ORISVALDO ELPIDIO DOS PASSOS JUNIOR

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

Campo Grande – MS.
2018

ORISVALDO ELPIDIO DOS PASSOS JUNIOR

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Civil.

Orientador: ARIADNE TIEPO

Campo Grande – MS.
2018

ORISVALDO ELPIDIO DOS PASSOS JUNIOR

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Prof(a). Titulação Nome do Professor(a)

Campo Grande - MS, dia de dezembro de 2018

PASSOS JUNIOR, Orisvaldo Elpidio dos. **Manifestações patológicas em estrutura de concreto armado**. 2018. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – UNIDERP, Campo Grande, 2018.

RESUMO

O acelerado crescimento da construção civil nos últimos anos e a necessidade de se concluir as obras no menor tempo possível somada a uma ineficiente fiscalização das etapas construtivas pelos responsáveis técnicos, foram fatores preponderantes para a elevada ocorrência de manifestações patológicas nas construções em geral, com relação as estruturas de concreto armado o problema é agravado, uma vez que a segurança da edificação depende principalmente dos elementos estruturais. Desta forma, este trabalho através de levantamento bibliográfico apresenta os diversos fatores responsáveis por provocar o surgimento de patologias em estruturas de concreto armado, relacionando as formas mais comuns de agressão as estruturas de concreto, como também as formas de diagnóstico para se providenciar o melhor procedimento de reforço ou reparo do elemento danificado. A partir dos levantamentos é observado que as intervenções para correção de patologias deve ser bem planejada, pois algumas técnicas podem ser mais vantajosas que outras com relação ao tipo de dano que será tratado e para que se evitar o surgimento de manifestações patológicas é necessário especialização da mão de obra, fiscalização e boas práticas nas etapas construtivas, pois qualquer tipo de intervenção em estruturas danificadas acarreta em prejuízos econômicos, devido aos elevados custos para se realizar os processos de recuperação das estruturas.

Palavras-chave: Patologia 1; Estruturas 2; Concreto 3; Armado 4.

PASSOS JUNIOR, Orisvaldo Elpidio dos. **Manifestações patológicas em estrutura de concreto armado**. 2018. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – UNIDERP, Campo Grande, 2018.

ABSTRACT

The rapid growth of civil construction in recent years and the need to complete the works in the shortest possible time, coupled with inefficient inspection of the construction stages by the technical managers, were predominant factors for the high occurrence of pathological manifestations in buildings in general, in relation to reinforced concrete structures the problem is aggravated, since the safety of the building depends mainly on the structural elements. In this way, this work through a bibliographic survey presents the several factors responsible for provoking the emergence of pathologies in reinforced concrete structures, relating the most common forms of aggression to concrete structures, as well as the diagnostic methods to provide the best procedure repair or repair of the damaged element. From the surveys it is observed that the interventions for correction of pathologies should be well planned, because some techniques may be more advantageous than others in relation to the type of damage that will be treated and in order to avoid the appearance of pathological manifestations it is necessary to specialize the labor, supervision and good practices in the construction stages, since any type of intervention in damaged structures entails economic losses, due to the high costs to carry out the processes of recovery of the structures.

***Key-words*:** Pathology 1; Structures 2; Concrete 3; Armed 4.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Tricas geradas por flexão em elementos de concreto armado 31
Figura 2 – Fissuras geradas por compressão e flexão na peça 33
Figura 3 – Trincas geradas pela punção da laje 33
Figura 4 – Processo de preenchimento de fissuras 47
Figura 5 – Grampeamento de uma peça fissurada 48
Figura 6 – Adição de barras para reforço de armadura 50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Procedimentos de preparo da superfície.....43
Quadro 2 - Procedimentos de limpeza da superfície.....43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....11

2. ORIGEM DAS MANIFESTAÇÕES PATOLOGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....13

2.1 CONCEITOS GERAIS DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....13

2.1.1 Concreto armado.....13

2.1.2 Patologia.....14

2.1.3 Desempenho.....14

2.1.4 Durabilidade.....15

2.1.5 Vida útil.....15

2.2 FASES CONSTRUTIVAS GERADORAS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....16

2.2.1 Patologias geradas na etapa de projeto.....16

2.2.2 Patologias geradas na etapa de execução.....17

2.2.3 Patologias geradas na etapa de utilização.....18

2.3 CAUSAS INTRÍNSECAS DE MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA.....19

2.3.1 Falha durante o processo de construção.....19

2.3.2 Falha durante sua utilização.....21

2.3.3 Falha geradas por causas naturais.....22

2.4 CAUSAS EXTRÍNSECAS DE MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA.....24

2.4.1 Erro durante o projeto.....24

2.4.2 Erro durante sua utilização.....25

2.4.3 Falhas geradas por ações mecânicas.....26

2.4.4 Falhas geradas por ações físicas.....27

2.4.5 Falhas geradas por ações químicas.....27

2.4.6 Falhas geradas por ações biológicas.....28

3. TIPOS FREQUENTES DE MANIFESTAÇÃO PATOLOGICA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....29

3.1 FISSURAÇÃO DO CONCRETO.....29

3.1.1 Fissuras geradas devido à flexão e cisalhamento.....29

3.1.2 Fissuras geradas devido à torção.....30

3.1.3 Fissuras geradas devido à compressão.....31
3.1.4 Fissuras geradas devido à punção.....32
3.1.5 Fissuras geradas devido a contração plástica e assentamento do concreto..33
3.1.6 Fissuras geradas por variação térmica.....33
3.2 CORROSÃO DA ARMADURA.....34
3.3 DESAGREGAÇÃO DO CONCRETO.....35
3.4 DESGASTE DO CONCRETO.....35
3.5 DIAGNOSTICO DA PATOLOGIAS.....36
3.5.1 Execução de inspeção preliminar.....36
3.5.2 Execução de inspeção detalhada.....37
3.5.3 Ensaios não destrutíveis do concreto.....37
3.5.4 Ensaios destrutíveis do concreto.....39
4. RECUPERAÇÃO DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO.....41
4.1 MÉTODOS DE INTERVENÇÃO EM SUPERFÍCIE DE CONCRETO.....41
4.2 MÉTODOS DE INTERVENÇÃO EM FISSURAS.....44
4.3 MÉTODOS DE REPARO PARA ELEMENTO ESTRUTURAL.....47
4.4 MÉTODOS DE REFORÇO PARA ELEMENTO ESTRUTURAL.....48
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....51
REFERÊNCIAS 53

INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado da construção civil nas últimas décadas aliado ao grande emprego do concreto armado nas construções em geral exigiu a criação de novos métodos e tecnologias para se produzir edificações com economia e no menor tempo possível, mas para atender a grande demanda muitas obras são executadas sem os devidos cuidados que garantam o desempenho, segurança e a vida útil exigidos, fatores como erros de projeto, incorreta utilização de materiais, profissionais sem a devida capacitação e falhas na execução das etapas construtivas são os principais geradores de manifestações patológicas nas construções.

