáveis, do emprego de métodos deficientes de execução ou demolição, de cargas excessivas, e das condições de exposição e inexistência de manutenção preventiva.

As patologias são identificadas externamente de forma bem característica, podendo-se deduzir a natureza e os mecanismos envolvidos, possibilitando a previsão das prováveis conseqüências. Os agentes agressivos que atuam na construção, podem ser evitados durante as etapas iniciais da execução, como também, na concepção de um projeto favoravelmente detalhado, ou pela escolha prudente dos materiais e dos métodos construtivos (REIS, 2001).

Segundo a revista Pini (Ed. 03/2004):

Tudo tem início com a identificação do problema que compromete a estrutura. Equívocos de concepção e planejamento, elementos de projeto inadequados, falta de compatibilidade entre os projetos, erros de dimensionamento e detalhamentos insuficientes são algumas das falhas que podem levar a patologias e, por conseqüência, à necessidade de reparos.

Apesar dos avanços tecnológicos e dos maiores conhecimentos sobre os materiais e métodos, a construção civil ainda é tradicional e atrasada, apresentando grande inércia a

alterações, métodos de gestões ultrapassados e ainda uma resistência a inovações tecnológicas.

Gonçalves (2015, p.17), afirma que “Há uma tolerância com problemas crônicos, como por exemplo, a baixa qualidade no processo e a baixa qualidade do produto final, as edificações, que apresentam inúmeras não-conformidades e patologias”. Vários são os fatores que podem ser considerados neste caso, como o desleixo quanto a manutenção e o usuário presumir que a estrutura de concreto armado duraria de forma ilimitada, sem necessidade de manutenção.

Segundo Lapa (2008), para obter-se uma construção livre de patologias deve-se observar a atuação em todas as fases, desde a concepção de projeto arquitetônico e estrutural, execução da obra, inspeção e manutenção adequada. Além destas observações, deve-se ter o cuidado na composição do traço do concreto e ter os devidos cuidados com o lançamento, adensamento e cura do mesmo.

Desta forma, a patologia das estruturas está iniciando seu caminho pelo cadastramento da situação existente e pelos estudos de casos de sintomas patológicos. Para obter-se um maior desenvolvimento deste estudo patológico, faz-se necessário a ligação de conceitos e métodos, para que esta área possa ser aprimorada (SOUZA e RIPPER, 1998).

2.6.1 Tipos de patologias nas estruturas de concreto armado

Segundo Souza e Ripper (1998), as patologias podem se manifestar de formas extrínsecas ou intrínsecas, ou seja, a análise pode ocorrer internamente ou externamente, dependendo da situação ao qual a patologia se manifesta.

Lapa (2008, p.09), explica as principais causas que deterioram o concreto:

Os processos principais que causam a deterioração do concreto podem ser agrupados, de acordo com sua natureza, em mecânicos, físicos, químicos, biológicos e eletromagnéticos. Na realidade a deterioração do concreto ocorre muitas vezes como resultado de uma combinação de diferentes fatores externos e internos.

As causas intrínsecas são classificadas segundo o processo de deterioração das estruturas de concreto armado durante a fase de execução do projeto e/ou utilização das obras, por falhas humanas, por questões próprias do material concreto e por ações externas, acidentes inclusive.

Já as causas extrínsecas são classificadas de forma que a deterioração da estrutura são independentes do corpo estrutural em si, assim como a composição interna do concreto,

ou falhas no processo de execução, podendo-se assim dizer que os fatores extrínsecos atacam a estrutura de fora pra dentro (SOUZA e RIPPER, 1998).

2.6.2 Causas intrínsecas

2.6.2.1 Falhas humanas durante a execução

As falhas de execução da construção ocasionam inúmeros defeitos, que tem origem muitas vezes pela falta de mão de obra qualificada, que pode levar a estrutura a manifestar problemas patológicos bem significativos (SOUZA e RIPPER, 1998).

Segundo Lapa (2008), a velocidade da expansão da construção civil acarretou no incentivo de novas técnicas construtivas ainda não tão aprimoradas, ocorrendo em muitos casos, a contratação de qualificação profissional de baixa qualidade.

Haddad e outros (2008, p.34):

A mão de obra precária na construção civil e outros fatores, podem levar em curto prazo, a corrosão das armaduras, como resultado, grande parte das estruturas expostas a condições agressivas não alcança a vida útil de projeto sem que sejam necessárias intervenções e reparos estruturais.

Noronha (1986) afirma que, as patologias se desenvolvem por projetos inadequados ou impraticáveis, deficiências na execução, ou por cargas excessivas, choques, mão de obra de baixa qualidade ou incompetente.

2.6.2.1.1 Falha de concretagem

A concretagem está relacionada com a falha no transporte, no lançamento e no adensamento do concreto. Tais fatores, se não forem executados da forma correta, podem ocasionar a segregação entre o agregado graúdo e a argamassa, além da formação de ninhos de concretagem e de cavidades no concreto (SOUZA e RIPPER, 1998).

Conforme Viegas (2008, pag. 10) “Uma estrutura durável somente será obtida se as recomendações da NBR 6118/2003 forem adotadas no projeto, seguidas da inspeção para liberação da concretagem”. O projeto estrutural deve seguir as recomendações conforme descritas na NBR como por exemplo, as cargas ao qual serão consideradas dentro do projeto estrutural, o cobrimento mínimo conforme a região que a obra se enquadra e a forma de concretagem, utilizando de vibradores, tendo cuidado com a resistência do concreto, etc.

O transporte do concreto, desde quando sai da betoneira até a sua aplicação, deve concentrar os cuidados na rapidez do processo, para que ele não seque e perca a sua trabalhabilidade. O tempo de transporte entre uma camada e outra também não podem ter grandes intervalos, para evitar criar juntas de concretagem não previstas, conduzindo a formações de superfícies sujeitas a concentração de tensões e perda da aderência (SOUZA e RIPPER, 1998).

Segundo Trindade (2015), O lançamento do concreto nas formas deve ser executado de maneira que não ocasione deslocamento das armaduras de aço, devendo ser lançado o mais próximo de seu destino final, para evitar segregação do mesmo.

De acordo com Souza e Ripper (1998, p.30):

As juntas de concretagem são inevitáveis, e não há uma regra específica para cobrir todas as situações. Há que se garantir, sempre que se escolher a localização de uma dada junta, a observância a três fatores: durabilidade, resistência e estética. Por isso, juntas nunca deverão ser realizadas em regiões de elevadas tensões tangenciais. A retomada da concretagem sem eliminação de pó, resíduos, gorduras e óleos depositados nas juntas diminui o coeficiente de atrito entre as camadas, reduzindo a aderência entre elas.

A vibração e o adensamento do concreto se não foram executados corretamente, podem levar a formação de vazios (Figura 22) e irregularidade na superfície, que comprometem a estética da peça, além de facilitar a penetração de agentes agressores (SOUZA e RIPPER, 1998).

Figura 22: Falha de concretagem.



Fonte: IGNES KATIUSCIA, 2016.

De acordo com Trindade (2015), o processo de cura do concreto deve receber atenção especial e pode ser realizado de várias formas, tais como: molhagem das formas,

irrigação de superfícies, cobrimento superficial com material que mantenha a umidade desejada, películas de cura a vapor e outros, possibilitando evitar a evaporação da água sem que as reações de hidratação do cimento tenham sido realizadas, controlando a umidade da peça concretada. Se este processo não for realizado de forma correta, a estrutura poderá sofrer danos.

2.6.2.1.2 Inconformidade de formas e escoramentos

A falta de limpeza e aplicação adequada de desmoldantes nas formas antes da concretagem, acabam influenciando em possíveis formações de “embarrigamentos” nos elementos estruturais. Essas deformações nas peças estruturais levam muitas vezes a necessidade de enchimentos de argamassa, maiores do que o necessário, e em consequência disso, uma sobrecarga na estrutura (SOUZA e RIPPER, 1998).

Thomaz (2001) afirma que, os problemas devido a concretagem podem ser exemplificados por falha na locação de peças estruturais, irregularidade das peças estruturais (desaprumo, cobrimento não condizente com o projeto, desnivelamentos, etc.), ninhos de concretagem, etc.

De acordo com Souza e Ripper (1998, p.31), alguns são os fatores em relação a inadequação das formas que podem causar problemas patológicos.

A insuficiência de estanqueidade das fôrmas, o que torna o concreto mais poroso, por causa da fuga de nata de cimento através das juntas e fendas próprias da madeira, com a conseqüente exposição desordenada dos agregados; a retirada prematura das formas e escoramentos, o que resulta em deformações indesejáveis na estrutura e, em muitos casos, em acentuada fissuração; a remoção incorreta dos escoramentos (especialmente em balanços, casos em que as escoras devem ser sempre retiradas da ponta do balanço para o engaste), o que provoca o surgimento de trincas nas peças, como conseqüência da imposição de comportamento estático não previsto em projeto.

Segundo Takata (2009), as formas são delimitadoras do concreto armado e das barras de aço e devem ser executadas o mais próximo possível das medidas indicadas no projeto. No processo de montagem deve conferir o travamento para que após o recebimento do concreto, as formas não mudem de formato.

Essas mudanças de formato podem ocorrer devido ao peso que a forma irá sofrer e em consequência poderão ocorrer pequenas mudanças na geometria ou até mesmo aberturas em vigas, pilares, lajes e qualquer outro tipo de elemento estrutural, originando problemas patológicos.

2.6.2.1.3 *Insuficiência nas armaduras*

Em construções que utiliza-se concreto armado, não é incomum que ocorram falhas na disposição das barras de aço. Isso ocorre muitas vezes pela má interpretação dos projetos estruturais ou mesmo pela distração no momento da execução das ferragens, ocasionando uma inversão no posicionamento das barras de aço em determinado componente estrutural.

Existem dois tipos de situações que explicam a deficiência da ferragem, a primeira, ocasionada pela concepção de projeto, desta forma os responsáveis pela execução ficam eximidos de culpa por falta de quantidade ou a disposição correta do aço, falta de detalhamento ou medidas da ferragem. Outra situação seria a má interpretação ou o não acompanhamento da execução destas armaduras (TRINDADE, 2015).

Segundo Souza e Ripper (1998), além da má interpretação dos elementos de projeto, da insuficiência de armaduras e do mau posicionamento das armaduras, deve-se levar em conta também o cobrimento do concreto insuficiente, que facilita o processo de deterioração, tal como a corrosão de armaduras.

Cánovas (1998) afirma que, os defeitos nas plantas estruturais, como por exemplo, escalas insuficientes, detalhamentos confusos, ou mesmo detalhamentos insuficientes, são causas de problemas patológicos. A verificação do projeto antes de ir para execução, conferência dos cálculos estruturais, a verificação da disposição das armaduras, são importantes para evitar falhas e defeitos estruturais.

Souza e Ripper (1998) ainda afirmam que, o dobramento das barras sem atendimento aos dispositivos regulamentares, ocasionam: o fendilhamento por excesso nas tensões tratativas no plano ortogonal ao de dobramento; deficiência nos sistemas de ancoragem, com a utilização indevida de ganchos, que introduzem estados de sobretensão; deficiência no sistema de emenda, onde ocorre excessivas concentrações de barras de aço, emendadas em uma mesma seção e utilização incorreta de emendas; a má utilização de anticorrosivos, onde são feitas pinturas nas barras para evitar a corrosão, porém inviabilizam a aderência entre a armadura e o concreto.

2.6.2.1.4 *Má utilização dos materiais de construção*

Os materiais de construção, como concreto, aço e aditivos, quando utilizados de maneira incorreta ou sem especificação, podem causar danos a construção que acabam trazendo prejuízos financeiros (TRINDADE, 2015).

Takata (2009), afirma que na concepção do projeto estrutural é indicado pelo projetista o valor do fck, ou seja, a resistência do concreto necessário para a estrutura a ser construída. Neste sentido, a solicitação ou encomenda errada do concreto, ou o próprio erro no fornecimento do concreto, é classificado como uma má utilização do material de construção.

O aço, utilizado na construção civil em forma de barras estruturais, poderá ocasionar trincas pequenas ou até mesmo gerar um colapso de uma estrutura, caso sejam montadas com bitolas menores do que as indicadas no projeto, ou caso sejam colocadas em menor quantidade do que o necessário (TRINDADE, 2015).

Segundo Souza e Ripper (1998), o assentamento das fundações em solos com capacidade de resistência inferior a solicitada, a utilização de agregados reativos, que potencializam os quadros de desagregação e fissuração do concreto, a utilização inadequada de aditivos que acabam alterando as características do concreto e a dosagem inadequada do concreto, por erro de cálculo ou por utilização incorreta dos agregados, são fatores que caracterizam a má utilização de materiais na construção civil.

2.6.2.1.5 Falta de controle de qualidade

O controle da qualidade da construção civil está diretamente ligada com fatores que ocasionam futuras patologias. Os materiais como o aço e o concreto, são os responsáveis pela durabilidade e resistência da obra e necessitam de um criterioso cuidado quanto ao padrão de qualidade, pois são os elementos estruturais da obra.

A qualidade deve ser controlada desde a produção e durante a execução da obra, para assim evitar problemas como, o uso de concreto com Fck diferente do descrito no projeto estrutural pelo calculista ou, que sejam utilizados aços com bitolas menores ao qual está solicitado no projeto, ou em quantidade menor (TRINDADE, 2015).

Souza e Ripper (1998, p.34), defendem que, a melhor “[...] forma a se diminuir a possibilidade de deterioração precoce da estrutura, se tenha, durante toda a fase de execução da obra, a assistência de um engenheiro tecnologista e se preste total obediência às Normas [...]”.

Apesar do aprimoramento dos sistemas de organização das construtoras, o planejamento adequado dos suprimentos e a seleção dos melhores fornecedores auxiliarem na melhoria da qualidade da construção, ainda não impediu manifestações de problemas como, a corrosão dos metais e os recalques das fundações ocasionados por problemas congênitos de projeto e, segundo Thomaz (2001, p.26):

[...] a simples aplicação das melhores técnicas de gerenciamento, na quase totalidade das vezes não pode assegurar que foi adotado o processo ou a técnica construtiva mais adequada, ou que foi escolhido o recurso mais eficiente para a otimização da qualidade e para a prevenção das falhas.

Canovás (1988) afirma que, o controle da qualidade da obra está ligada diretamente ao controle da qualidade da execução. Para que a construção tenha a qualidade desejada, o engenheiro responsável pela obra é quem deve fazer as verificações e tomar os devidos cuidados com cada etapa executada. Portanto, é muito importante o acompanhamento de um técnico responsável durante todas as etapas construtivas.

2.6.2.1.6 Falhas humanas na utilização

Segundo Souza e Ripper (1998), elencar a fase de utilização como uma causa intrínseca limita a um único aspecto, a ausência de manutenção. Portanto, esta manutenção seria classificada como um conjunto de medidas previamente programadas, que tem por objetivo manter a qualidade da estrutura.

Na visão de Santos (2014, p.20):

Para uma estrutura apresentar um bom desempenho deve ser observado o correto uso para a qual foi projetada, especialmente quanto aos carregamentos e possível presença de materiais ou elementos agressivos ao concreto armado. Um adequado planejamento de manutenção periódica deve ser observado, principalmente nas partes onde é mais utilizada ou suscetível de desgaste, a fim de evitar problemas patológicos sérios e, em alguns casos, a própria ruína da estrutura.

Lapa (2008) afirma que, ainda que a edificação apresente bons resultados no desempenho e qualidade, a obra só terá um bom desempenho durante sua vida útil, se ocorrerem as manutenções preventivas necessárias. As manutenções descritas pela construtora que entrega a obra, por exemplo, se não forem realizadas pelos usuários da edificação, não terá a durabilidade prevista.

2.6.2.2 Causas naturais

As causas naturais são ligadas ao próprio material concreto, o qual reage ao ambiente e aos esforços solicitantes que é exigido na vida útil da própria estrutura. As causas naturais não são ligadas as falhas humanas, máquinas ou equipamentos (SOUZA e RIPPER, 1998).