Dessa forma, houve a necessidade da realização de estudos que orientassem os profissionais da construção quanto a origem e as formas de ocorrência de manifestações como também a degradação e suas consequências e meios de se recuperar uma estrutura danificada, os elementos elencados foram os responsáveis pelo desenvolvimento e aperfeiçoamento da disciplina de patologia como um dos ramos da engenharia das construções.

O campo do conhecimento científico tem como objetivo utilizar-se da realidade para obter o conhecimento e posteriormente, adotar medidas que produzam transformações no conhecimento já existente. Dessa forma o entendimento dos aspectos que englobam o surgimento de patologias se torna de extrema importância no ramo da engenharia civil e ao se delimitar a questão a patologias em estruturas de concreto armado o nível de responsabilidade aumenta exponencialmente, pois a segurança da edificação e de seus usuários depende da saúde de suas estruturas, fato esse que demonstra a importância de se apresentar os conceitos de como prevenir, diagnosticar ou recuperar estruturas que demonstram alguma forma de manifestação patológica.

Quais fatores estão relacionados ao surgimento de patologias em estruturas de concreto armado? Para se entender este questionamento, deve-se compreender que a soma dos fatores é o responsável pelo aparecimento de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado.

Por objetivo este trabalho elaborou um estudo bibliográfico sobre a ocorrência de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, especificando a entender os motivos que provocam o surgimento destas patologias, conhecer os tipos

de manifestações patológicas e os danos gerados a uma estrutura de concreto armado e descrever as formas de diagnóstico e recuperação de um elemento danificado por consequência de patologias.

Para a elaboração deste trabalho foi utilizando o método de revisão de literatura, que abordou através de pesquisas realizadas por levantamento de informações contidos em sites de banco de dados, livros, normas técnicas, dissertações e publicações de revistas especializadas em um período de trinta anos as causas e consequências de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado adotando como principais autores Vicente Custódio Moreira de Souza, Thomaz Ripper, Mauricio Marcelli, Oswaldo Cascudo, João Carlos Teatini de Souza Clímaco e Paulo Roberto do Lago Helene.

Este trabalho é composto por três capítulos, no qual o primeiro aborda alguns conceitos básicos, apresentando a temática relacionada as causas que dão origem as manifestações patológicas, o segundo capítulo aborda as formas mais frequentes de manifestações patológicas e os processos de diagnósticos destas patologias e o terceiro capitulo descreve os métodos de recuperação e reforço de estruturas danificadas.

2. ORIGEM DAS MANIFESTAÇÕES PATOLOGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Com o avanço no crescimento da construção civil nas últimas décadas simultaneamente com a necessidade de se ter que construir mais em um menor tempo possível, resultou em construções com baixa qualidade e diversos problemas construtivos muitos em consequência da falta de capacitação técnica ou de fiscalização, neste capitulo serão apresentados conceitos básicos e os principais fatores que resultam em manifestações patológicas em estruturas de concreto armado.

2.1 CONCEITOS GERAIS DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Para início dos estudos é necessário que se faça um apanhado de informações gerais a respeito dos componentes formadores de um elemento estrutural, como também os parâmetros que devem ser atendidos para que uma edificação seja considerada apta para ser utilizada, todos esses fatores voltados ao nosso objeto de pesquisa, a patologia em estruturas de concreto armado.

2.1.1 Concreto armado

O concreto armado foi desenvolvido para atender à necessidade existente das estruturas de suportar a esforços solicitantes de tração e compressão, o concreto simples formado através da mistura de cimento, agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita), água e ar podendo ser acrescentado aditivos em sua composição, tem grande resistência aos esforços de compressão, mas ao ser tracionado apresenta baixa resistência a esse tipo de solicitação dessa forma é adicionado ao concreto aço em forma de armadura sem tensão com a função de combater aos esforços de tração existentes em uma peça estrutural.

A junção dos dois elementos é considerada muito satisfatória, pois o aço apresenta um coeficiente de dilatação térmico semelhante ao do concreto simples,

além de fornecer uma boa aderência promovendo a solidariedade dos materiais, ficando assegurado que o conjunto se comportará como uma peça monolítica.

No entendimento de Clímaco (2008) o concreto armado é um material com função estrutural formado a partir da associação do concreto simples e de uma armadura passiva, onde a combinação desses elementos promove uma resistência solidaria aos esforços ao qual uma peça é submetida.

2.1.2 Patologia

O entendimento de patologia na área das construções tem suas bases formadas através do conceito feito pela medicina, onde o termo é definido pelo estudo das origens, causas e sintomas das doenças. No contexto da engenharia civil entende-se que patologia é a disciplina que estuda e analisa as formas de manifestações patológicas desvendando sua origem e as consequências em danificar qualquer elemento de uma edificação, assim interferindo na durabilidade e vida útil das construções gerando prejuízo a sua segurança. Desta forma o conhecimento adquirido é de fundamental importância para se evitar o cometimento de novas falhas como também o desenvolvimento de técnicas para se recuperar os elementos construtivos que foram danificados.

De modo geral, compreende-se por patologia do concreto armado o exame das origens, mecanismos e sintomas causadores das disfunções patológicas existentes em estruturas de concreto armado, sendo possível que diversos fatores sejam os responsáveis pela existência de um dano aparente, que pode simplesmente gerar apenas um desconforto para o uso da edificação como também conduzir a estrutura ao declínio (HELENE, 1992).

Para o complemento da compreensão, Cánovas (1988) descreve que na maior parte dos episódios de acidentes catastróficos, ao exemplo de um edifício que vai a ruina, tem-se um conjunto de origens patológicas agindo, causando o colapso da estrutura, pois é comum presenciar a existência de determinado erros em alguma etapa do processo construtivo e mesmo assim essa falha não gerar grandes danos, mas por outro lado pode-se encontrar estruturas com grandes danos com sua resistência e durabilidade comprometidas, resultado da somatória de pequenos erros ou falhas que quando atuam em conjunto apresentam graves consequências.

2.1.3 Desempenho

Segundo Souza e Ripper (1998) como definição de desempenho entende-se o comportamento em serviço de cada produto, durante sua vida útil, e a sua capacidade relativa espelhará, sempre, o resultado do trabalho desenvolvido nas etapas de projeto, construção e manutenção.

O desempenho é o fator que analisa o comportamento de uma edificação durante seu uso, é o tipo de avaliação feita para constatar se as condições mínimas de habitabilidade (condições de segurança, saúde, conforto térmico e acústico, etc...) são atendidas para que um ou mais indivíduos façam o uso da edificação por um determinado prazo.

Na avaliação do desempenho podem ocorrer variações de um indivíduo para o outro, pois deve-se levar em conta as exigências do usuário (na concepção) ou dos cuidados no uso (manutenção), as condições de exposição do ambiente em que a edificação será construída, temperatura, umidade, insolação, ações externas resultantes da ocupação também devem ser levadas em consideração. (POSSAN; DEMOLINER, 2013).

2.1.4 Durabilidade

A durabilidade de um elemento construtivo está imediatamente relacionado à sua vida útil, relacionando as condições de materiais com as condições de exposição e a forma de utilização durante o período que foi previsto para o seu uso, desta forma as estruturas de concreto armado devem ter todo seu processo construtivo realizado de forma que submetida a condições ambientais imaginadas no projeto, apresente sua funcionalidade, segurança e aspecto visual por um período estipulado ou não com baixo custo de manutenção ou reparo.

Para Souza e Ripper, (1998) o conceito de durabilidade pode ser compreendido como os indicadores que relacionam a aplicação das características de deterioração a um determinado elemento construtivo, determinando através de uma analise a resposta que será apresentada aos efeitos da agressividade ambiental, dessa forma se define sua vida útil**.**

O mesmo entendimento é apresentado por Clímaco (2008), que descreve que as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época de sua concepção e quando utilizadas conforme o recomendado em projeto mantenha sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil.

2.1.5 Vida útil

Vida útil é o termo utilizado para determinar a estimativa de tempo que uma estrutura ou seus elementos construtivos devem apresentar suas boas condições de uso prevista no projeto sem que haja qualquer tipo de manutenção ou ação de reparo que não estava prevista.

Como conceito, entende-se por vida útil o prazo entre o início da execução de uma edificação para seu uso até a fase em que seu desempenho é considerado insatisfatório para atender as exigências mínimas de uso, esse período sofre variações em sua determinação se a edificação receber atividades de manutenção ou reparos contra agentes agressivos (POSSAN; DEMOLINER, 2013).

Assim, é considerado o fim da vida útil de um material quando suas propriedades, submetidas a determinadas condições de uso, se deterioram de forma que a continuação do uso desse material é considerada insegura ou antieconômica (ANDRADE, 1992).

2.2 FASES CONSTRUTIVAS GERADORAS DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Após ser apresentado algumas definições gerais, pode-se dar seguimento aos estudos, desta forma, existem diversos fatores responsáveis por causar o surgimento de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, a seguir serão descritas as fases responsáveis por gerar estas patologias.

2.2.1 Patologias geradas na etapa de projeto

As manifestações patológicas geradas na fase de projeto são em sua grande maioria resultado de mal planejamento ou inobservância das normas técnicas na

concepção de um projeto, causadas por falta de conhecimento ou negligência. As falhas cometidas nesta etapa geralmente são as mais complexas e custosas para serem corrigidas, causando grandes prejuízos ao orçamento de uma edificação.

No entendimento de Souza e Ripper (1998), a ocorrência de falhas geradas durante a etapa de concepção de uma estrutura pode apresentar uma grande variação, tendo sua origem durante o estudo preliminar (lançamento da estrutura), na execução do anteprojeto ou na elaboração do projeto de execução também conhecido como projeto final de engenharia.

Segundo Cánovas (1988) quatro fatores essências devem ser seguidos para atender aos preceitos existentes para se ter êxito na concepção de projetos de estruturas de concreto.

• As condições básicas de equilíbrio da Estática devem ser atendidas.

• Considerar a correspondência das deformações dos elementos da estrutura e suas uniões.

• Realizar as representações em escala com a máxima clareza, indicando as arranjos e dimensionamento de cada elemento estrutural, dando atenção especial ao dimensionamento das armaduras.

• O interesse em produzir normas, constando todas as particularidades e detalhamento dos materiais que serão empregados na estrutura, instruções para o gerenciamento e armazenagem, penalizações etc.

Esse documento, é extremamente importante, pois reduz o risco da ocorrência de erros gerando qualidade e economia a uma construção.

2.2.2 Patologias geradas na etapa de execução

As falhas ocorridas durante a execução da estrutura podem ter uma grande variedade quanto a sua origem, falta de condições em locais de trabalho, baixa capacitação da mão-de-obra, ausência de controle de qualidade nas execuções, matérias utilizados com péssima qualidade e a falta de responsabilidade técnica e fiscalização são os fatores que mais contribuem para ocorrência de patologias nessa etapa construtiva (SOUZA; RIPPER, 1998).

A fase de execução tem seu início determinado após as finalizações dos projetos, neste período é muito importante que os incumbidos técnicos da construção

tenham em planejamento as disposições que formarão o canteiro de obras, como também o levantamento do nível de capacitação da mão de obra que foi contratada e caso haja necessidade disponibilizar treinamento para que fique minimizadas as ocorrências de falhas durante o processo construtivo.

Outro ponto a ser levantado é a organização dos projetos a serem executados devendo os responsáveis técnicos encarar com extrema atenção os dados que estão sendo fornecidas, como por exemplo: as escalas, posição e dimensionamento dos elementos que irão compor as estruturas. Materiais recebidos no canteiro de obras devem ser inspecionados e conferidos, aqueles que não atenderem o que foi especificado na fase de planejamento devem ser recusados, pois a ausência de qualidade dos materiais resulta no surgimento de patologias.

Cánovas (1988) descreve como um dos principais motivos do surgimento de patologias no concreto armado é a carência de qualidade dos produtos empregados em sua execução. A qualidade dos materiais é determinada por normas e manuais técnicos e a sua inobservância tem como consequência a produção de um concreto de qualidade pobre.

2.2.3 Patologias geradas na etapa de utilização

Uma estrutura de concreto pode ser compreendida como um equipamento mecânico e para que ocorra uma boa saúde, a peça estrutural deverá receber adequadas medidas de manutenção durante sua vida e ter sua utilização feita conforme previsão do projeto (SOUZA; RIPPER, 1998).

Após a conclusão das obras mesmo que atendendo todos os requisitos já mencionados para se reduzir o cometimento de erros de planejamento ou erros na execução, se obtendo total sucesso em sua finalização ainda é possível que patologias surjam devido ao erro no uso ou manuseio dá edificação geradas por desleixo ou desconhecimento do usuário.

Uma edificação em sua generalidade deve ser vista pelo usuário de maneira semelhante a um automóvel, que ao passar do tempo de uso deve receber intervenções periódicas, além de sua utilização ser feita conforme prescreve o manual do proprietário, este documento contém todas as informações necessárias para o correto uso de edificação após o seu termino.