Ainda segundo Souza e Ripper (1998, p.22):

[...] ocorrência de catástrofes naturais, em que a violência das solicitações, aliada ao caráter marcadamente imprevisível das mesmas, será o fator preponderante, os problemas patológicos têm suas origens motivadas por falhas que ocorrem durante a realização de uma ou mais das atividades inerentes ao processo genérico a que se denomina de construção civil [...]

São diversos os agentes naturais que atuam no concreto armado e provocam seu envelhecimento, tais como, a perda gradativa do desempenho estético da estrutura, a perda funcional e estrutural. A deterioração tem origem de diversas ações como, ações mecânicas, físicas, químicas e biológicas, que podem ocorrer de forma isolada ou de forma simultânea. A propagação destas causas dependerão da velocidade que ocorrem ou o meio onde a estrutura se localiza (ANDRADE e SILVA, 2015).

2.6.2.2.1 Estrutura porosa do concreto

Segundo Fusco (2008), o concreto é um material poroso e por ter essa característica pode comprometer a durabilidade da obra, devido as agressões do meio ambiente, principalmente, pelo gás carbônico, que acaba gerando a carbonatação e em consequência disto, a corrosão da estrutura. Outra forma de agressão ao concreto seriam os produtos de limpeza que contém cloro em sua composição.

Segundo Takeuti (1999), “Fissuras devidas à corrosão de armaduras são causadas por concreto de alta permeabilidade e/ou elevada porosidade, cobrimento insuficiente das armaduras ou má execução”.

Para minimizar o transporte de agentes agressores para dentro do concreto, deve-se reduzir a porosidade do concreto a fim de diminuir a fissuração. A prevenção é concentrada na correta dosagem do concreto, além de atender as exigências para a preparação, transporte, lançamento, vibração e cura do concreto (SOUZA e RIPPER, 1998).

2.6.2.3 Causas químicas

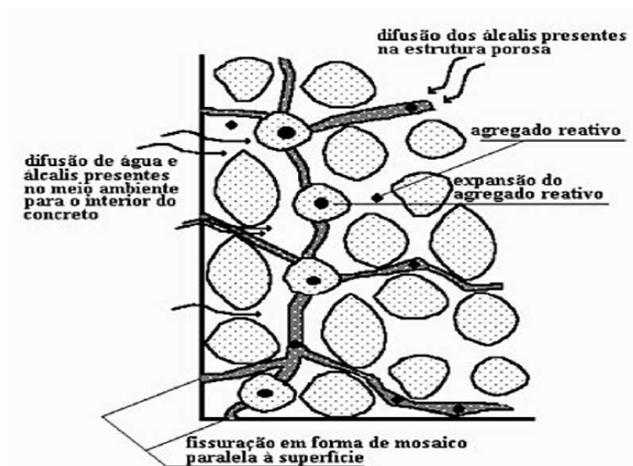
Souza e Ripper (1998), afirmam que as causas químicas podem ocorrer por reações internas do concreto, expansibilidade de certos constituintes do cimento, por presença de cloretos no concreto, por presença de ácidos e sais no concreto, por presença de anidrido carbônico, por presença de água ou por elevação da temperatura interna do concreto.

De acordo com a normativa do DNIT/ES (2009):

As reações químicas que provocam a degradação do concreto podem ser resultantes de interações químicas entre agentes agressivos presentes no meio ambiente externo e os constituintes da pasta de cimento ou podem resultar de reações internas, tipo reação álcalis-agregado, ou da reação da hidratação retardada CaO e MgO cristalinos, se presentes em quantidades excessivas no cimento Portland, ou ainda, da corrosão eletroquímica da armadura do concreto. Convém ressaltar que as reações químicas se manifestam através de deficiências físicas do concreto, tais como aumento da porosidade e da permeabilidade, diminuição da resistência, fissuração e lascamento.

Segundo Fusco (2008), a reação álcalis-agregado se dá entre a sílica reativa de alguns minerais utilizados como agregado entre o sódio e potássio presentes no cimento, sendo necessária também a presença de umidade. A Figura 23, mostra como se dá o processo no qual há uma expansão do agregado quando este é reativo e mostra internamente como são as fissuras.

Figura 23: Desenvolvimento da reação álcalis-agregado no concreto.



Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998.

Na visão de Souza e Ripper (1998), uma das composições do cimento, o óxido de magnésio (MgO), poderá ser expansivo quando estiver na forma de pericálcio, irá se hidratar

de forma lenta e após o endurecimento do cimento do concreto e resultará no aumento de volume. A cal livre também presente no cimento Portland quando hidratada é expansiva, podendo causar fissurações superficiais do concreto e até mesmo provocar sua debilitação e destruição.

Outra forma de patologia química, segundo Souza e Ripper (1998, p.38), são os cloretos presentes no concreto:

Os cloretos podem ser adicionados involuntariamente ao concreto a partir da utilização de aditivos aceleradores do endurecimento, de agregados e de águas contaminadas, ou a partir de tratamentos de limpeza realizados com ácido muriático. Por outro lado, podem também penetrar no concreto ao aproveitarem-se de sua estrutura porosa.

Takata (2009) informa que, diversos são os sais minerais presentes nos agregados, causando, por exemplo, alterações na pega e no endurecimento do concreto, causando deterioração produzindo reações com o cimento ou com as armaduras.

Souza e Ripper (1998, p.39), afirmam que “[...] a ação do anidrido carbônico CO₂ presente na atmosfera manifesta-se pelo transporte deste para dentro dos poros do concreto, e com a sua subsequente reação com o hidróxido de cálcio [...]”, esta reação forma o carbonato de cálcio que gera carbonatação do concreto. A água que é transportada pelos poros do concreto ocasiona a dissolução do hidróxido de cálcio, o que tem por consequência a diminuição do pH do concreto, fazendo precipitar gel de sílica ou de alumina, ocasionando a desagregação do concreto.

A temperatura interna do concreto, segundo Takeuti (1999), ocasionam as fissurações de movimentação térmica. Granato (2002, p.47) afirma que, isso ocorre pois “[...]o aumento da temperatura atua na mobilidade das moléculas, facilitando o transporte de substâncias. Por outro lado, a diminuição da temperatura pode dar lugar a condensações”.

Segundo Souza e Ripper (1998), a qualidade de calor que é liberada durante as reações dos componentes do cimento, causam problemas de concretagem de peças de grandes dimensões, devido ao fato de não haver troca positiva de calor com o exterior, provocando um aquecimento de expansão da massa. Após o aquecimento, ocorre um resfriamento do material, gerando um gradiente térmico que pode ocasionar fissuras.

2.6.2.4 Causas físicas

Souza e Ripper (1998) afirmam que, em relação inerentes ao processo de degradação da estrutura, podem ser classificados as causas físicas como resultantes da variação da temperatura externa, da insolação, do vento e da água que pode ser em forma de chuva, gelo e umidade.

Segundo Oliveira (2012), as movimentações que são provocadas na estrutura pela variação de temperatura, estão relacionadas com as propriedades físicas do material e com a intensidade da variação de temperatura.

Canovás (1988) informa que, as patologias físicas por efeito térmico aparecem como uma ou várias fissuras que rompem a continuidade de uma peça estrutural. As fissuras podem aparecer também em peças unidas ao elemento estrutural, que não tenham sido previstas juntas de dilatação térmica.

2.6.2.5 Causas biológicas

Segundo Trindade (2015), a degradação do concreto por microrganismos é um tipo de biodegradação. Isto ocorre pois os microrganismos como bactérias e fungos dissolvem os componentes do cimento. Quando o concreto é muito poroso ou possui trincas geradas por falhas, isto permite com que entrem raízes de plantas, ou até mesmo que algas se instalem e se tornam componentes nocivos ao concreto.

Conforme Lapa (2008), o concreto é muito suscetível ao ataque biológico:

O concreto é considerado um material bioreceptivo ao ataque microbiológico, devido às condições de rugosidade, porosidade, umidade e composição química, que combinadas com as condições ambientais, como umidade, temperatura e luminosidade, podem promover a biodeterioração do concreto.

O gás sulfídrico em contato com o cimento Portland e na presença de bactérias aeróbicas, forma sulfeto de cálcio que descalcifica o concreto e amolece a pasta de cimento (SOUZA e RIPPER, 1998).

2.6.3 Causas extrínsecas

2.6.3.1 Falhas humanas durante a concepção de projeto

Existem pontos a serem observados no projeto estrutural que são de suma importância, para que não ocorram erros que irão interferir diretamente no desempenho da construção e, segundo Souza e Ripper (1998), é muito importante um cuidado na concepção de projeto, para que esses erros não ocorram.

Takata (2009, p.83) explica que as falhas ocorrem “[...] durante a etapa de concepção da estrutura. Elas podem se originar durante o estudo preliminar (lançamento da estrutura), na execução do anteprojeto, ou durante a elaboração do projeto de execução”.

Fay (2006) afirma que, na concepção do projeto estrutural deve-se levar em consideração todas as forças atuantes na edificação, desde a intensidade, direção e sentido para que quando executado o projeto estrutural, seja coerente o caminho destas forças até o solo e assim todos os elementos estruturais sejam corretamente dimensionados.

2.6.3.1.1 Avaliação incorreta das cargas

Nas edificações, as cargas excessivas, cargas repetitivas ou impactos não previstos, acabam provocando solicitações que ultrapassam as previstas, ocasionando fissuração e provocando o aparecimento de patologias (LAPPA, 2008).

Segundo Helene (1992), a fissura pode ocorrer no subdimensionamento da estrutura, quando o engenheiro calculista subdimensiona a estrutura, não fazendo uma avaliação correta da sobrecarga atuante. Esta fissura também pode se dar por consequência da deficiência dos materiais empregados na execução, ou na mudança do tipo de estrutura, causando cargas maiores do que as previstas em projeto.

Souza e Ripper (1998), afirmam a importância de observar com precisão as Normas regulamentadoras dos carregamentos que serão considerados no projeto estrutural, para que o projetista entenda se as cargas a serem consideradas serão suficientes para garantir que, durante a vida útil da estrutura, não ultrapassem as cargas dimensionadas no projeto.

2.6.3.1.2 Detalhamento incorreto ou insuficiente

Pode-se constatar que as patologias muitas vezes se dão por conta de omissões, falhas de detalhamento dos projetos e cuidado insuficiente na compatibilidade entre projetos (THOMAZ, 2001).

Segundo Souza e Ripper (1998), o detalhamento incorreto dos projetos é um dos principais erros na execução, onde leva a estrutura a ter problemas patológicos graves, que podem comprometer a resistência ou a durabilidade da construção.

Thomaz (2001, p.29) afirma que:

[...] boa parte dos problemas pode ser atribuído a omissões, falhas de detalhamento ou estudo insuficiente das interferências entre projetos[...]. Assim, dedicou-se grande esforço para o estabelecimento de recomendações visando a melhoria da qualidade dos projetos, considerando-se os elementos mais importantes dos edifícios: fundações, estruturas de concreto armado, alvenarias, revestimentos com argamassa, revestimentos cerâmicos e impermeabilizações.

Canovás (1988) afirma que, as causas patológicas mais graves geralmente ocorrem por falhas nos projetos. Estas falhas podem ocorrer por falta de detalhamento, por dimensionamento incorreto por parte do calculista nas cargas a serem consideradas, por problemas de compatibilidade de projetos, dentre outros.

2.6.3.1.3 Inconformidade ao ambiente

Os projetos, ainda que executados de forma correta e não possuir falhas estruturais, devido à falta de proteção contra o meio ambiente, podem ter sua durabilidade comprometida (SOUZA e RIPPER, 1998).

Conforme a NBR 6118/2014:

A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas.

A norma ainda classifica os níveis de agressividade ambiental entre, fraca, moderada, forte e muito forte, conforme localização da construção. Abaixo, na tabela 2 pode-se observar os níveis de classificação segundo a NBR 6118/2014.

Tabela 2: 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 ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	
^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe 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). ^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove. ^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.			

Fonte: NBR 6118/2014.

Dadas as classes de agressividade a norma 6118/2014 estabelece o cobrimento nominal mínimo para as edificações dentro de cada parâmetro. O cobrimento tem grande interferência nas estruturas, pois é através dele que existe a proteção das armaduras, cobrindo o aço de modo a evitar seu contato direto com agentes agressivos, como atmosferas poluídas e a água.

2.6.3.1.4 Não correção na interação solo-estrutura

A estabilidade da obra está diretamente ligada com o terreno da fundação e com a capacidade do terreno de resistir aos esforços que são transmitidos pela estrutura. Deste modo, na construção é de suma importância conhecer as características do solo, que pode-se obter através do laudo de sondagem (SOUZA e RIPPER, 1998).

Segundo Thomaz (2001, p.01), os recalques acentuados de uma edificação, ou mesmo acidentes mais sérios com fundações ocorrem da seguinte forma:

Insuficiência de levantamentos, sondagens ou ensaios, deixando-se de considerar nos projetos e na construção eventuais falta de homogeneidade dos terrenos de fundação, presença de fossas, lançamento de entulho ou aterro, flutuações do nível d'água, e mesmo ocorrência de crateras no subsolo pela lixiviação de solos calcários.

Os defeitos de fundações que causam a instabilidade podem ocorrer por excessos de cargas na estrutura, alterações das características próprias do terreno, movimentação do terreno e ações químicas. Ainda que o terreno a ser construído seja de boa qualidade, é primordial que seja feito o laudo de sondagem, para que não se tenha surpresas e evite prejuízos e patologias futuras na obra (CÁNOVAS, 1988).

2.6.3.1.5 Não correção das juntas de dilatação

Segundo Thomaz (2001), caso não sejam executadas as juntas de dilatação será inevitável o desenvolvimento de fissuras em paredes vinculadas as fundações.

Granato (2002, p.95) diz que:

As juntas entre placas devem ser suficientes para absorverem as movimentações tanto do suporte como do revestimento. Cabe ao projetista verificar, em cada caso, a necessidade de juntas de dilatação no revestimento. As movimentações térmicas de um material estão relacionadas com as suas propriedades físicas e com a intensidade das variações da temperatura.

Quando a estrutura não possui as juntas de dilatação, ou ainda que possua, mas fora executada de forma incorreta, irão trazer problemas para a estrutura, em particular como resultado do comportamento ecológico do concreto. O detalhamento inadequado para a vedação das juntas de dilatação, acabam por permitir a entrada de água, que por sua vez ataca as armaduras (SOUZA E RIPPER, 1998).

Lopes e Neto (2012) explicam que as juntas de dilatação tem como função absorver as movimentações estruturais que tem origem nas variações de temperatura. A NBR 10837/1989 determina que a distância máxima entre as juntas de dilatação é de 20 metros em edifícios de alvenaria estrutural não armada e 30 metros em edifícios de alvenaria estrutural armada.

2.6.3.2 Falhas humanas durante a utilização da estrutura

A durabilidade e qualidade da obra existe quando há o monitoramento e manutenção preventiva da mesma. Estes cuidados são fundamentais para obter-se segurança e vida longa da estrutura e principalmente, para evitar que se tenham intervenções relacionadas a recuperação ou reforço (REIS, 2001).

Segundo Takata (2009, p.85):

Os procedimentos inadequados durante a utilização podem ser divididos em dois grupos: ações previsíveis e ações imprevisíveis ou acidentais. Nas ações previsíveis, pode-se compreender o carregamento excessivo, devido à ausência de informações no projeto e/ou inexistência de manual de utilização. No caso das ações imprevisíveis tem-se: a alteração das condições de exposição da estrutura, incêndios, abalos provocados por obras vizinhas, choques acidentais, por exemplo.

Souza e Ripper (1998), afirmam que a atuação do proprietário ou utilizador, o qual não tem a menor noção dos danos causados às construções, por acharem desnecessária as manutenções da estrutura e por não consultarem um profissional técnico especializado, são responsáveis por patologias tais como, alterações estruturais, sobrecargas exageradas e alterações do terreno de fundação, o qual será citado a seguir.

2.6.3.2.1 Alterações estruturais

As alterações estruturais estão ligadas neste caso quando ocorre a alteração da estrutura, sem que haja qualquer tipo de estudo, ocasionando problemas estáticos e/ou resistentes da estrutura. São exemplos destas alterações: o aumento do número de andares de uma edificação, sem a devida análise dos pilares, das fundações e da estrutura como um todo; por demolições inadequadas; por abertura de furos em peças estruturais (vigas e lajes) sem avaliar as implicações dos mesmos (SOUZA e RIPPER, 1998).

Segundo Reis (2001, p.10):

Os aspectos do monitoramento e da manutenção preventiva, visam atendimento aos requisitos da durabilidade e qualidade. Estes são aspectos de fundamental importância para uma utilização segura ao longo de toda a vida útil da estrutura e para evitar a necessidade de intervenções de alto custo relacionadas com recuperação e reforço.

Trindade (2015) explica que as causas por falhas humanas neste caso, ocorrem por negligência do proprietário ou utilizador da estrutura, que na maioria das vezes desconhecem o que podem ou não fazer dentro da estrutura e acabam por utilizar cargas excessivas ao permitido pela edificação, causando problemas patológicos.

2.6.3.2.2 Exagero de sobrecargas

Entende-se como exagero de sobrecargas sendo as estruturas devidamente calculadas e projetadas para suportar uma determinada carga, levando em consideração o

projeto arquitetônico e quais equipamentos serão utilizados pelos usuários, mas ainda assim obter problemas patológicos devido ao fato de que o utilizador submete a estrutura a cargas maiores do que as calculadas em projeto (SOUZA e RIPPER, 1998).

Santos (2014, p.85), explica que:

A ocorrência de deformações excessivas (16,67% dos casos) é resultado de uma série de fatores, dentre os quais estão: problemas de projeto (concepção e/ou detalhamento), mau posicionamento das armaduras na execução e má utilização da estrutura, no que se refere a sobrecarga superior a estabelecida em projeto.

Segundo Calixto (1997), devem ser elaborados manuais técnicos de utilização e manutenção da edificação, onde informem quais são as sobrecargas admissíveis e os materiais utilizados e quais manutenções devem ser feitas, de quanto em quanto tempo, para que seja mantida a qualidade da construção.

2.6.3.2.3 Alterações do terreno de fundação

Souza e Ripper (1998) afirmam que, “[...] casos de interação não cuidada entre construções existentes e novas, e, particularmente, das alterações das condições de estabilidade e compressibilidade do terreno de fundação como resultado das novas escavações [...]” são responsáveis por resultarem recalque de fundações.

Segundo Santos (2014, p.54), os problemas de fissuras por recalque nas fundações ocorrem “[...]devido à construção de fundações assentes em solos compressíveis, expansivos ou aterros, interferência no bulbo de tensões provocado por construções vizinhas, rebaixamento do lençol freático, sobrecargas ou falhas em elementos de fundação.”

Oliveira (2012) afirma que, os solos são constituídos basicamente por, partículas sólidas, intercaladas com água e muitas vezes por material orgânico. As cargas externas deformam todos os solos, em maior ou menor proporção. O aparecimento de trincas se dá, se as deformações forem diferenciadas ao longo do plano das fundações de uma estrutura.

2.6.3.3 Ações mecânicas

Pode-se exemplificar como falhas por ações mecânicas, os recalques de fundações, choque de veículos e acidentes.

Os recalques de fundações, como já apresentado no tópico anterior, é um fenômeno que ocorre quando a estrutura sofre um rebaixamento devido ao adensamento do solo, que caso ocorra deformações diferentes ao longo do tempo, pode ocasionar trincas.

Souza e Ripper (1998), afirmam que “[...] o choque de veículos automotores contra pilares e guarda-rodas de viadutos e o contínuo roçar, ou mesmo o choque, de embarcações contra as faces expostas de pilares [...]” são exemplos de ações mecânicas e estas consequências podem desgastar a camada superficial do concreto, como também podem destruir peças estruturais caso não haja proteção adequada.

Os choques de veículos podem causar ou agravar manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, que por sua vez, reduzem a resistência mecânica e podem levar a estrutura à colapso (TRINDADE, 2015).

2.6.3.4 Ações físicas

Souza e Ripper (1998), destacam como causas físicas os agentes agressores do concreto, como: variações de temperatura, insolação e a ação da água. As variações de temperatura provocam mudanças volumétricas nas estruturas do concreto. Quando ocorre expansão e contração do concreto de forma limitada e as tensões de tração forem superiores a do concreto, poderá ocorrer fissuras (FERREIRA, 2000).

Segundo Duarte (1998), a insolação em paredes das fachadas, lajes e coberturas que ocasionam o aquecimento durante o período do dia (insolação) e resfria-se a noite é consequência da dilatação e contração. Desta forma, quanto mais escuro for o elemento estrutural, maior vai ser a temperatura de insolação sobre ele.

O calor específico de cada material e o coeficiente de dilatação térmica, são importantes para estimar a variação dimensional devido a mudança de temperatura. A movimentação na direção horizontal não é livre, sempre há uma restrição por existir ligações de paredes com outras, ou paredes com o estrutural da edificação, esta restrição induz o surgimento de tensões localizadas, causando fissuras.

A ação da água nas mais variadas formas (umidade por exemplo), geram diferentes tipos de patologias. Um exemplo a ser citado é o efeito de ciclo de gelos-degelos onde segundo Lapa (2008), o desempenho do concreto dependerá do nível de endurecimento. Caso ocorra congelamento antes do endurecimento, não haverá processo de hidratação do cimento, somente após o descongelamento, esse processo não ocasionará perdas significativas da resistência, ainda que ocorra expansão interna da água.

2.6.3.5 Ações químicas

As ações químicas são as causas mais comuns de deterioração de construções industriais, porém também tem importante papel na deterioração de outros tipos de construções. São exemplos de ações químicas, o ar e gases, águas agressivas, águas puras, reações com ácidos e sais e reações com sulfato (SOUZA E RIPPER, 1998).

Segundo Lapa (2008), as reações químicas ocorrem devido as deficiências físicas do concreto tais como, o aumento da porosidade e permeabilidade, redução da resistência, fissuras e lascamentos.

De acordo com Souza e Ripper (1998, p.54):

A poluição atmosférica nos grandes centros urbanos ocasiona o apodrecimento e a descoloração do concreto. As substâncias poluidoras transportadas pelo ar são, em sua grande maioria, provenientes de gases e fuligens liberados pelos escapamentos dos veículos automotores, e dos gases ácidos provenientes das chaminés de algumas indústrias. O dióxido de enxofre, SO_2 , e o trióxido de enxofre, SO_3 , em forma de fuligem, são provenientes da queima de óleos combustíveis, gases residuais e hidrocarbonetos. Quando chove, a água precipitada forma, junto com a fuligem existente no ar, a chamada chuva ácida (H_2SO_3 e H_2SO_4), fortemente agressiva para o concreto e que, após um certo tempo, ataca também o aço.

Cánovaz (1998) afirma que, a utilização de águas não potáveis no concreto podem criar problemas patológicos a curto e longo prazo. Apesar de não provocarem efeitos no concreto massa, as águas com um determinado limite de impureza podem não fazer diferença ou mesmo não aparecer, mas isso não ocorre com águas utilizadas no concreto armado, que pela existência de cloretos podem provocar corrosões das armaduras.

As águas que são puras em sua composição química, como por exemplo a água da chuva e a de poços artesanais, não contém sais dissolvidos e por este motivo, tem tendência a agredir o concreto, o que o torna mais poroso e diminui assim a sua resistência. (Souza e Ripper, 1998)

Segundo Piancastelli (1997), o concreto armado é um material que está sujeito em sofrer alterações ao longo do tempo devido aos elementos no qual o compõe, tais como, cimento, areia, brita, água e gases, por interações de agentes externos (ácidos, bases, sais, gases, etc.) e também por materiais que são adicionados a sua composição.

Souza e Ripper (1998) afirmam que, as reações por ácidos e sais ocorrem pelo contato da estrutura com a água do mar, ou com águas contaminadas por dejetos. Em relação a água do mar, com a ocorrência de molhagem e secagem da estrutura devido as fenômenos

de marés, provocam danos por conterem cloretos e sulfatos de sódio e magnésio que são muito agressivos.

Thomaz (2001, p.102) afirma que:

Além dos levantamentos geotécnicos habituais, há certas condições de obras que exigirão análises químicas do solo e da água: presença de sulfatos ou outras substâncias agressivas poderão repercutir por exemplo na necessidade de proteção superficial dos elementos de fundação em aço ou concreto armado.

Os sulfatos são extremamente agressivos, as águas sulfatadas podem ser responsáveis pela total desagregação do concreto. Estes sulfatos podem ser encontrados em água do mar, águas subterrâneas e em águas poluídas por dejetos industriais (SOUZA E RIPPER, 1998)

Silva (1998) explica que os sulfatos originam-se de duas formas, nos materiais que compõe o concreto ou no contato do concreto com o solo ou em águas ricas em sulfato. A patologia advinda do sulfato ocorre pela ação expansiva que esse componente tem, que gera tensões que são capazes de fissurar o concreto.

2.6.3.6 Ações biológicas

As ações biológicas podem ser agentes de degradação do concreto em casos em que a vegetação cresce nas estruturas, onde as raízes penetram onde ocorrem falhas de concretagem ou mesmo nas fissuras das juntas de dilatações, ocasionando o surgimento de organismos e microrganismos em alguns locais da estrutura (SOUZA e RIPPER, 1998).

Lapa (2008, p.22) afirma que:

A biodeterioração estética é causada pela presença de microrganismos que interferem na estética do concreto, mudando sua cor, manchando-o, muitas vezes de forma inaceitável. A biodeterioração química assimilatória ocorre quando o material, constituído de nutrientes para os microrganismos, tem sua microestrutura alterada, apresentando déficit de compostos essenciais para sua integridade.

Souza e Ripper (1998), apontam outros dois agentes como agentes biológicos poderosos, os cupins e as formigas. Os cupins por causarem danos as portas, janelas e esquadrias e também ao construir os cupinzeiros destroem tijolos, que em alvenaria estrutural provoca a diminuição da resistência da estrutura, ocasionando trincas.

Em relação as formigas, elas tem por sua vez, o costume de afofar a terra onde encontram-se as fundações superficiais, que principalmente em estruturas de pequeno porte

provocam recalques diferenciais, que podem resultar em danos na estrutura e possivelmente, ocasionar uma recuperação estrutural.

2.7 PROCESSOS FÍSICOS DE DETERIORAÇÃO DO CONCRETO

Os processos de deterioração do concreto podem ocorrer por meio de fissuras, por contração plástica do concreto, por perda de aderência, por movimentação das formas ou de escoramentos, por corrosão de armaduras, por desagregação do concreto e por desgaste do concreto.

Souza e Ripper (1998) afirmam que para evitar processos de deterioração do concreto cuidados devem ser tomados, desde a concepção do projeto até a execução da obra. Caso sejam necessários aplicar métodos para recuperar ou reforçar a estrutura, estes só serão bem sucedidos se forem estudados e analisados sob as condições físicas, químicas, ambientais e mecânicas da estrutura.

2.7.1 Fissuração

Segundo Cánovas (1988), todas as construções feitas de concreto aparecem fissuras que podem manifestar-se depois de anos, semanas, ou até após algumas horas. Várias podem ser as causas das fissuras e nem sempre são fáceis de detectar. Para poder entender de qual tipo de fissura se trata é necessário conhecê-las e estudá-las, só assim poderá ser aplicado o tratamento adequado.

Lapa (2008, p.40) define que:

A trinca é uma fratura linear no concreto; as trincas podem se desenvolver parcial ou completamente ao longo de um elemento estrutural, não havendo uma separação nítida e indiscutível entre trincas e fissuras, tendo essas últimas aberturas menores. As trincas podem ser classificadas em capilares, médias e largas.

Souza e Ripper (1998, p.57) explicam que, “[...]as fissuras podem ser consideradas como a manifestação patológica característica das estruturas de concreto, sendo mesmo o dano de ocorrência mais comum [...]” que até mesmo para leigos, as fissuras são preocupantes pois, destacam que há algo anormal com a estrutura.

Figura 24: Fissura do concreto armado.



Fonte: Planta de Casas.com, 2017.

As fissurações, representada na Figura 24 acima, podem ser originadas por sobrecargas que podem causar fissuras em peças estruturais como pilares, vigas e paredes. Em muitas situações as sobrecargas podem até serem consideradas no projeto estrutural, mas por falha na execução ou até mesmo pela estrutura ter solicitações maiores do que as previstas em projeto, levam ao aparecimento de fissuras (OLIVEIRA, 2012).

2.7.1.1 Contração plástica do concreto

Cánovas (1988) afirma que, quando o concreto está em período de pega ou no momento de seu endurecimento, podem ocorrer fissuras que tem diferentes tipos de tratamento.

Segundo Nunes e Figueiredo (2007, p.04):

Quando o concreto está ainda no seu estado fresco, ocorre a perda da água exsudada para a superfície, devido à evaporação da mesma, ou perda de água por sucção das formas, quando estas não estão impermeabilizadas, ou sucção do substrato. A remoção desta água forma uma série complexa de meniscos capilares que criam pressões capilares negativas que provocam contração volumétrica da pasta de cimento. Esta contração, uma vez restringida, seja pela presença de agregados de grandes dimensões ou pela armadura ou qualquer outro fator, provocará tensões de tração e conseqüentemente, fissuração.

A contração plástica, segundo Souza e Ripper (1998), ocorre antes da pega do concreto quando ocorre a evaporação excessiva e rápida da água. A massa de concreto se

contraí de forma irrecuperável, podendo este movimento ocorrer logo após o lançamento do concreto.

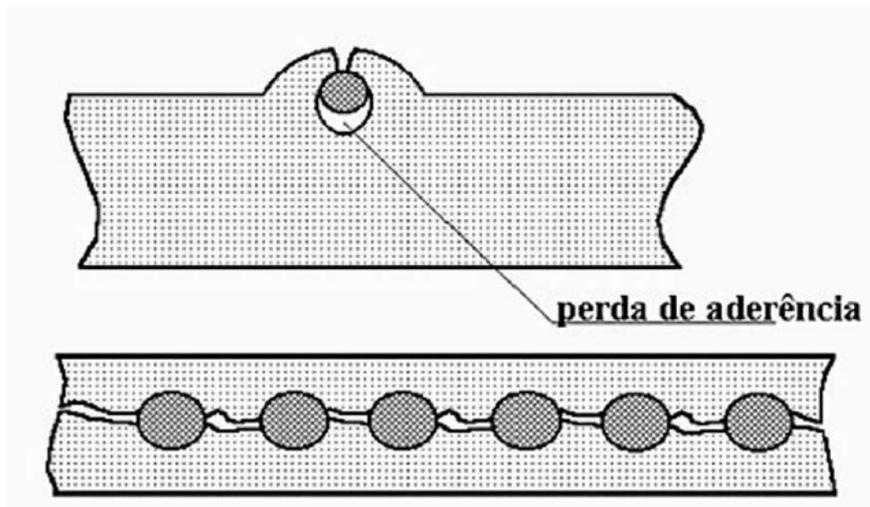
2.7.1.2 Perda de aderência e assentamento do concreto

Segundo Granato (2002, p.104) a perda de aderência entre o aço e o concreto pode ocorrer por danos mecânicos ou processos eletroquímicos. A perda de aderência também tem relação com a perda de água nas partículas de cimento que podem ocorrer pela “[...] sucção de água pela alvenaria e concreto de suporte não previamente hidratados, pela ação do vento, como pelo efeito térmico provocado pelas placas de granito escuro, imediatamente colocadas sobre a argamassa [...]”.

Souza e Ripper (1998, p. 62) explicam que:

As fissuras formadas pelo assentamento do concreto acompanham o desenvolvimento das armaduras, e provocam a criação do chamado efeito de parede, ou de sombra, que consiste na formação de um vazio por baixo da barra, que reduz a aderência desta ao concreto. Se o agrupamento de barras for muito grande, as fissuras poderão interagir entre si, gerando situações mais graves, como a de perda total de aderência.

Figura 25: Formação de fissuras por assentamento plástico do concreto.



Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998.

Lapa (2008) afirma que a corrosão da armadura se dá através da perda de aderência, pela fissuração, expansão e lascamento do cobrimento do concreto. Na Figura 25 acima, pode-se observar a perda de aderência entre o concreto e o aço, onde os espaços

existentes entre eles acabam permitindo a passagem de agentes nocivos, que consequentemente provocam a corrosão do aço.

2.7.1.3 Movimentação de formas e escoramentos

A movimentação de formas e escoramentos podem gerar problemas como a deformação da peça, aonde irá alterar a geometria da mesma e ocorrerá perda de resistência. A deformação das formas ocorre devido ao seu mau posicionamento ou fixação inadequada, que podem ocasionar juntas mal vedadas e consequentemente a absorção da água do concreto acaba permitindo a fissuração (SOUZA e RIPPER, 1998).

Cánovas (1988, p.130) explica que:

As formas podem ocasionar efeitos indesejáveis no concreto, que podem afetar sua própria estrutura produzindo vazios, alvéolos, ondulações, deformações, ou efeitos que podem afetar seu aspecto, produzindo mudança de coloração que enfeiam concretos que tem que ficar aparentes.

Segundo Marcelli (2007), as fissuras que ocorrem em vigas se dão pela ausência do travamento das bordas superiores, fazendo com que o peso decorrente do processo de concretagem deixe a viga a uma suscetível deformação. Em vigas mais altas o travamento superior não impede a deformação e nesta situação deve-se utilizar tirantes intermediários para que seja evitado as deformações.

2.7.1.4 Corrosão das armaduras

Stotz (2015) define corrosão como, sendo a deterioração de um material em conjunto com o meio exterior, que pode ser originada por ação química ou eletroquímica e conjunto ou não de esforços mecânicos.

Souza e Ripper (1998, p.65) explicam que, a deterioração ocorre pela destruição da película passivante que existe ao redor da superfície exterior da barra de aço. “[...] Esta película é formada como resultado do impedimento da dissolução do ferro pela elevada alcalinidade da solução aquosa que existe no concreto”.

Viegas (2008) explica que, quando as patologias não ocorrem por falhas de projeto ou erros de execução, estão geralmente associadas a corrosão eletroquímica das barras de aço, pelo fato de não ter sido considerado o clima da região para o local da construção.

Reis (2001, p.23) afirma que:

A corrosão das armaduras apresenta-se na maioria das estruturas de concreto deterioradas. Assim que se inicia o processo, a taxa de corrosão é controlada pela condutividade do concreto, pela diferença de potencial entre as áreas catódicas e anódicas e pela taxa de oxigênio que alcança o catodo.

A NBR 6118 (2014, p.20) informa que “[...] O risco e a evolução da corrosão do aço na região das fissuras de flexão transversais à armadura principal dependem essencialmente da qualidade e da espessura do concreto de cobrimento da armadura”.

Figura 26: Corrosão por insuficiência de cobrimento.



Fonte: SACHS, 2015.

Para evitar corrosão (Figura 26 acima), a norma especifica que devem ser tomadas medidas preventivas para proteção e conservação, tais como, a aplicação de revestimentos impermeabilizantes e pinturas impermeabilizantes sob o concreto, revestimento de argamassas, cerâmicas, etc.

2.7.2 Desagregação do concreto

Souza e Ripper (1998) conceituam a desagregação como sendo, a separação do concreto fazendo com que o mesmo perca sua forma monolítica e sua capacidade de ligação entre os agregados. A desagregação do concreto faz com que ocorra perda localizada ou total da capacidade de resistir aos esforços solicitantes.

Trindade (2015, p. 55) afirma que:

Vários são os fatores que podem ser causadores da desagregação: fissuração, movimentação das formas, corrosão do concreto, ataques biológicos e o fenômeno da calcinação que consiste na perda de resistência e mudança de cor do concreto, que ocorre quando o mesmo se encontra na presença de fogo e começa a se desintegrar em uma temperatura próxima à 600° C.

Metha e Monteiro (2008) explicam que, a desagregação é a perda da massa de concreto em consequência de um ataque químico expansivo por produtos ligados ao concreto ou por baixa resistência do mesmo, que tem por característica agregados soltos ou de fácil remoção.

Figura 27: Desagregação do concreto.



Fonte: MEDEIROS, 2010.

Na Figura 27 indicada acima, pode ser observado a desagregação do concreto, com a exposição das armaduras. A desagregação ocorreu devido ao ataque por água do mar, que contribuiu para expansão, fissuração e desagregação do concreto devido à presença de sulfatos, além da corrosão das armaduras por ação de cloretos presentes na água.

2.8 RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL, REPARO E LIMPEZA

No ponto de vista de Souza e Ripper (1998), para efetuar-se um reforço ou recuperação de qualidade nas estruturas tudo dependerá da análise das causas patológicas. Após a análise da patologia encontrada é definido o tipo de técnica que melhor irá se adequar

a situação, devendo-se levar em conta a seleção cuidadosa de materiais, os equipamentos a serem utilizados e a mão de obra necessária para executar o trabalho.

Lapa (2008, p.31) explica que “As intervenções que visam erradicar uma enfermidade consistem em: corrigir pequenos danos (Reparo), devolver à estrutura o desempenho original perdido (Recuperação), ou aumentar tal desempenho (Reforço).”

Cánovaz (1998) afirma que, podem existir problemas patológicos que não irão afetar o restante da estrutura e serão de fácil recuperação, podendo ser resolvido de imediato, sem necessidade de uma análise mais aprofundada envolvendo pesquisas laboratoriais, por exemplo. Porém, afirma também que, em situações mais críticas, em que antes mesmo de fazer a recuperação ou reforço da estrutura, deve-se estudar a estrutura como um todo, para obter explicações do motivo ao qual gerou a patologia.

2.8.1 Intervenções superficiais

Segundo Souza e Ripper (1998, p.106), as intervenções superficiais são técnicas de “[...] intervenções de recuperação ou de reforço em superfícies expostas de concreto, sejam estas técnicas simples tratamentos ou etapas componentes de um sistema de recuperação e/ou de reforço.”

Podemos exemplificar como intervenções superficiais, polimento, apicoamento, lavagem com soluções ácidas, lavagem com soluções alcalinas e lavagem com jato de areia e de água, os quais serão tratados a seguir.

2.8.1.1 Polimento

A técnica do polimento é utilizada nos casos em que a superfície do concreto está exageradamente áspera, por razões de problemas na execução ou por desgaste pelo tempo de utilização.

Souza e Ripper (1998, p.107) afirmam que:

O polimento visa reconduzir a superfície de concreto à sua textura original, lisa e sem partículas soltas, o que pode ser conseguido manualmente, pela ação enérgica de pedras de polir apropriadas, ou mecanicamente, com lixadeiras portáteis, ou, ainda, para grandes superfícies, através de recurso a máquinas de polir pesadas.

Na visão de Santos (2014), a técnica do polimento geralmente é utilizada para diminuir a aspereza do concreto que pode ocorrer por desgaste natural ou por falha na

execução da estrutura. Através do polimento, a estrutura se torna lisa novamente e sem partículas soltas.

Para que seja realizada essa técnica, é necessário mão de obra especializada para manuseio dos equipamentos que serão utilizados, pois o polimento requer cuidados com o meio ambiente e com os operários, pois tem um elevado grau de poluição sonora e atmosférica (SOUZA e RIPPER, 1998).

2.8.1.2 Lavagens

A técnica de lavagem pode ocorrer das seguintes formas: por aplicação de soluções ácidas, por aplicação de soluções alcalinas e com jatos de água. Helene (1998) explica que, a aplicação de soluções ácidas consiste na técnica de remoção de tintas, graxas, ferrugens e outros resíduos que mancham. Geralmente, utiliza-se nesta técnica, o ácido clorídrico (ácido muriático), misturando-se com água na proporção de 1:6.

Segundo Souza e Ripper (1998, p.107):

A utilização de soluções ácidas é sempre perigosa para a saúde da camada superficial do concreto armado, e não deverá mesmo ser utilizada se a espessura do revestimento das armaduras for reduzida, casos em que se deverá optar pelas soluções alcalinas. Também não se deverá recorrer este tipo de lavagem nas faixas vizinhas a juntas de dilatação ou a outros dispositivos suscetíveis de degradação, quando em presença do ácido.

Helene (1988) afirma ainda que, a técnica por aplicação de soluções alcalinas pode ser feita em regiões próximas das armaduras. Por existir agregados reativos no concreto, isso pode acabar gerando a reação álcalis-agregado, que é nociva à estrutura e possui caráter expansivo e, nesse sentido, acaba gerando fissuras, portanto, antes de utilizar a técnica da solução alcalina, deve-se ter cuidado com essa reação.

Souza e Ripper (1998, p.108) afirmam que, “o propósito da utilização de soluções alcalinas para limpeza de superfícies de concreto é semelhante ao das soluções ácidas, mas com cuidados diferentes, próprios do agente.”

Gonçalves (2015) explica que, a técnica de remoção da camada deteriorada do concreto pode ser feita através de jatos de água fria potável que normalmente utiliza jatos de areia em conjunto e alterna a água como a areia.

A técnica de lavagem com jatos de água é utilizada quando deseja-se limpar e preparar o substrato para receber o material de reparo. Geralmente os jatos são de água fria e

em simultâneo utilizados com jatos de areia e em casos em que a superfície é muito gordurosa ou possui muitas manchas, é utilizado jatos de água quente com removedores biodegradáveis adicionados (SOUZA e RIPPER, 1998).

2.8.1.3 Apicoamento

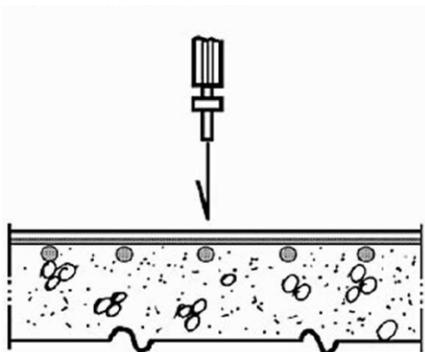
O apicoamento consiste na retirada da camada externa do concreto de uma peça estrutural. Geralmente o apicoamento é utilizado para aumentar a camada sobre a estrutura, para assim aumentar a espessura do cobrimento. Essas espessuras normalmente tem até 10mm (SOUZA e RIPPER, 1998).

Trindade (2015), afirma que “Apesar de não ser uma técnica em si, de recuperação de estruturas, o apicoamento deve ser estudado por se tratar de um processo que antecede grande parte dos métodos empregados para recuperar elementos estruturais”.

Segundo Lapa (2008, p.47) explica que:

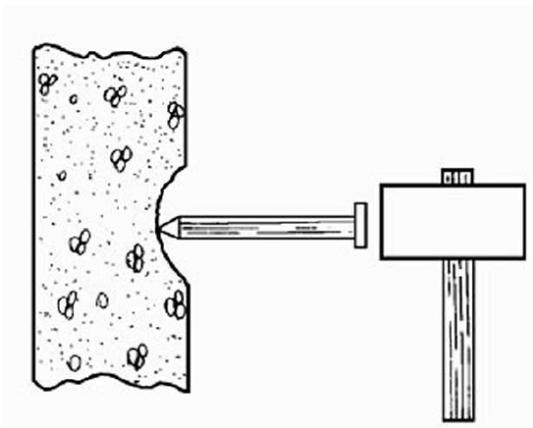
Somente para áreas muito pequenas pode ser permitido o apicoamento manual, quase sempre irregular e deficiente; para áreas maiores somente será permitida a utilização de ferramentas elétricas. O produto final do apicoamento deve ser uma superfície bastante áspera e adequada para receber materiais de proteção e de recuperação ou reforço, tais como argamassas, concreto projetado ou concreto aditivado.

Figura 28: Apicoamento mecânico.



Fonte: SOUZA e RIPPER,1998.

Figura 29: Apicoamento manual.



Fonte: SOUZA e RIPPER,1998.

Segundo Souza e Ripper (1998), o apicoamento pode ser um processo mecânico (Figura 28) ou manual (Figura 29). A escolha do tipo de processo a ser utilizado dependerá da dureza da superfície que será efetuado o apicoamento.

2.8.1.4 Saturação

Segundo Reis (2001), a saturação é uma forma de preparo através de molhagem contínua ou por meio de panos, areia molhada, sacos de estopa, mangueiras perfuradas, etc. Para garantir melhor aderência a superfície, o processo de reparo e o material correto devem ser aplicados e este processo de saturação necessita de 12h de molhagem.

Gonçalves (2015, p.102) explica que:

A aplicação de água pode ser por vertimento contínuo, o que pode ser simples em casos de lajes ou outras superfícies horizontais, ou por molhagem de elementos intermediários, como sacos de estopa, que são então aplicados sobre as superfícies, o que é muito usado não só horizontalmente, mas também em vigas e pilares. No caso de paredes verticais, é comum garantir-se a molhagem contínua através de uma mangueira furada.

O processo de saturação trata-se de uma preparação da superfície que garante uma melhor aderência do concreto ou da argamassa de base cimentícia, que serão aplicados como materiais de restabelecimento ou alteração da geometria do concreto (SOUZA e RIPPER, 1998).

2.8.1.5 Remoção profunda do concreto degradado

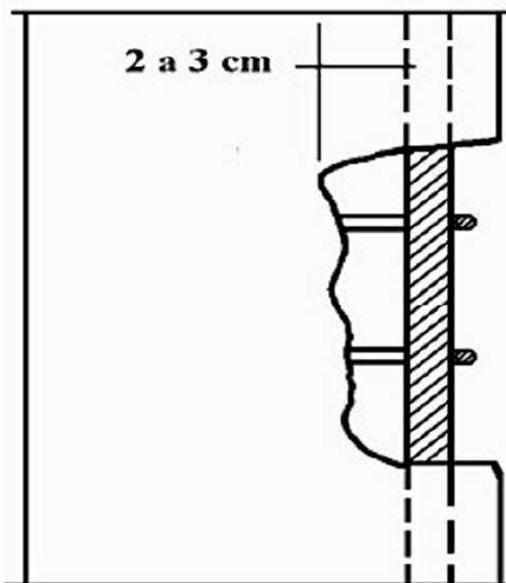
Segundo Gonçalves (2015) o corte é o processo em que há uma remoção profunda do concreto degradado. O método de corte remove toda e qualquer possibilidade de haver processo nocivo a boa saúde das armaduras.

Souza e Ripper (1998, p. 115) afirmam que:

O corte de concreto justifica-se sempre que houver corrosão do aço das armaduras, já implantadas ou com possibilidades de vir a acontecer, como no caso de concreto segregado, e deve garantir não só a remoção integral do concreto degradado, como também a futura imersão das barras em meio alcalino. Para tanto, o corte deverá ir além das armaduras, em profundidade, pelo menos 2 cm ou o diâmetro das barras da armadura, devendo-se atender à mais desfavorável das situações, caso a caso.

Lappa (2008) afirma que, quando o corte (Figura 30) tem profundidade de até 2cm, significa que ele pode ser efetuado manualmente (por ponteiros e marretas leves), para tratamento de pequenas áreas. Para grandes áreas, recomenda-se que o corte seja realizado de forma mecânica, por marteletes pneumáticos ou elétricos de pequeno porte.

Figura 30: Corte de concreto - Profundidade de remoção.



Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998.