Segundo Trindade (2015), ao se falar em concreto, deve-se dar atenção aos produtos que possam causar a corrosão do mesmo e de suas armaduras de aço, assim como a elevada sobrecarga nos elementos estruturais excedendo aos limites caracterizados no projeto.

2.3 CAUSAS INTRÍNSECAS DE MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

Souza e Ripper (1998), definem como causas intrínsecas aquelas em que o encadeamento da degeneração das estruturas são pertencentes a ela própria, em outras palavras, são processos originados em consequência dos materiais e das peças estruturais, decorrendo pela fase de execução ou utilização, por falhas humanas, por características relacionadas a composição do concreto, por reações geradas do meio exterior até mesmo acidentes.

2.3.1 Falha durante o processo de construção

Ao analisar-se o contexto, verifica-se que os erros construtivos cometidos na fase de projeto ou de execução são em sua grande maioria gerados por falha humana, a falta de capacitação ou o emprego errôneo da mão de obra disponível podem ser destacados como os principais causadores destas falhas.

Durante o processo de concretagem fatores como o transporte, lançamento, adensamento, juntas de concretagem e sua cura tem grande importância para se obter a qualidade desejada. Para o transporte do material é necessário que se tenha controle durante todo o seu deslocamento, seja ele realizado por caminhões ou carrinhos de mão, de forma que o concreto não receba a adição de materiais estranhos a sua composição e mantenha a fluidez especificada pelo projeto, deve-se prever através de cronograma o tempo que será necessário para aplicação de diferentes lotes de concreto, este intervalo não poderá ser demasiadamente logo pois resultara em juntas indesejadas e falhas na aderência da superfície

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014), estabelece que o concreto deva ser lançado com técnica adequada para se evitar a segregação entre seus componentes, dando a devida atenção com relação a altura que será feito o

lançamento que não deverá ultrapassar 2 metros e a densidade da armadura no caso de peças altas e estreitas para evitar a segregação e falta de argamassa em sua base.

É importante que se execute de forma correta o processo de adensamento, pois sua falta de execução manterá os vazios no interior do concreto causando baixa resistência e seu excesso causará a segregação da mistura gerando diferentes pontos de resistências em uma mesma peça, a armadura não deve receber vibração direta para que não ocorra problemas relacionados a aderência.

Para Marcelli (2007), geralmente se faz o processo de cura do concreto de maneira errada ou desleixada, ocorrendo em sua maioria em construções pequenas. A situação é agravada quando a obra é feita por empreiteiros com baixo conhecimento técnico, mas que possuem muito tempo atuando nesta área e por isso acreditam que já tenham todo o conhecimento necessário devido a suas obras já que foram realizadas não terem sofrido danos. O que eles desconhecem é que a cura do concreto se dá devido a uma reação química da água com o cimento e uma perda de umidade acelerada por evaporação causara a interrupção da reação deixando o concreto com uma resistência mecânica reduzida e mais poroso permitindo a infiltração de agentes nocivos aumentando as chances de ocorrência de manifestações patológicas na estrutura.

Na fabricação e instalação das formas é necessário estar atento para seu correto dimensionamento, posicionamento, nível e alinhamento elementos estruturais é muito importante que as formas estejam limpas e estanques, assim evita-se a fuga da nata de cimento deixando os agregados à mostra.

Falhas envolvendo o planejamento ou a execução de armaduras são comuns de ocorrerem, a incorreta interpretação do projeto levando a troca ou substituição de peças de aço posicionadas em local indevido, carência de armadura gerando um decréscimo na resistência, mau posicionamento da armadura sem atender os espaçamentos, cobrimento insuficiente ou de baixa qualidade que permite a infiltração de agentes agressivos causadores da deterioração da armadura são alguns dos fatores que causam o surgimento de patologias.

A utilização indiscriminada de materiais sem especificação ou procedência duvidosa, são grandes responsáveis por causar danos a uma construção, na maioria dos casos o dinheiro que se economizou na aquisição de materiais diferentes do que

se foi especificado em projeto terão que ser gastos com juros elevado para correção de uma obra com baixa qualidade.

Segundo Souza e Ripper (1998) os casos mais comuns de utilização inadequada de matérias de construção são:

• A utilização de concreto com resistência característica inferior ao especificado, podendo ocorrer no erro de fornecimento de concreto usinado ou erro na dosagem do concreto feito no local da obra.

• A utilização de aço com características diferentes das especificadas

• Instalação das fundações em solo com características e resistência inferior as exigidas em projeto.

• Utilização de agregados reativos, tornando possível a geração de reações expansivas no concreto, elevando a possibilidade de ocorrer desagregação e fissuração do mesmo.

• Aplicação incorreta de aditivos, alterando as características relacionadas a resistência e durabilidade do concreto.

• Dosagem inadequada do concreto, causada por erro no cálculo da relação quantidade de agregados, cimento e o fator água cimento.

A falta de controle de qualidade pode ser considerada como a maior das falhas humanas, sendo esta falha fundamental para a ocorrência de patologias. Ao se falar de estruturas de concreto armado que por logica tem sua composição feita de concreto e aço, é extremamente necessário que haja critérios avaliativos quanto a seu padrão de qualidade desde a fabricação até a execução.

Realizar o controle de qualidade dos materiais que serão empregados em uma construção torna-se fator essencial para reduzir o surgimento precoce de deterioração nas estruturas, assim se evita gastos desnecessários no futuro com o reparo de eventuais patologias que possam aparecer.

2.3.2 Falha durante sua utilização

As falhas humanas durante utilização nas causas intrínsecas de patologias, são enquadradas especificamente em um aspecto, inexistência de manutenção da estrutura. Sendo compreendido por manutenção, o conjunto de procedimentos

programados de antemão com o objetivo de manter a boa saúde dos elementos estruturais (SOUZA; RIPPER, 1998).

2.3.3 Falha geradas por causas naturais

As falhas geradas por causas naturais são pertencentes exclusivamente das características e propriedades dos materiais que compõem o concreto, considerando a forma de reação as condições do ambiente e suas solicitações aos esforços a que será submetido durante sua vida útil. As falhas humanas ou de equipamentos não são responsáveis pela ocorrência de falhas por causas naturais.

Uma das grandes preocupações na fabricação de concreto é o seu grau de porosidade, quanto maior for a permissividade de infiltração de água somada com agentes agressivos e gases combinados com as condições de agressividade do ambiente mais rapidamente tem-se a degradação do concreto e da armadura.

As patologias geradas por causas químicas são variadas e tem sua origem causadas por sua própria composição, tendo como exemplo: elevação da temperatura interna, presença de cloretos e a reação álcalis-agregado.

Segundo Souza e Ripper (1998), as combinações químicas envolvendo os componentes hidráulicos do cimento são responsáveis para que ocorram um elevado fator de aderência entre os agregados e o próprio cimento. Estas reações são consideradas positivas, devido a sua contribuição ao aumento da resistência mecânica e homogeneidade do concreto, mas em seu desfavor em certas situações, podem ocorrer reações químicas expansivas, causando a anulação da coesão do concreto.

A reação álcalis-agregado é gerada pela combinação da sílica reativa existente em alguns agregados com o sódio e o potássio existentes na composição do cimento sob presença de umidade. Esta patologia tem seu agravamento devido ao fator expansivo ocasionando a fissuração e por consequência o aumento da porosidade do concreto, possibilitando a infiltração de diversas substancias nocivas resultantes de patologias. Outra consequência danosa é a perda de resistência mecânica do concreto nos casos onde não se realiza as intervenções necessárias.

De acordo com Zamberlan (2013), um concreto acompanhado de cloretos pode sofrer diversos danos. Este composto pode ser obtido através da extração de

agregados que no passado estavam localizados em áreas marinhas, em aditivos, água salina, por poluição industrial ou produtos para limpeza principalmente os que tenham o ácido muriático em sua composição. Como consequência, causam de forma agressiva a corrosão da armadura. Existem diversos fatores que facilitam a ação de infiltração deste agente nocivo no concreto, como é caso da porosidade do material, relação água cimento, PH do concreto, composição química e a ocorrência de fissuração.

Ao se analisar a corrosão das barras de aço de uma armadura, tem-se os íons cloreto como um dos agentes mais agressivos neste processo, podendo causar a despassivação da armadura mesmo em ambiente com o PH altamente alcalino. No entendimento de Neville (1997), o maior dano gerado pelo ataque de cloretos é a corrosão do aço, logo em seguida acarretará no estrago do concreto que o envolve. A corrosão ocorrida gera um subproduto que ocupa por volta de sete vezes o espaço original do aço dando origem as fissuras nas estruturas.

Durante a hidratação do concreto ocorrem reações que liberam muito calor, desta forma, se a quantidade produzida for acentuadamente alta poderá ocasionar problemas em peças de dimensões avantajadas após sua concretagem. Tal processo é resultado da inexistência de troca positiva de calor com o meio externo da peça na fase inicial de hidratação, provocando o aquecimento e consequentemente a expansão da massa, passada a fase de aquecimento tem-se início o resfriamento natural da peça, essa variação térmica criada pode ser fator de origem a fissuração interna do concreto.

De acordo com Souza e Ripper (1998) são consideradas causas físicas de deterioração do concreto aquela que resultam da oscilação de temperatura, insolação, vento e agua e sua interferência se dá essencialmente em períodos da cura no processo de endurecimento do concreto, sofrendo efeitos variados de acordo com a composição da estrutura de concreto armado.

As causas biológicas de deterioração são praticamente causadas por microrganismos (bactérias e fungos) que agem de modo a decompor os componentes do cimento. A elevada porosidade do concreto, trincas ou fissuras geradas por algum tipo de falha torna possível a entrada de algas e o crescimento de raízes de plantas que acabam gerando compostos nocivos ao concreto (TRINDADE, 2015).

2.4 CAUSAS EXTRÍNSECAS DE MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA

Segundo Souza e Ripper (1998) as causas extrínsecas de deterioração da estrutura do concreto são as que independem dos fatores relacionados as causas intrínsecas, de maneira geral podem ser compreendidas como os elementos que acometem a estrutura de meio externo pra dentro da peça, no decurso da etapa de produção ou ao longo da vida útil da peça. As principais causas extrínsecas estão relacionadas as falhas humanas durante o projeto ou sua utilização e a ações mecânicas, físicas, químicas ou biológicas.

2.4.1 Erro durante o projeto

O sucesso para a conclusão de uma estrutura está diretamente relacionado com sua fase de projeto, esta etapa possui diversos fatores que interferem no resultado final de um elemento estrutural. A seguir serão descritos alguns aspectos responsáveis por influenciar de modo negativo o processo construtivo das estruturas, sendo responsável por gerar patologias.

A ação das cargas é um quesito essencial a ser avaliado na fase de projeto, seu planejamento deve seguir as determinações estipuladas pela Norma Brasileira 6118 onde constará todas as informações referentes ao dimensionamento das estruturas em concreto armado, em casos onde se faça dimensionamentos em desacordo com o descrito em Norma a probabilidade de ocorrência de acidentes é elevada.

De modo geral, para um dimensionamento eficiente deve-se levar em consideração alguns esforços exercidos sobre a estrutura. As cargas gravitacionais são apresentadas de dois modos, as permanentes que correspondem ao peso próprio da estrutura somada ao peso da alvenaria e de outros elementos construtivo que não apresente variações em sua carga, e as variáveis que são os elementos construtivos com cargas oscilantes tendo como exemplo a garagem de veículos e a caixa d’agua.

As cargas climáticas são compreendidas como ações causadas por vento, correntezas, ondas e neve sendo está quase inexistente no Brasil. Segundo Souza e Ripper (2008) as ações causadas pela força do vento devem ser examinadas, conforme as diretrizes da NBR 6123. Estas cargas, particularmente nos casos de

galpões e de edificações esbeltas, são responsáveis pelo surgimento de trincas nas alvenarias e em peças estruturais, além de gerar uma sensação de desconforto aos usuários, devido as vibrações que são impostas às estruturas.

As cargas acidentais são descritas como aquelas ocorridas em situações de risco ou em sinistros, por exemplo, choques de veículos, explosões, abalos sísmicos e outras, estruturas como pontes e viadutos devem ser projetadas para resistir a essas cargas devido à alta ocorrência de acidentes neste tipo de construção.

Existem situações em que as manifestações patológicas são geradas por falhas de origem não estrutural, mas sim pela falta de proteção em relação a ambientes agressivos, esta falta de inadequação ambiental é causada pela falta de cobrimento adequado em estruturas com o contato direto com o solo e água entre outros mecanismos de proteção, esta falha acaba interferindo na durabilidade da edificação.

A relação entre o solo e a estrutura é um dos fatores determinantes para a ocorrência de patologias, é de fundamental importância que o responsável pelos cálculos de fundações dimensione de maneira correta todo os esforços que serão projetados sobre o solo e a partir de dados obtidos através de sondagem chegue a uma conclusão se o solo existente no local é adequado para o tipo de fundação escolhida, caso não seja, deve-se adotar o melhor modelo para este solo.

Falhas consecutivas na interação solo-estrutura ocorrem devido a escolha de estacas e tubulões com comprimentos insuficientes, falta de adoção de muros de arrimo ou falha em seu dimensionamento, assentamento da carga de uma edificação em solos com diferentes características de resistência, fundações rasas dimensionadas sem se considerar a taxa de compressibilidade do solo, etc. (SOUZA; RIPPER, 1998).