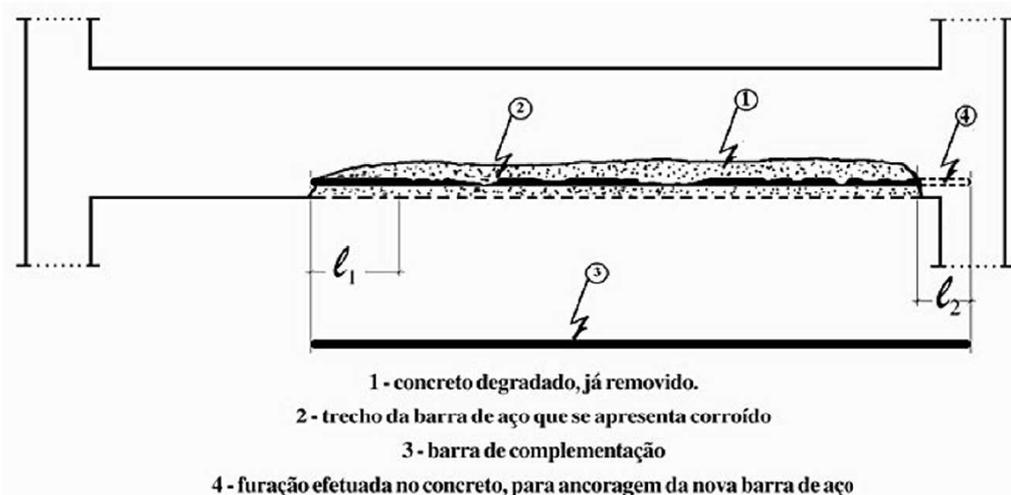
Na opinião de Andrade (1992), caso não seja feito o corte do concreto, e seja feito apenas a limpeza do lado exterior e a parte posterior fique ainda recoberta pelo concreto velho, dá-se o início de uma corrosão eletroquímica por diferença de material.

Segundo Borges (2008, p.36), geralmente na recuperação estrutural do concreto armado, ocorre corte onde há deslocamentos ou fissuras, que são provocadas por tensões de tração “[...] introduzidas na camada de recobrimento pelas barras em estado de expansão, limpeza, desoxidação, colmatação das armaduras com resina polimérica e, finalmente, a aplicação da argamassa/concreto de recuperação”.

Em algumas situações, o tamanho do corte não irá permitir que se realoque armaduras, sejam elas de complementação ou reforço, devido a inobservância dos comprimentos de ancoragem ou de emenda da armadura existente. Nesse caso, é comum executar furos no concreto existente, onde as barras da armadura ou as esperas são imersas em meios cheio de epóxi ou grout (SOUZA e RIPPER, 1998).

Conforme pode ser observado na Figura 31, o corte prolongou-se além do necessário, tendo um comprimento de barra L_1 suficiente para promover uma emenda com barra complementar. Já o corte a direita da figura, iria afetar o pilar, portanto foram feitas furações para garantir o comprimento L_2 para assim obter-se a ancoragem da barra em concreto e epóxi (SOUZA E RIPPER, 1998).

Figura 31: Situações de confrontação corte x comprimento de ancoragem e amarração de barras de complementação.



Fonte: SOUZA e RIPPER, 1998.

Souza e Ripper (1998), afirmam ainda que, a dureza dependerá diretamente de condições locais como: dureza do concreto, densidade da armação, profundidade do corte, posição da superfície a ser tratada, dentre outros fatores.

2.8.1.6 Escolha do tipo de intervenção superficial a adotar

Souza e Ripper (1998) afirmam que, a escolha da tecnologia a ser adotada irá depender do tipo de patologia existente ou do tipo de trabalho que se pretende realizar e também da execução acessível para obter um resultado final de qualidade.

Lapa (2008) informa que, qualquer tipo de intervenção de remoção, necessita de uma análise preliminar e uma sequência das etapas necessárias para executar independente de ser uma técnica de limpeza, de corte, entre outros.

Conhecer a obra é fundamental para poder diagnosticar o tipo de patologia decorrente e qual a melhor forma de tratamento para o mesmo. Cánovas (1988) explica que é necessário conhecer a história da obra, quando a mesma foi construída, quem foi o construtor, conseguir cópias dos projetos executados para que possa ser feita uma revisão e análise.

2.8.2 Demolição do concreto

Segundo Santos (2014), a demolição é projetada de acordo com o porte ou o tipo de estrutura a ser demolida e também pelas condições locais. Nesta técnica podem ser utilizados martelos demolidores (Figura 32), explosivos, agente de demolição expansivos ou hidrodemolição. Dependendo do tipo de dano que foi causado a estrutura, a mesma acaba sofrendo demolição total ou parcial.

Figura 32: Demolição do concreto.



Fonte: BLOG DA ENGENHARIA CIVIL, 2015.

Para Souza e Ripper (1998, p. 119) “[...] uma obra de recuperação ou reforço exige que parte da estrutura, ou mesmo que a estrutura como um todo, seja demolida, normalmente por notória incapacidade de reaproveitamento [...]” ainda que a obra seja sadia, não poderá ser reconstruída ou melhorada.

Conforme Reis (2001), para ocorrer demolição total ou parcial, tudo dependerá dos danos ou riscos da estrutura. Geralmente a demolição é projetada dependendo do tipo de porte que possui a estrutura a ser demolida, assim como os aspectos condicionantes locais.

2.8.3 Tratamento de fissuras

Segundo Cánovas (1988), as fissuras podem ter origem de forma térmica ou mecânica, que afetam os elementos estruturais. As trincas podem originar problemas como perda de resistência, deterioração do concreto, entre outros.

Souza e Ripper (1998, p. 121) afirmam que:

O tratamento de peças fissuradas está diretamente ligado à perfeita identificação da causa da fissuração, ou, dito de outra forma, do tipo de fissura com que se está a lidar, particularmente no que diz respeito à atividade (variação de espessura) ou não da mesma, e da necessidade ou não de se executar reforços estruturais (casos em que as fissuras resultam de menor capacidade resistente da peça).

As técnicas de reparo das fissuras podem ser feitas através de injeções, selagens e grampos. Cada técnica é utilizada conforme o tipo de tratamento necessário para cada trinca, que depende da espessura da mesma.

2.8.3.1 Injeção

De acordo com Cánovas (1988), dependendo de como for a fissura ou trinca na estrutura, geralmente o método mais utilizado para o tratamento é a injeção de epóxi, demonstrada na Figura 33. Em fissuras que a movimentação é pequena a injeção será suficiente para resolver o problema, porém quando a movimentação é constante não é recomendável a aplicação de injeções, pois o concreto acabará rompendo em outro local.

Figura 33: Tratamento de fissura por injeção.



Fonte: FERRAZ, 2012.

Gonçalves (2015, p.93) alega que:

A determinação do tipo de fissura (ativa ou passiva) se dá utilizando extensômetros dos tipos mecânicos, óticos, elétricos, hidráulicos, acústicos, dentre outros. É uma avaliação importante, pois altera a forma de reparo da área, pois as fissuras ativas ou dinâmicas não devem receber injeção de epóxi, devendo ser calafetadas com selantes.

Souza e Ripper (1998) definem a técnica da injeção como sendo um enchimento que preenche o espaço formado entre fendas, que pode ser utilizado para restaurar a peça estrutural tornando-a monolítica novamente ou para vedar as fendas ativas.

Segundo Granato (2002, p.120) “O tamanho da abertura da fissura pode ser executada a partir de 0,1 mm com uma régua denominada fissurometro, com um conta fio (medidor ótico utilizado na indústria têxtil) ou com fissurometro ótico, mais preciso”.

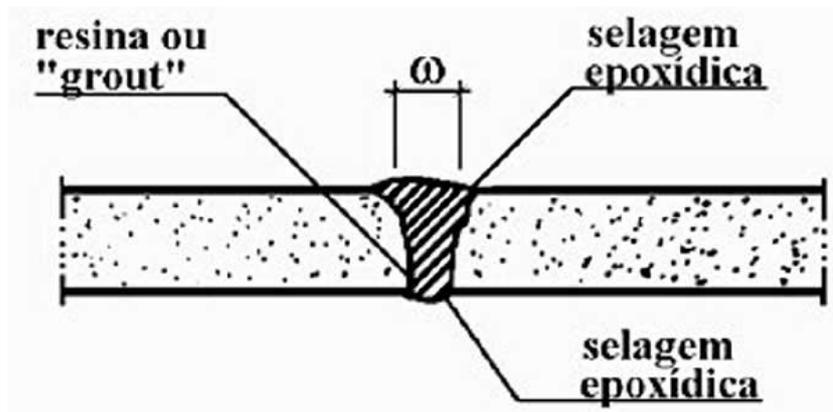
Cánovas (1988) explica o procedimento da injeção em quatro passos, que são: 1) furos ao longo da fissura; 2) aplicação de selante externo (deverá secar por 24 horas); 3) quando tiver intervalos adequados de 20 a 50 cm ao longo da fissura, colocar tubos de injeção; 4) Introduzir epóxi com baixa viscosidade através de pistola ou bombas mecânicas ou manual por ar comprimido.

2.8.3.2 Selagem

Segundo Souza e Ripper (1998), a técnica da selagem é utilizada para vedação das fissuras com um material aderente, resistente mecânica e quimicamente e que tenha um módulo de elasticidade suficiente para se adaptar a deformação da fenda.

Quando as fissuras tiverem aberturas superiores a 10mm, o procedimento deverá ser feito de duas formas. O primeiro método deve ser feito se a abertura tiver entre 10 mm e 30 mm, neste caso, deve-se utilizar enchimento de fenda, sempre na mesma direção, utilizar grout e em alguns casos poderá haver adição de carga na selagem convencional com produtos de base epóxi, conforme apresentado na (Figura 34).

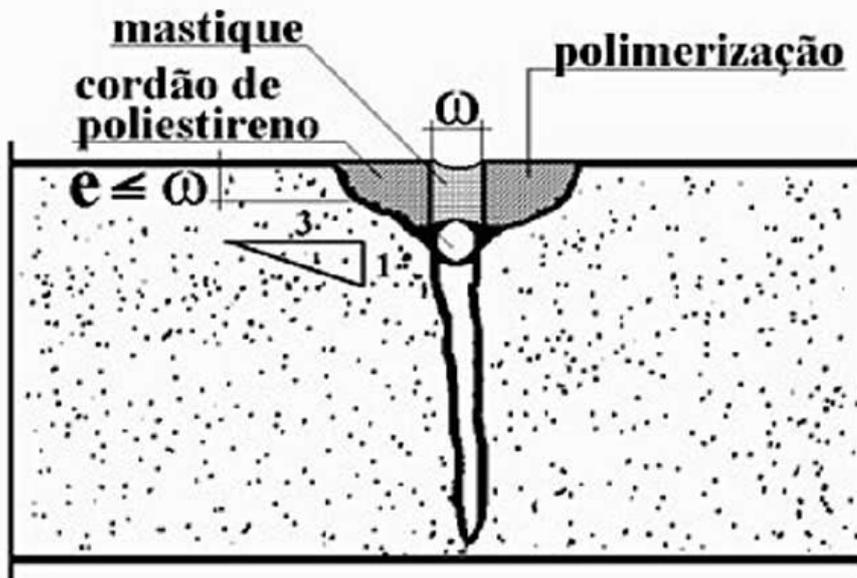
Figura 34: Selagem de fendas com abertura ω entre 10 e 30 mm.



Fonte: SOUZA e RIPPER,1998.

Quando a abertura for superior a 30 mm, a selagem é considerada como uma vedação de junta de movimento, ou seja, deverá ser inserido um cordão poliestireno extrudado, ou uma mangueira plástica, conforme demonstrado na Figura 35.

Figura 35: Vedação de fendas com aberturas ω superiores a 30 mm.



Fonte: SOUZA e RIPPER,1998.

Neste caso, pode ser utilizado também, juntas de neoprene, que irão aderir as bordas da fenda e ficar devidamente reforçados.

2.8.3.3 Grampeamento

Cánovas (1988) explica que a técnica de grampeamento possibilita que seja restituída a resistência de tração do concreto, porém não torna vedada a fissura, mas se aplicada uma selagem antes ou depois do grampeamento, pode ser garantido uma estanqueidade.

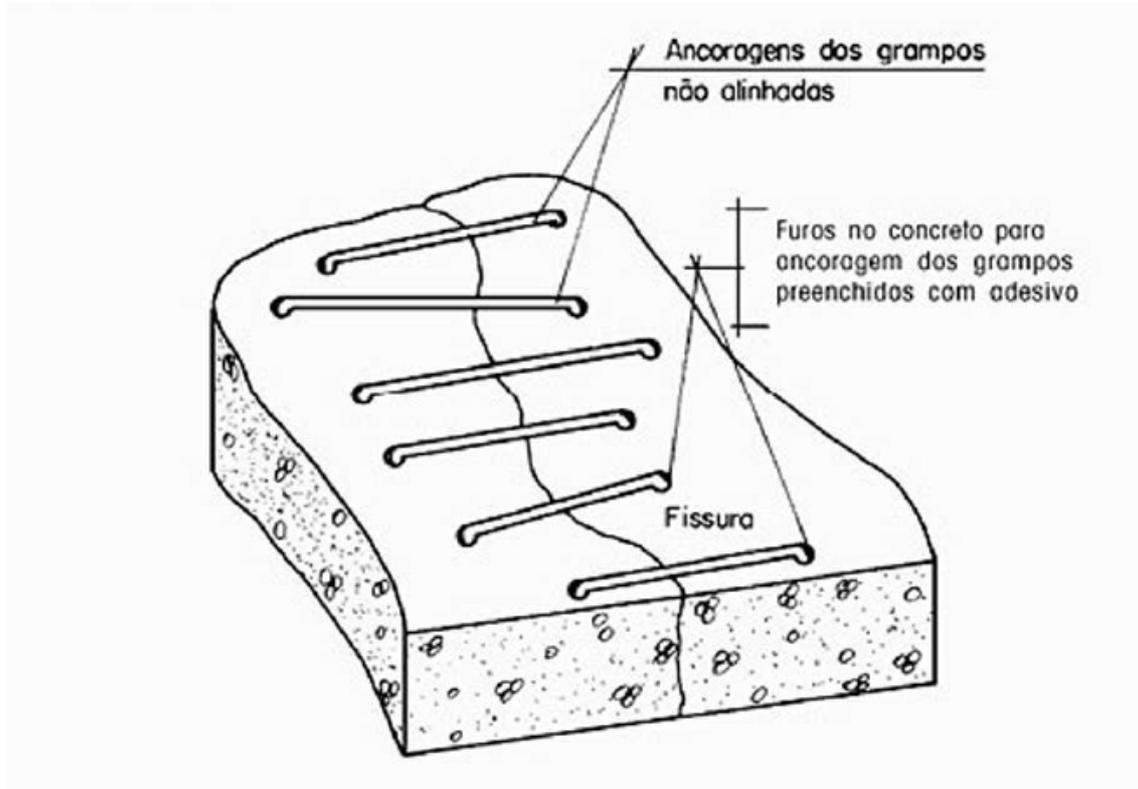
Souza e Ripper (1998, p.126) afirmam que:

Nos casos de fissuras ativas e em que o desenvolvimento delas acontece segundo linhas isoladas e por deficiências localizadas de capacidade resistente, poderá vir a ser conveniente a disposição de armadura adicional, de forma a resistir ao esforço de tração extra que provocou a fendilhação. Em função do seu aspecto e de seu propósito, estas armaduras são chamadas grampos, sendo este o processo de costura das fendas.

Trindade (2015) explica que a execução do grampeamento ocorre com a introdução dos grampos nos furos feitos anteriormente, conforme apresentado na Figura 36 e nos espaços dos furos são introduzidos epóxi ou argamassa. Os grampos sempre deverão ter

disposições e inclinações diferentes, para que não fiquem alinhados e os esforços transmitidos não sejam exercidos em um único plano.

Figura 36: Reparo de uma fissura por costura.



Fonte: SOUZA e RIPPER,1998.

Quando a fissura ocorre em uma linha não isolada é discutível a utilização da técnica de grampeamento, pois utilizando esta técnica poderia estar aumentando a rigidez da peça e com isso a causar uma nova fissura próxima a região.

3 ESTUDOS DE CASO

Foram analisadas duas residências de no máximo 135 metros quadrados, situadas nas cidades de Tubarão e Laguna – SC, em variados bairros.

O estudo foi realizado por meio de vistoria técnica e através de comparações de projetos onde se pode diagnosticar quais seriam os motivos que geraram o problema patológico.

Foram escolhidas estas duas residências pelo fato de terem patologias aparentes, em estágio grave e com fácil diagnóstico. Cada residência tem problemas de origens diferentes e que necessitam de recuperação para garantir sua estabilidade. A seguir serão apresentadas as residências estudadas.