Desta forma, existe a conveniência de se instalar juntas de dilatação no encontro das peças formadoras da estrutura afim de criar um afastamento entre as partes, possibilitando que a estrutura no geral trabalhe de diferentes formas sem que ocorra a passagem de esforços de uma peça para outra. A ausência das juntas ou sua execução incorreta pode gerar a fissuração da peça e consequentemente possibilitar a infiltração de agentes agressivos.

2.4.2 Erro durante sua utilização

Nos erros causados durante sua utilização geralmente suas causas estão relacionadas por responsabilidade humana, neste caso o usuário da edificação, que devido a desconhecer ou negligenciar a correta forma de uso acabam aumentando as chances de gerar uma patologia ou até mesmo agravar uma já existente. Um fator elencado nesta fase é a sobrecarga exagerada na estrutura, pois todo projeto considera um valor máximo que a edificação suportara durante sua vida útil, mas durante sua utilização o usuário deposita cargas que não estavam previstas causando o surgimento de patologias.

Outra questão a ser levantada a alteração das condições do terreno onde foi instalada as fundações de uma construção. Para Souza e Ripper (1998), existem casos em que ocorrem alteração do terreno e da fundação sem ser levado em consideração as construções já existentes, gerando mudanças nas condições estabilizadoras da área e consequentemente das estruturas. Nos casos em que se executa o rebaixamento do lençol freático é comum ocorrer a redução da capacidade de coesão do solo e a fuga de finos gerando recalque do solo.

2.4.3 Falhas geradas por ações mecânicas

As falhas decorrentes de ações mecânicas repercutem diretamente na resistência efetiva da estrutura de concreto armado, sua origem pode ser provocada por choques de veículos, sendo este fator de redução brusca de resistência e consequentemente podendo levar a estrutura a ruina, como exemplo, pode-se citar a ocorrência de sinistros onde um automóvel choca-se com um pilar de uma passarela.

Outra forma de ocorrência danificadora da estrutura são os acidentes de ações imprevisíveis, tanto em forma de ocorrência quanto em intensidade, como é o caso de abalos sísmicos, força do vento, inundações e incêndios. No Brasil de acordo com dados históricos a ocorrência de ventos e incêndios são os responsáveis mais comuns por causar os acidentes mais graves. Segundo Souza e Ripper (1998) ainda que o fogo não tenha facilidade em se propagar para o interior da massa do concreto, no momento que a estrutura é exposta a temperatura elevada, por um determinado período, ocorre uma considerável perda de resistência do concreto. Durante o incêndio, a estrutura e os demais elementos construtivos retêm calor, fator que causa uma expansão térmica, acarretando em perda de a aderência entre o concreto e o

aço causada pela expansão diferenciada entre a massa dos elementos, criando tensões internas que forçam o concreto a se desagregar, expondo as armaduras diretamente à ação do fogo.

2.4.4 Falhas geradas por ações físicas

As principais causas físicas responsáveis por dar origem a danificação de estruturas em concreto armado são as mudanças de temperatura, ação da água e a direta incidência solar. A oscilação de temperatura é um fator silencioso que causa muitas patologias. Segundo Thomaz (1989), em sua totalidade os insumos usados em uma construção estarão sujeitos a dilatações e contrações resultantes da oscilação da temperatura. O grau destas alterações a que cada elemento estará sujeito, muda com relação a cada material.

Desta forma fica obrigatório a utilização de juntas para combater a dilatação prevenindo o surgimento de fissuras ao longo da peça estrutural. Outro fator importante é a incidência solar direta na face externa de um elemento da edificação, assim gerando uma variação térmica entre a face externa e interna causando um quadro fissuratório em casos onde não foi previsto esta ocorrência.

2.4.5 Falhas geradas por ações químicas

Os agentes químicos compreendidos nas causas extrínsecas, atuam em sua grande maioria como fatores de ativação para mecanismos de degradação do concreto armado durante sua vida útil, como causadores de danos pode-se citar ar e gases, água com agentes agressivos, reações com ácidos e sais e reações entre sulfatos e o gás carbônico. Para Neville (2013), o concreto ao ser agredido por sulfatos apresenta aspecto característico de cor esbranquiçada, sendo a deterioração iniciada pelas bordas, em seguida ocorre fissuração e lascamento do concreto. Esta aparência é gerada devido a formação de sulfato de cálcio e outros compostos que ocupa um volume maior do que os elementos substituídos, causando expansão da estrutura do concreto e consequentemente a ocorrência de diversas patologias resultando na perda de resistência mecânica.

Geralmente o encadeamento da carbonatação é um elemento condicionante que resulta na degradação do aço. A carbonatação é a processo de infiltração de gás carbônico no interior da peça causando a queda do PH da pasta de cimentícia, sendo está caracterizada por possuir alto fator de alcalinidade em consequência da elevada concentração de hidróxido de cálcio, resultado da reação de hidratação do cimento, somado aos hidróxidos ferrosos provenientes da armadura conferem uma proteção através da formação de um revestimento passivador.

De acordo com Cascudo (1997), o processo de carbonatação acaba por deixar a armadura despassivada extremamente vulnerável a ações de corrosão além de expor o aço a atmosfera sem nenhuma proteção contra agressividades do ambiente.

2.4.6 Falhas geradas por ações biológicas

As ações biológicas são causadas através de agentes que acabam por danificar a estrutura de concreto armado, como exemplo, tem-se o crescimento de vegetação que penetra suas raízes em algum tipo de falha de concretagem existente na peça, crescimento de organismos como conchas ou até o desenvolvimento de microrganismos.

Segundo Souza e Ripper (1998), as conchas podem apresentar anomalias na estrutura quando esta, apresenta importante característica dinâmica para seu desempenho, de forma que os crustáceos agarram a estrutura e acabam acumulando água em seu interior, causando alterações na massa da estrutura, mas não em sua rigidez, perturbando o desempenho dinâmico devido a modificação significativa das frequências naturais da estrutura.

De acordo com Marcelli (2007), mesmo sem indicio de falhas de projeto ou execução da parte estrutural, podem surgir trincas na edificação. Podendo ser decorrente devido a fatores externos gerados pelo crescimento de raízes de uma árvore localizada próxima à construção, de forma que ao passar do tempo, penetram o solo até alcançarem as fundações, causando recalques diferenciais resultando em trincas. Em casos mais raros é possível q a causa de recalques seja a formação de grandes formigueiros instalados próximo as fundações.

3. TIPOS FREQUENTES DE MANIFESTAÇÃO PATOLOGICA EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

As manifestações patológicas de maior ocorrência em estruturas de concreto armado são causadas pelas ações físicas de deterioração de seus materiais componentes, este processo pode ser compreendido como o resultado da junção das ações exercidas pelas causas intrínsecas e extrínsecas, tendo como resultado diversos processos de danificação da peça, como exemplo: fissuras, perda de aderência, desagregação, carbonatação e desgaste do concreto (SOUZA; RIPPER, 1998).

3.1 FISSURAÇÃO DO CONCRETO

As fissuras são descritas como a formação de pequenas aberturas que favorecem a rápida passagem de agentes agressivos ao elemento estrutural (armadura), sua ocorrência acarreta em prejuízos estéticos a peça, causando uma sensação de perda de resistência e segurança da estrutura (DAL MOLIN, 1988).

As fissuras são manifestações patológicas que provocam um certo desconforto estético aos usuários e consequentemente passam uma sensação de insegurança, sua ocorrência pode ser proveniente tanto das causas intrínsecas como extrínsecas ou da somatória de vários fatores. Segundo Cánovas (1988), as fissuras são patologias que além de provocar ameaça a proteção da estrutura, acabam por torna-las vulneráveis aos efeitos da corrosão, devido a desproteção do aço.

De acordo com a ABNT (2014), a classificação quanto ao grau de agressividade das fissuras é dada de acordo comprimento de abertura gerado na superfície do concreto, sendo as fissuras consideradas como agressivas aquelas em que submetidas a um meio considerado muito agressivo apresentar abertura de 0,2 mm, em meios medianamente agressivos apresentar abertura de 0,3 mm e em meios moderadamente agressivos apresentar aberturas de 0,4mm.

3.1.1 Fissuras geradas devido à flexão e cisalhamento

As fissuras no concreto devido a flexão podem ser geradas quando o responsável pelo projeto subdimensiona a estrutura, desta forma, a avaliação da carga atuante no elemento estrutural é feita erroneamente, outra situação responsável por causar fissuras deste tipo é a deficiência dos materiais empregados ou a alteração de utilização da estrutura gerando cargas maiores do que as previstas em projeto. (MARCELLI, 2007).

Segundo Thomaz (1989), a ação de flexão em um elemento estrutural com seção de aço insuficiente causa fissuras que ocorrem perpendicularmente à trajetória dos esforços de tração, desta forma se apresentam em posição vertical no terço médio do vão com abertura maior no sentido da face inferior da viga onde se encontra as fibras mais tracionadas. Já na região próxima aos apoios as fissuras apresentam inclinação de aproximadamente 45° em relação ao plano horizontal podendo chegar a 60° de inclinação em vigas altas.

No caso de laje, ocorrência de fissuras também apresenta elevada deformação, no entanto as fissuras ou trincas sofrem variações de acordo com a relação largura e comprimento, forma de vinculação, tipo de solicitação e configuração da armadura, conforme a Figura 1.

Figura 1: Tricas geradas por flexão em elementos de concreto armado

Fonte: Marcelli (2007, p. 99)

As trincas geradas por forças de cisalhamento ocorrem geralmente nos trechos da peça onde a força cortante é a máxima, suas causas podem estar relacionadas devido a seção de aço ser insuficiente nestes pontos, ultrapassagem de carga prevista em projeto ou erro na disposição da armadura, assim não gerando um combate eficiente a este esforço solicitante.

3.1.2 Fissuras geradas devido à torção

Nas situações que um elemento estrutural é forçado a um movimento de rotação em relação a sua seção transversal, considera-se que este elemento está sofrendo ações de torção. Estas reações são comumente observadas em sacadas de edificação, lajes em balanço ou em vigas que recebem esforços de lajes com flechas excessivas.

De acordo com Marcelli (2007), em situações que provoquem uma rotação no plano da seção transversal do elemento estrutural, desta forma gerando esforços que resulte em deformações que ultrapassem a capacidade resistente da peça, haverá o surgimento de fissuras com inclinação de aproximadamente a 45° nas duas faces laterais da viga na forma de segmento de reta sendo estas características de fissuras de torção.

As trincas de torção, geralmente são notadas em vigas de borda, na região dos cantos de uma edificação sendo causadas pela excessiva deformabilidade de vigas ou lajes posicionadas transversalmente sobre seu eixo, cargas excêntricas ou devido a recalques diferenciais na fundação. Outro caso é o de vigas com deficiência de armadura para combater esforços de torção que recebe o engastamento de marquises. (THOMAZ, 1989)

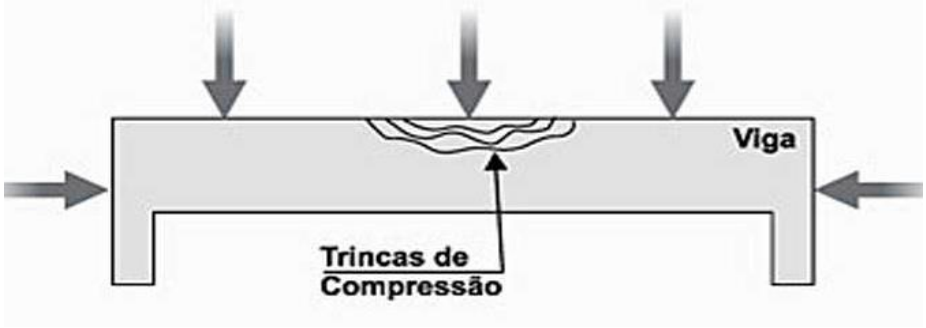
3.1.3 Fissuras geradas devido à compressão

Para Marcelli (2007), as fissuras geradas por compressão em vigas e principalmente em pilares são as que devem ser dadas a maior atenção para se providenciar reparos, considerando que o concreto é o principal responsável por combater os esforços de compressão, com a existência de fissuras, a indicação provável é de que a peça encontra-se em situação de colapso ou em casos mais graves já perdeu sua capacidade de suportar cargas, com isso passará excesso de carregamento para os elementos estruturais vizinhos podendo causar a ruptura dos mesmos.

Existem casos que ocorrem a atuação de outros esforços simultaneamente na viga causando um sistema duplo de solicitação, sendo força de compressão somada

com a força de flexão, desta forma ocorre um acumulo de tensões na região que está sendo comprimida, gerando fissuras semelhante a demostrada na Figura 2.

Figura 2: Fissuras geradas por compressão e flexão na peça.