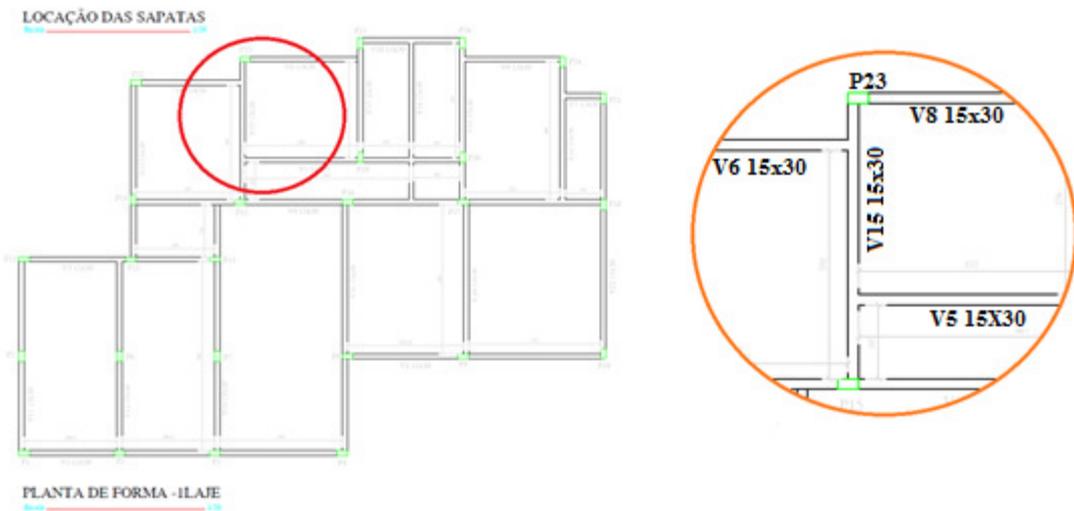
3.1 RESIDÊNCIA A

A primeira residência estudada contém 128 metros quadrados de área construída e está localizada na cidade de Tubarão/SC, Rua Manoel João Domingos no bairro Congonhas. O proprietário contratou um engenheiro civil especializado para a realização de um Parecer sobre os problemas patológicos originados na estrutura de sua residência, tais como: inúmeras trincas, fissuras e ferragens aparentes para que pudesse diagnosticar a origem do problema e solucionar os mesmos.

3.1.1 Patologias identificadas

O primeiro problema encontrado foi na viga 15, conforme localização na planta de forma do projeto estrutural, representado na Figura 37. A viga apresenta-se com armadura exposta e com trinca que ocupa quase todo o lado externo da peça, conforme apresentado na Figura 38.

Figura 37: Localização viga 15 – Projeto estrutural.



Fonte: Projeto estrutural, Pereira (2013) - Adaptado pelos autores, 2017.

Figura 38: Situação da Viga 15.



Fonte: SILVA, 2016.

Pelo histórico informado pelo proprietário, constatou-se que num primeiro momento ocorreram aparecimentos de trincas nas vigas, por consequência disto, ocorreu a deterioração do concreto, que tornou a armadura da peça exposta.

Deste modo, para entender o que poderia ter ocasionado o aparecimento das trincas, observou-se que a trinca possuía uma angulação de 45° sofrido por esforço transversal, que geralmente é ocasionado por colocação de estribos de menor diâmetro ou mais espaçados. Para verificação foi necessário fazer uma demolição parcial da estrutura da viga 15. Com a remoção do concreto, foi observado que o primeiro estribo estava com um espaçamento de 47 centímetros da ferragem do pilar, conforme pode ser observado na Figura 39.

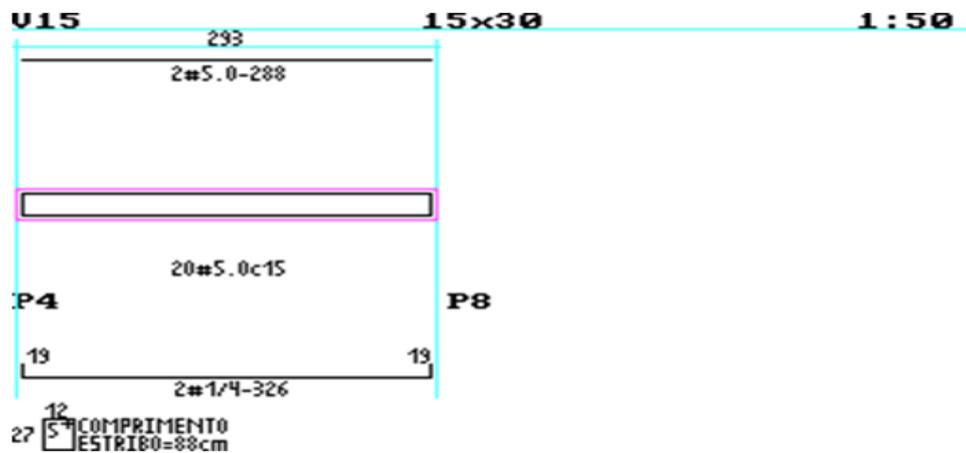
Figura 39: Abertura da Viga 15.



Fonte: SILVA, 2016 - Adaptado pelos autores, 2017.

Através deste procedimento, pode-se constatar que houve erro de execução do projeto estrutural. A Figura 40, traz o detalhamento da viga 15 e demonstra que a quantidade de estribos que deve constar na armadura são de 20 estribos de 5 milímetros de diâmetro, com espaçamento de 15 centímetros.

Figura 40: Detalhamento da viga 15.



Fonte: PEREIRA, 2013.

Desta forma, a patologia identificada na viga 15 é classificada como intrínseca originada por falhas humanas e insuficiência de armaduras. Ambos os erros foram originados no momento da execução da obra.

Outro problema encontrado na viga 15 foi a falta de ancoragem, apresentando a falta de ligação entre as vigas 8 e 15, como pode ser observado na abertura da Viga 8, demonstrada na Figura 41, a qual apresenta-se em desconformidade com o projeto estrutural.

Figura 41: Abertura da Viga 8.

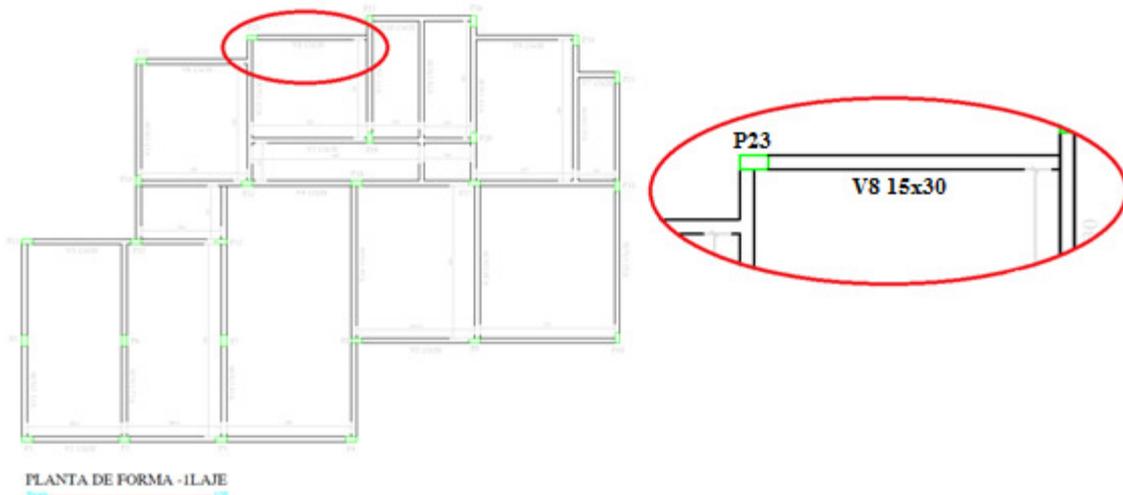


Fonte: SILVA 2016, adaptado pelos autores.

O segundo problema encontrado foi na viga 8, que pode ser localizada no projeto estrutural indicado na Figura 42. A viga 8, encontrava-se com uma trinca vertical entre o pilar 23 e a viga em questão, conforme apresentada na Figura 43. Visualmente ela pode ser

justificada por insuficiência de armadura como também por excesso de carga, pois ocorre um esforço transverso.

Figura 42: Localização da Viga 8 – Projeto estrutural.



Fonte: PEREIRA, 2013 - Adaptado pelos autores, 2017.

Para solucionar o problema seria necessário uma ancoragem do tipo gancho de ângulo reto de 24 centímetros para a viga 8 e uma ancoragem do tipo gancho de ângulo reto de 19 centímetros para a viga 15. Ambas as vigas, não estavam apoiadas uma na outra e nem ancoradas, ou seja, a função estrutural das peças ficou prejudicada.

Figura 43: Situação da viga 8.



Fonte: SILVA, 2016.

Quanto ao posicionamento dos estribos, visualmente não foi possível ser identificado nenhum tipo de causa extrínseca da patologia observada. Desta forma, foi necessário fazer um corte profundo na viga 8, para que pudesse ser identificada qual a possível causa da problemática, conforme demonstrada na Figura 44.

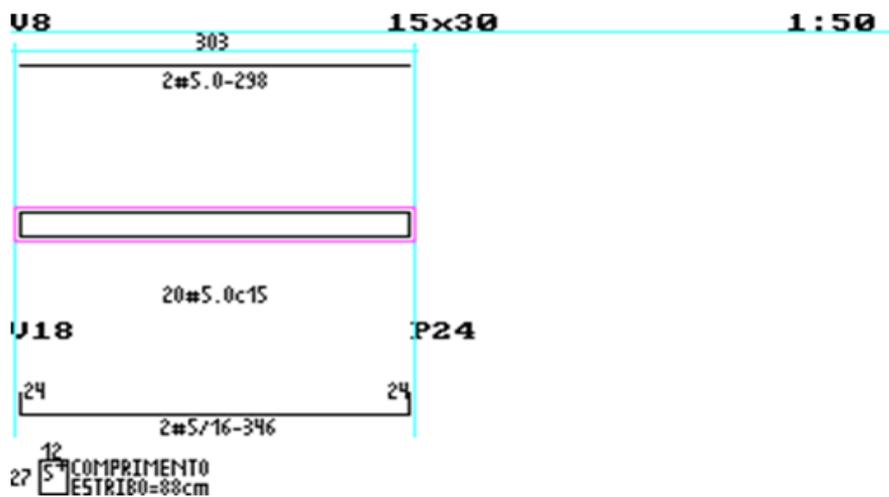
Figura 44: Abertura da viga 8.



Fonte: SILVA, 2016. Adaptado pelos autores, 2017.

Após a remoção do concreto, foi possível identificar que os estribos estavam com um espaçamento de 46 centímetros. No detalhamento do projeto estrutural (Figura 45), a viga 8 deveria ter vinte estribos de cinco milímetros de diâmetro e com um espaçamento de 15 centímetros. Portanto, foi necessário fazer a abertura de toda a viga, para que pudesse ser feito a recuperação.

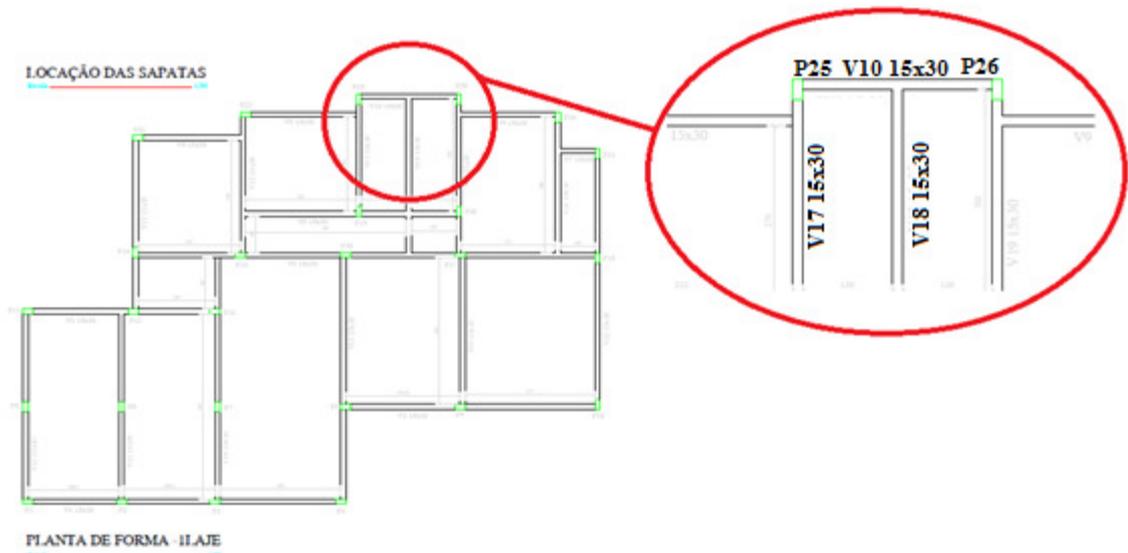
Figura 45: Detalhamento da viga 8.



Fonte: PEREIRA, 2013.

Além da falta de estribos, outro problema ocasionou também a trinca identificada, as vigas 10, 17 e 19 no projeto estrutural estão apoiadas nos pilares P25 e P26, conforme pode ser observado na Figura 46. Porém, quando analisado in loco, conforme Figura 47, nota-se que os pilares foram recuados e sobre eles foram apoiadas a viga 8 e 17, no pilar 25 e a viga 9 e 19, no pilar 26.

Figura 46: Planta de forma projeto estrutural.



Fonte: PEREIRA, 2013 - Adaptado pelos autores, 2017.

Figura 47: Laje em balanço.



Fonte: BELLE ENGENHEIRA, 2016 - com adaptações dos autores.

Desta forma, a laje ficou em balanço, o qual não foi previsto no projeto estrutural e a mesma laje, estava suportando a carga de uma caixa d'água. O balanço não previsto em conjunto com o peso da caixa d'água também contribuíram para que as trincas ocorressem.

Além destes, foram identificados outros problemas patológicos na estrutura, porém, o proprietário optou por somente recuperar as situações emergenciais que apresentavam risco a integridade da estrutura.

3.2 RESIDÊNCIA B

A segunda residência estudada, contém 135 metros quadrados de área construída e está localizada na cidade de Laguna/SC, situado no km 37, bairro laranjeiras. O proprietário contratou um engenheiro civil especializado para a realização de um Parecer Técnico sobre os problemas patológicos originados na estrutura de sua residência, tais como: exposição das armaduras e a deterioração do concreto nos pescoços e nas vigas baldrame, que fazem parte da fundação da estrutura.

3.2.1 Patologias identificadas

As peças estruturais com patologias identificadas foram concretadas em 02 janeiro de 2017, segundo a previsão meteorológica para a data da concretagem a temperatura máxima atingida seria de 29°. O concreto utilizado possuía uma resistência de 20 MPa e o slump de 12 ± 2 .

O primeiro problema identificado foi no “pescoço”, que é um elemento estrutural o qual transfere as cargas que recebe para as sapatas. Foi identificado que os pescoços estavam com armaduras expostas e com ninhos/bicheiras de concretagem, conforme podem ser observados nas Figura 48, 48 e 50.

Figura 48: Pescoço com armadura totalmente exposta.



Fonte: BELLE ENGENHEIRA, 2017.

Figura 49: Pescoço com aparecimento de ninhos/bicheiras.



Fonte: BELLE ENGENHEIRA, 2017.

Figura 50: Pescoço com aparecimento de ninhos/bicheiras e armadura exposta.



Fonte: BELLE ENGENHEIRA, 2017.

Durante a vistoria in loco, pode-se observar que todos os dezessete pescoços existentes na construção apresentavam segregação do concreto – separação dos materiais componentes do concreto – que ocasionaram o aparecimento de ninhos ou bicheiras. Foi observado que a maior intensidade da segregação do concreto ocorreu na parte inferior do elemento estrutural pescoço, mais próximo das sapatas.

O segundo problema identificado ocorreu na viga baldrame, que é um elemento estrutural, o qual transfere as cargas que recebe para os pescoços. Foi identificado que as vigas baldrame estavam com ninhos/bicheiras de concretagem, conforme podem ser observados nas Figura 51 e Figura 52.

Figura 51: Vigas baldrame com aparecimento de ninhos/bicheiras.



Fonte: BELLE ENGENHEIRA, 2017.

Figura 52: Vigas baldrame com aparecimento de ninhos/bicheiras.



Fonte: BELLE ENGENHEIRA, 2017.

As vigas baldrame apresentaram segregação com uma intensidade menor do que as identificadas nos pescoços.

As patologias identificadas nestes elementos estruturais ocorreram de forma intrínseca, ou seja, ocorreram no momento da execução da estrutura, por falha durante o processo de concretagem. Para garantir a qualidade da concretagem deve-se seguir as práticas corretas de lançamento e adensamento do concreto.

Foi verificado durante a vistoria in loco que não ocorreu o adensamento do concreto utilizado nos elementos estruturais que apresentaram ninhos/bicheiras, ou seja, foi uma falha durante a concretagem pela não execução do procedimento adequado do lançamento do concreto na forma.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta seção tem por objetivo prover uma análise da pesquisa bibliográfica que fora desenvolvida neste trabalho, avaliando as causas patológicas que ocorrem de forma intrínseca e extrínseca, com foco nos estudos de casos apresentados no tópico anterior. Através desta análise foi possível a concepção de dois organogramas conforme Figura 53 e 54, onde pode-se identificar as patologias estudadas decorrentes de falhas humanas, que é a principal causadora das patologias existentes.

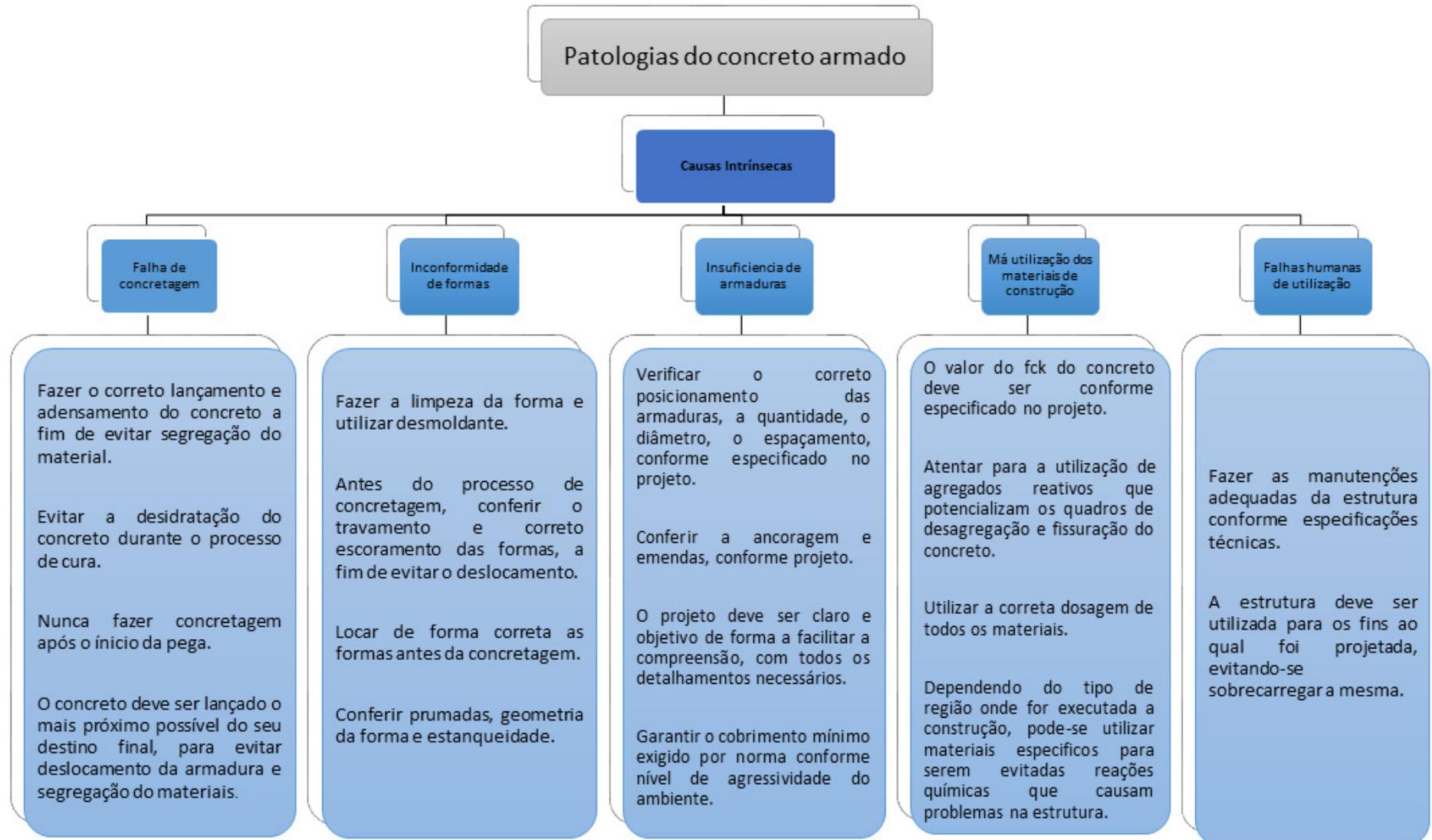
Para facilitar o entendimento, foram divididos os tipos de patologias em intrínsecas, onde ocorre durante a execução da obra e extrínseca que ocorre depois de finalizada e durante sua utilização.

Foram propostos nestes organogramas observações que devem ser levados em consideração durante as etapas construtivas com a finalidade de prevenir problemas e prejuízos presentes ou futuros na edificação.

Foi elaborado também um quadro (Figura 55) para facilitar a identificação e o diagnóstico de trincas em peças estruturais, visualmente através de comparativos, antes de ocorrer qualquer tipo de intervenção. Através desta tabela, pode ser identificado as origens do que ocasionou as trincas e quais as formas de reparo daquela estrutura, além disso, pode facilitar o diagnóstico do técnico especialista na área de patologia, no momento de identificar e orçar o reparo necessário, sem que se tenha que quebrar a estrutura.

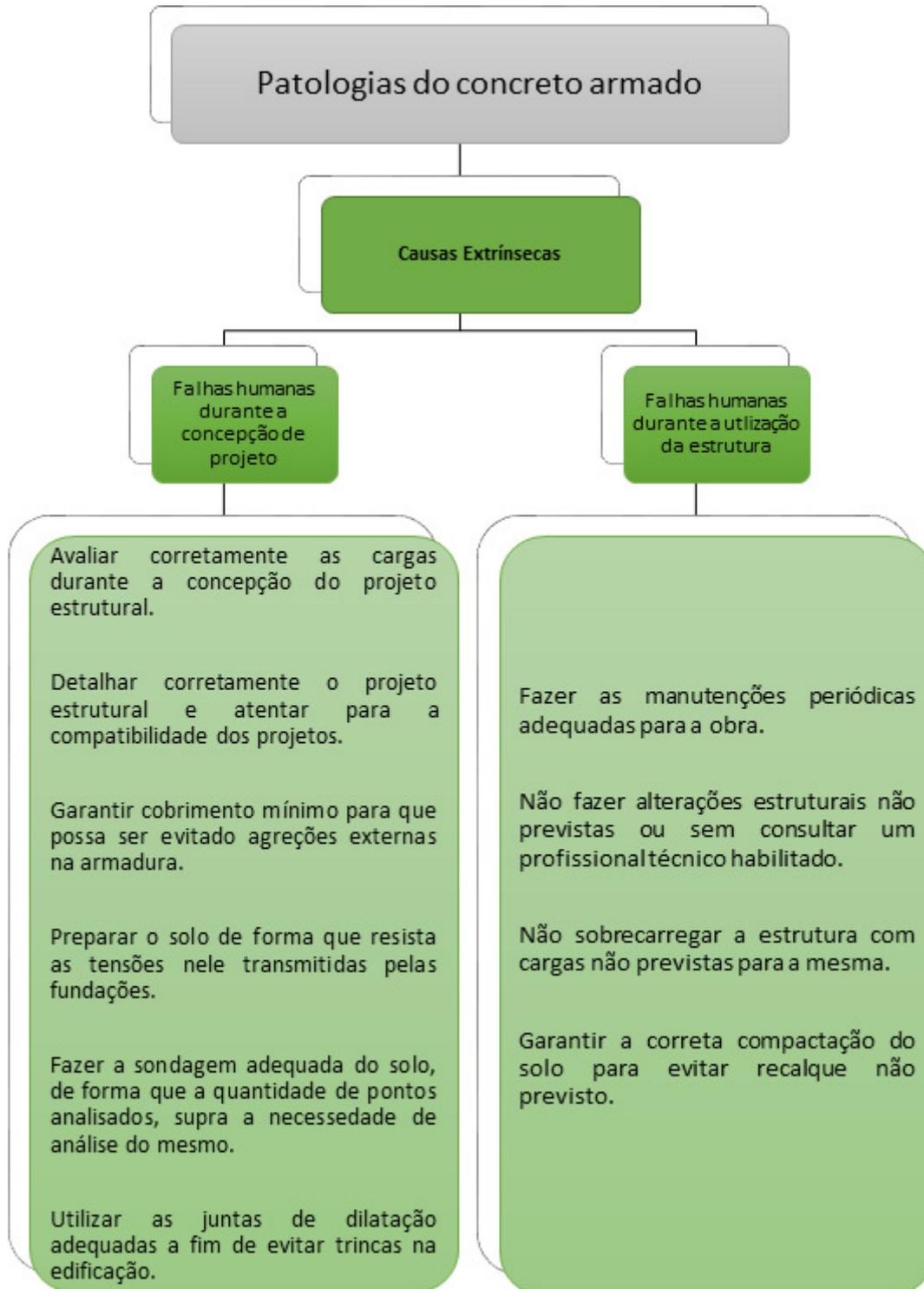
O organograma e a tabela elaborada pelos autores desta pesquisa facilitou a compreensão e o entendimento de qual foi a origem dos problemas patológicos identificados nos dois estudos de caso apresentados. Nos tópicos a seguir, pode-se observar as origens dos problemas, tomando por base o organograma e também as soluções descritas para os mesmos.

Figura 53 - Organograma causas intrínsecas.



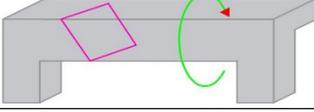
Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

Figura 54 - Organograma causas extrínsecas.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2017.

Figura 55: Quadro para diagnóstico de fissuras em vigas.

QUADRO PARA DIAGNÓSTICO DE FISSURAS EM VIGAS			
IDENTIFICAÇÃO VISUAL	DENOMINAÇÃO	POSSÍVEIS CAUSAS	FORMAS DE REPARO
	FLEXÃO	ARMADURA INSUFICIENTE; SOBRECARGA; FALTA DE AMARRAÇÃO; SEÇÃO INSUFICIENTE;	COLOCAÇÃO DE ARMADURA; AUMENTAR SEÇÃO; REDUZIR CARGAS;
	FLEXÃO LATERAL	SOBRECARGA LATERAL; SOBRECARGA PONTUAL;	COLOCAÇÃO DE ARMADURA;
	ESFORÇO TRANSVERSO	SEÇÃO INSUFICIENTE; ARMADURA TRANSVERSAL; SOBRECARGA;	COLOCAÇÃO DE ESTRIBOS; REDUZIR CARGAS;
	ESFORÇO TRANSVERSO + AMARRAÇÃO INSUFICIENTE	RESISTÊNCIA TRANSVERSAL INSUFICIENTE; COMPRIMENTO DE AMARRAÇÃO DA ARMADURA NEGATIVA;	COLOCAÇÃO DE ARMADURA TRANSVERSAL; CORRIGIR AMARRAÇÃO DA ARMADURA NEGATIVA;
	AMARRAÇÃO NEGATIVA INSUFICIENTE	AMARRAÇÃO INSUFICIENTE;	CORRIGIR AMARRAÇÃO;
	TORÇÃO	SEÇÃO INSUFICIENTE; ARMADURA TRANSVERSAL E LONGITUDINAL; SOBRECARGA;	COMPENSAR CARGAS; AUMENTAR SEÇÃO;
	FLEXÃO + ESFORÇO TRANSVERSO	SEÇÃO INSUFICIENTE; ARMADURA TRANSVERSAL E LONGITUDINAL; SOBRECARGA; DESFORMA PREMATURA;	AUMENTAR SEÇÃO; COLOCAÇÃO DE ARMADURA; REDUÇÃO DE CARGA;
	FLEXÃO + TORÇÃO	SEÇÃO INSUFICIENTE; ARMADURA TRANSVERSAL E LONGITUDINAL;	AUMENTAR A SEÇÃO; COLOCAÇÃO DE ARMADURA TRANSVERSAL E LONGITUDINAL;

Fonte: ARAÚJO E LOPES, 2003 - Elaborado pelos autores, 2017.

4.1 RECUPERAÇÃO DAS PATOLOGIAS IDENTIFICADAS NA RESIDÊNCIA A

Na residência A, localizada em Tubarão/SC, as patologias identificadas tais como, trincas e armadura exposta, foram ocasionadas de forma intrínseca geradas por erros de execução. Essas falhas foram identificadas devido a formação de trincas a incoerência das amaduradas executadas com o que estava descrito no projeto estrutural, além de posicionamento de pilares discrepantes ao projeto.

A recuperação da estrutura da viga 15 foi realizada por meio de correta execução do projeto, posicionando os estribos com espaçamento solicitado, conforme demonstrado na Figura 56.

Figura 56: Recuperação da viga 15.



Fonte: BELLE ENGENHEIRA, 2016.

Posterior a isso foi executada a caixaria para que pudesse ser feita a concretagem. Para a concretagem, foi utilizado graute, que segundo os fabricantes consultados pode atingir em média uma resistência de 40 MPa em até 3 dias.

Entre as vigas 15 e 8, foram colocados os ganchos conforme indicado no projeto estrutural (Figura 57), após este procedimento foi executado a caixaria e concretado com graute.

Figura 57: Recuperação entre as vigas 8 e 15.



Fonte: BELLE ENGENHEIRA, 2016.

A recuperação da viga 8 foi executada da mesma maneira que a viga 15. Foram recolocados os estribos conforme solicitado em projeto, podendo ser observado na Figura 58

Figura 58, após a colocação dos estribos com o espaçamento adequado, foi executada a caixaria (Figura 59) e colocado escoras para que fosse concretada a peça com graute.

Figura 58: Colocação dos estribos na viga 8.



Fonte: BELLE ENGENHEIRA, 2016.

Figura 59: Execução da caixaria da viga 8.



Fonte: BELLE ENGENHEIRA, 2016.

As recuperações emergenciais realizadas foram de suma importância para garantir a estabilidade da estrutura e também para que pudessem ser identificados quais os problemas que estavam gerando as diversas trincas encontradas.

4.2 RECUPERAÇÃO DAS PATOLOGIAS IDENTIFICADAS NA RESIDÊNCIA B

Na residência B, localizada em Laguna/SC, as patologias identificadas tais como, ninhos/bicheiras de concretagem e armadura exposta, foram ocasionadas de forma intrínseca geradas por erros de execução.

Para recuperar as peças estruturais, será necessário romper todos os ninhos (segregações) por completo e executar a concretagem novamente com os produtos específicos para que atinja a resistência necessária.

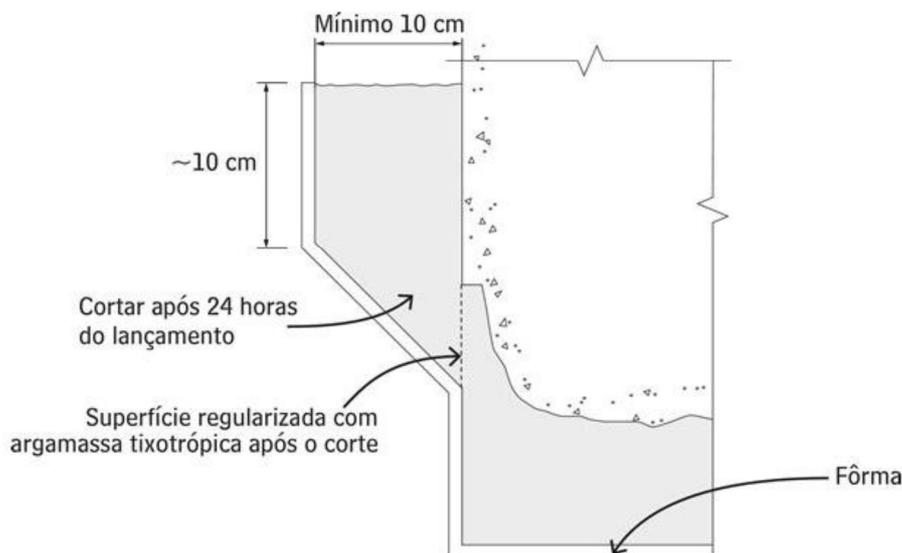
O rompimento deve ocorrer de modo que remova toda a parte de concreto segregado, para que possa ser concretado novamente com os procedimentos adequados de lançamento. De acordo com a Figura 60, para ocorrer a concretagem deve ser executada uma forma com no mínimo 10 centímetros de largura e altura e com uma inclinação, de modo que o concreto faça o caminho até a área desejada.

Antes de ocorrer o processo de concretagem, as ferragens devem receber um tratamento anticorrosivo, haja visto que o mesmo permaneceu exposto à intempéries. Após o tratamento das ferragens é realizado o lançamento do concreto, quando o lançamento completar 24 horas, faz-se um recorte da extensão da forma para que a peça volte a seu formato geométrico inicial e em seguida regulariza-se a superfície cortada com argamassa.

Figura 60: Método de recuperação de segregação.

Detalhes executivos

Reparo de segregações



É essencial ter o acompanhamento de um técnico responsável e habilitado durante o processo de recuperação das peças estruturais, para que não ocorram erros no momento da execução a fim de evitar maiores problemas a estrutura.

Para que seja evitado a patologia apresentada na residência B, deve-se ter cuidado no momento da execução com o lançamento e o adensamento do concreto, para que não ocorram falhas de concretagem.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo fazer um estudo das patologias existentes na construção civil que envolvem o concreto armado, afim de poder identificar como ocorrem as patologias por falhas na concepção de projeto, execução da obra, utilização da estrutura, por causas químicas, físicas, mecânicas e biológicas.

Por meio da fundamentação teórica, buscou-se identificar os tipos de patologias, como se manifestam, de que forma podem ser identificadas e quais suas origens. Como resultado deste trabalho, foi elaborado um organograma e também um quadro para diagnóstico de fissuras em vigas.

O organograma teve o intuito de indicar os procedimentos adequados para que se possa prevenir o surgimento das patologias estudadas e retardar as que ocorrem de forma natural. Como consequência o processo de identificação da origem das patologias apresentadas nos estudos de caso foi facilitado e ao analisar o quadro de fissuras em vigas foi possível a identificação dos tipos de trincas existentes no estudo de caso em questão.

Nos estudos de caso, foram analisadas duas edificações privadas que se localizam nas cidades de Tubarão/SC e Laguna/SC. Ambas as residências tem menos de três anos de concepção e já apresentavam problemas nos elementos estruturais de concreto armado. Estes problemas identificados ocorreram por falhas de execução advindas do não acompanhamento do projeto estrutural e por não seguir os procedimentos adequados de lançamento e adensamento do concreto nas formas.

Conclui-se que a contratação de mão de obra de baixa qualidade, sem as devidas qualificações, a falta de acompanhamento de um profissional técnico habilitado, a utilização de material de baixa qualidade e a utilização incorreta do proprietário em conjunto com a falta de manutenção da estrutura, são os fatores mais comuns que causam os problemas patológicos nas estruturas.

Ainda que sejam tomadas as devidas precauções durante a concepção de projeto ou durante a execução da obra, existem outros fatores que podem causar problemas a estrutura, como a deterioração do concreto pelo tempo de utilização. Mesmo que a estrutura demonstre um desempenho insatisfatório, nem sempre significa que esta esteja condenada. Antes de fazer qualquer tipo de intervenção, deve-se fazer um estudo das patologias identificadas para poder diagnosticar qual a melhor forma de correção.

Para evitar as patologias identificadas no estudo de caso, conclui-se ainda que durante a execução do projeto é de suma importância que tenha um profissional técnico habilitado para que possa acompanhar, orientar e fiscalizar a obra. O projeto estrutural deve ser corretamente calculado e detalhado de forma a facilitar a leitura e execução.

Os materiais a serem utilizados na obra devem ser escolhidos de forma que estes sigam criteriosamente as especificações técnicas e de qualidade, referente aos mesmos. Deve-se garantir também, todo o preenchimento das formas pelo concreto, através do correto adensamento com auxílio de vibradores mecânicos.

É importante salientar que, todos os procedimentos que envolvem a execução de estruturas de concreto armado são normatizados. Essas normas devem ser seguidas a fim de garantir a qualidade e o desempenho satisfatório da estrutura em questão.

5.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Espera-se que este trabalho possa instigar novas pesquisas que aprofundem futuros estudos sobre os problemas patológicos no concreto armado.

Desse modo recomenda-se como trabalhos futuros:

- a) Elaboração de um manual que descreva os tipos de patologias existentes e as formas de identificação, prevenção e correção para cada uma das patologias apresentadas;
- b) Realizar estudos de casos que contenham patologias naturais, que não fazem parte das falhas humanas;
- c) Fazer uma análise dos materiais utilizados para cada tipo de recuperação, reparo ou reforço das estruturas;
- d) Elaboração de quadro de fissuras para outros elementos estruturais.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Sandra Denise Kruger Alves. **Apostila de concreto armado I – CAR1001**. UDESC, 2014. (Apostila). Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/sandra/materiais/APOSTILA__CAR_I__02_2014.pdf>. Acesso em 08 de maio de 2017.
- ANDRADE Y PERDRIX, Maria Del Carmo, trad. Antônio Carmona, Paulo Roberto Lago. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras**. Ed. 5, São Paulo, 1992.
- ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. **Patologia das Estruturas**. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: IBRACON, 2005.
- ARAÚJO, R.C.L.; RODRIGUES, L.H.V.; FREITAS, E.G.A. **Materiais de construção**. Rio de Janeiro, 2000. (Apostila)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 6118/2014. **Projeto de Estruturas de Concreto — Procedimento**. ed. Rio de Janeiro, RJ: Abnt,
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 7480/2008. **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificações**. 2 ed. Rio de Janeiro, RJ: Abnt,
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Dimensionamento de vigas de concreto armado ao esforço cortante**. Bauro, 2004. (Apostila). Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec802/Vigas/UNESP_Bauru/Cortante-04.pdf>. Acesso em 09 de maio de 2017.
- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Fundamentos do concreto armado**. 1 ed. Bauru: UNESP, 2006. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1006/Downloads/FUNDAMENTOS.pdf>>, Acesso em 08 de maio de 2017.
- BORGES, Micheline Gonçalves. **Manifestações patológicas incidentes em reservatórios de água elevados executados em concreto armado**. 2008. 111 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2008. Disponível em: <http://civil.uefs.br/DOCUMENTOS/MICHELINE_GONÇALVES_BORGES.pdf>. Acesso em: 08 de maio 2017.
- BUENO, Carlos Frederico Hermeto. **Tecnologia de Materiais de Construções**. Viçosa: Ufv, 2000. 40 p. Disponível em: <http://arquivo.ufv.br/dea/ambiagro/arquivos/materiais_contrucao.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2017.
- CALIXTO, José Márcio Fonseca. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1997. 117p.
- CÁNOVAS, Manuel Fernández. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. São Paulo: Pini, 1988. 522 p.

COÊLHO, Ronaldo Sérgio de Araújo. **Concreto armado na prática**. São Luís: Uema, 2008. 340 p.

Condomínio Central Park Ibirapuera: a importância de um laudo técnico para a obtenção da excelência na recuperação das fachadas em edifícios. **Rev. Concreto & Construções**. Ed. 49, 2008. Disponível em: <http://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/Revista_Concreto_49.pdf> Acesso em: 28 março. 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Constituição (2006). Norma Dnit nº 090 de 2006. **Patologias do Concreto**: Especificações de serviço. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-de-servicos-es/dnit090_2006_es.pdf>. Acesso em: 18 abril 2017.

DUARTE, Ronaldo Bastos. **Fissuras em alvenarias: causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação**. Porto Alegre: CIENTEC, 1998. Disponível em: <http://www.cientec.rs.gov.br/upload/20160728175220boletim_tecnico_25___fissuras_em_alvenarias_causas_principais,_medidas_preventivas_e_tecnicas_de_recuperacao.pdf> Acesso em: 03 de maio. 2017.

FAY, Liliana. **Estruturas arquitetônicas: Composição & Modelagem**. Rio de Janeiro: UFRRJ, 2006. 102 p.

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. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/40/1/Rui_Miguel_Ferreira_DECivil.pdf> Acesso em: 03 de maio. 2017

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Tecnologia do Concreto Estrutural**: tópicos aplicados: componentes, durabilidade, resistência mecânica, corrosão, compressão. São Paulo: Pini, 2008.

FUSCO, Pericles. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. São Paulo: Pini. 392p.
GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de Pesquisa**. Porto Alegre: Ufrgs, 2009. 120 p. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas S.a., 1991. 101 p. Disponível em: <http://www.ie.ufrj.br/intranet/ie/userintranet/hpp/arquivos/031120162924_AntonioCarlosGil_ComoElaborarProjetosdePesquisa_EditoraAtlasCopia.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2017.

GONÇALVES. Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. 2015. 174 f. Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014879.pdf>> Acesso em: 28 março.2017

GRANATO, José Eduardo. Patologia das construções. São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://irapuama.dominiotemporario.com/doc/Patologiadasconstrucoes2002.pdf>> Acesso em: 19 abril. 2017.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2ª ed - São Paulo: PINI, 1992.

JÚNIOR, Tarley Ferreira de Souza. *Concreto armado*. 01 jan. 2011, 31 dec. 2011. 23 p. Notas de Aula. Formato digital. Disponível em: <http://www.tooluizregoseed.pr.gov.br/redeescola/escolas/27/2790/30/arquivos/File/Disciplinas%20Conteudos/Quimica%20Subsequente/Quimica%20Inorganica/Carlos_3Sem_Concreto.pdf>. Acesso em 17 de junho de 2017.

LAPA, José Silva. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. 2008. 56 f. Monografia (Especialização em construção civil) – Universidade Federal de Minas Gerais.

LEONEL, Vilson. MOTTA, Alexandre de Medeiros. **Ciência e Pesquisa**: livro didático. 3. ed. Palhoça: Unisul Virtual, 2011.

LEONEL, Vilson. MOTTA, Alexandre de Medeiros. **Ciência e Pesquisa**: livro didático. Palhoça: Unisul Virtual, 2013.

LOPES, Ricardo; NETTO, Rafael Mantuano. **Detalhes construtivos visando à prevenção de fissuras em alvenarias de vedação e alvenarias estruturais**. São Paulo: 2012. 27 p. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/RicardoLopes26/patologias-na-construo-civil-detalhes-construtivos-fissuras-na-alvenaria>>. Acesso em: 24 maio 2017.

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

MEHTA Povindar Kumar. MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto – Microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2008.104 p.

NORONHA, M. A. A. **Diagnostico dos males e terapia das estruturas**. 1980. – (Apostila do Curso de Patologia das Construções de Concreto, FDTE/EPUSP/IPT), Sao Paulo, 1980.

NUNES, Nelson Lúcio; FIGUEIREDO, Antonio Domínguez de. **Retração do concreto de cimento portland**. 2007. ed. São Paulo: Bt/pcc/452, 2007. 61 p. Disponível em: <http://www.pcc.poli.usp.br/files/text/publications/BT_00452.pdf>. Acesso em: 30 maio 2017

OLIVEIRA, Alexandre Magno de. **Fissuras, trincas e rachaduras causadas por recalque diferencial de fundações**. 2012. 96 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <<http://pos.demc.ufmg.br/novocecc/trabalhos/pg2/96.pdf>>. Acesso em: 03 de maio 2017.

PIANCASTELLI, Élvio Mosci. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Apostila para Curso de Extensão, Ed. Depto. Estruturas da Escola de Engenharia da UFRG, Belo Horizonte, 1997.

PINHEIRO, Libânio M; et al. **Estruturas de concreto – capítulo 3**. São Paulo, 2010. (Apostila). Disponível em: <<http://www.set.eesc.usp.br/mdidatico/concreto/Textos/03%20Acos.pdf>>. Acesso em 11 de maio de 2017.

Recuperação estrutural: Sistemas, técnicas e materiais para reabilitar estruturas de concreto. **Rev. Ed. Phini**. São Paulo, ed. 84, março 2004. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/84/artigo286279-2.aspx>> Acesso em: 10 maio. 2017.

REIS, Lília Silveira Nogueira. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. 2001. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais Escola de Engenharia Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas.

REVISTA ON-LINE IPOG: Métodos de Recuperação de Estruturas de Concreto Armado Deterioradas pela Corrosão nas Armaduras. Florianópolis: Instituto de Pós-graduação, dez. 2015. Mensal. Disponível em: <<https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjars71tqnUAhULIJAKHSzsAasQFggjMAA&url=https://www.ipog.edu.br/download-arquivo-site.sp?arquivo=manoel-vicente-zeredo-stotz-11151983.pdf&usq=AFQjCNHjQaK6k0VeKchXt1bE29OFFIJSQ&sig2=lgHgBcV-ThEORqXupt0a1w>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

SABADINI, Aparecida Angélica Z. Paulovic; SAMPAIO, Maria Imaculada Cardoso; NASCIMENTO, Maria Marta. **Citações no Texto e Notas de Rodapé**: Adaptação do Estilo de Normalizar de Acordo com as Normas ABNT. São Paulo: Usp, / . 9 p. Disponível em: <<http://www.ip.usp.br/portal/images/stories/manuais/citacoesabnt.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

SANTOS, Camila Freitas dos. **Patologia de estruturas de concreto armado**. 2014. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2014/TCC_CAMILA_FREITAS_DOS_SANTOS.pdf>. Acesso em: 08 de maio 2017.

SILVA, Antônio Erinaldo Amorim da. **Metodologia Científica**. Piracuraca: Universidade Estadual do Piauí, 2012.

SILVA, Turíbio José da. **Predicción de la vida útil de forjados unidireccionales de hormigón mediante modelos matemáticos de deterioro**. 1998. 290f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola técnica superior d'enginyers de Camins, Universidade Politècnica da Catalunya, Barcelona, 1998. Disponível em: <<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/841/925>> Acesso em: 17 de maio. 2017.

S

OUZA, Vicente Custódio. RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1998. 262 p.

TAKATA, Leandro Teixeira. **Aspectos executivos e a qualidade de estruturas em concreto armado: estudo de caso.** 2009. 152 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

TAKEUTI, Adilson Roberto. **Reforço de Pilares de concreto armado por meio de encamisamento com concreto de alto desempenho.** 1999. 205 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-03112003-113505/.../Takeuti.pdf>. Acesso em: 12 abril 2017.

THOMAZ, Ercio. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção.** São Paulo: Pini, 2001. 493 p.

TRINDADE, Diego dos Santos da. **Patologia em Estruturas de Concreto Armado.** 2015. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2015/TCC_DIEGO_DOS_SANTOS_DA_TRINDADE.pdf>. Acesso em: 29 março 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (Rio Grande do Sul). **Guia de Normalização de Trabalhos Acadêmicos da Faculdade de Biblioteconomia e Comunicação da Ufrgs.** Porto Alegre: Ufrgs, 2017. 42 p. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/bibfbc/a_biblioteca/documentos/guia-normalizacao>. Acesso em: 17 jun. 2017.