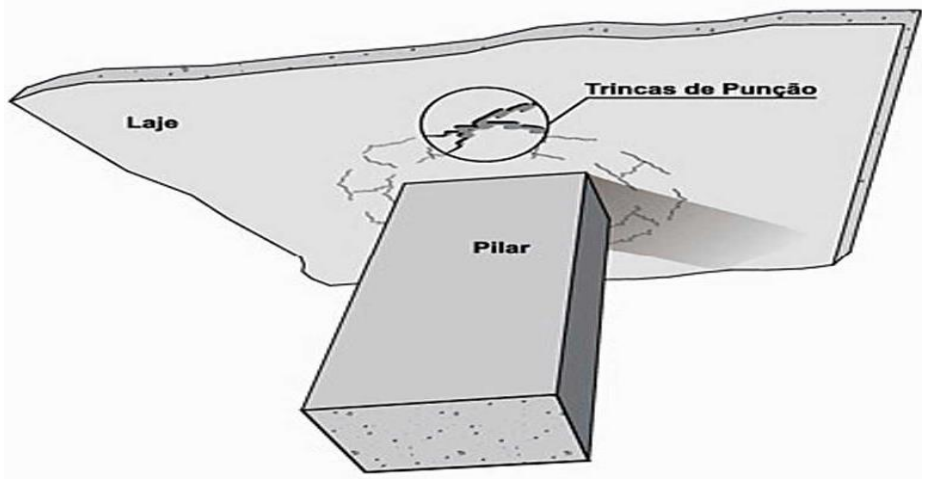


Fonte: Marcelli (2007, p. 108)

3.1.4 Fissuras geradas devido à punção

Estas fissuras são geralmente notadas em elementos com espessura relativamente baixa onde em uma determinada região recebe uma carga pontual, devido à falta de diversos elementos que reforcem esta área acionada ocorrem o surgimento de trincas, conforme mostra a Figura 3.

Figura 3: Trincas geradas pela punção da laje.



Fonte: Marcelli (2007, p. 111)

De acordo com Marcelli (2007), o surgimento de tricas devido a punção ocorre quando há excesso de cargas, concreto com baixa resistência, laje muito delgada,

armaduras deficientes ao instaladas erroneamente na região dos apoios, erros na fase de projeto ou na execução.

3.1.5 Fissuras geradas devido a contração plástica e assentamento do concreto

A contração plástica é um dos primeiros fatores causadores de fissuras em elementos estruturais, seu acontecimento se dá logo após aplicação do concreto. É um processo de encolhimento do volume da massa por contração irreversível causado pela acelerada secagem da água integrante do concreto quando está é adicionada em excesso. Neste caso, a ação de fissuramento geralmente ocorre em superfícies amplas, como lajes e paredes, sendo as fissuras dispostas paralelamente entre si com a formação de ângulos de aproximadamente 45° em referência aos cantos (MARCELLI, 2007).

Quando na aplicação do concreto, a massa é impedida de se arranjar espontaneamente em decorrência da gravidade seja pela existência de formas ou de armadura muito densa, criando espaços não preenchidos ao entorno da barra de aço, tem-se um elemento estrutural suscetível ao fissuramento.

Segundo Souza e Ripper (1998), a fissuração gerada pelo assentamento do concreto, ocorre devido a formação de um vazio na parte inferior da barra de aço, causando a perda de aderência das barras da armadura. A situação poderá ser agravada em casos onde se tem uma aproximação das barras afetadas gerando uma interação entre as fissuras causando a perda de aderência total das barras.

3.1.6 Fissuras geradas por variação térmica

A ocorrência de alteração de temperatura é um dos grandes responsáveis por gerar mudanças dimensionais em peças fabricadas com concreto, mas na medida que este elemento que sofreu um aumento em suas dimensões é impedido de se movimentar haverá o surgimento de trincas causados pela elevação das tensões. Este fenômeno não está relacionado com a capacidade do concreto em perder ou absorver água é simplesmente relacionado ao coeficiente de dilatação térmico do material e a variação de temperatura do ambiente.

De acordo com Marcelli (2007), os elementos que mais sofrem fissuras geradas pela variação de temperatura são as peças esbeltas e longas, como vigas contínuas de vários tramos ou em grandes planos de lajes, principalmente quando existem vínculos que impedem uma livre movimentação da peça de concreto.

É muito importante que o responsável por projetar uma edificação tenha em mente que cada material utilizado em uma construção possui um coeficiente de dilatação próprio, e quando associados com diferentes elementos estará criando condição de tensão na região de junção dos mesmos, causado pela variação de temperatura, com isso serão apresentadas deformações com níveis diferentes, podendo acarretar no surgimento de fissuras devido a variação térmica.

3.2 CORROSÃO DA ARMADURA

A corrosão da armadura ocorre com muita frequência em estruturas de concreto armado, este processo é responsável por causar enormes prejuízos e sua recuperação é considerada muito onerosa e de difícil execução. É muito importante entender as causas e o que resulta a ocorrência desta patologia para que o profissional envolvido em uma construção tenha conhecimento para se evitar esta ação danosa para a estrutura.

Para Souza e Ripper (1998), a corrosão das armaduras é caracterizada pela degradação da camada passivante que envolve a superfície das barras de aço. A formação desta película tem por função impedir a dissolução do ferro, a partir do elevado grau de alcalinidade gerada pela solução aquosa presente no concreto.

Segundo Marcelli (2007), a corrosão da armadura procede de uma reação eletroquímica, que devido a ações de agentes externos e internos somados com as propriedades cimentícias, causam uma elevação no resultado. Para que de fato ocorra a corrosão é necessário que haja a presença de elementos como: umidade, oxigênio e a introdução de uma célula eletroquímica.

Desta forma tem-se a constituição do chamado efeito pilha, dando início a corrosão através da corrente elétrica transportada do ânodo para o cátodo através da solução aquosa e no sentido contrário o cátodo para o ânodo pela diferença de potencial. No desenvolvimento deste processo observa-se que sua evolução é

realizada da parte externa para o seu interior, de modo que ocorra a substituição do aço por ferrugem, esta ação acaba por diminuir a resistência mecânica da armadura.

Marcelli (2007), conclui que em elementos estruturais que já sofreram o processo de corrosão, é notado uma elevação de volume da armadura na região atingida de até oito vezes em relação ao seu volume original, criando uma ação tracionante que não é resistida pela peça, desta forma, ocorre o surgimento de pequenas fissuras localizadas nas proximidades da superfície do elemento.

3.3 DESAGREGAÇÃO DO CONCRETO

A desagregação é um evento que ocorre com certa frequência em estruturas de concreto armado, sua origem poder ser resultado da ação de diversos fatores sendo comum ocorrer em associação com as fissuras. A execução de um elemento estrutural com desagregação do concreto resulta em perdas gerais ou localizadas de resistência mecânica.

Segundo Souza e Ripper (1998), a desagregação do material é compreendida como o desprendimento físico de placas ou pedaços de concreto, resultando na perda de rigidez do conjunto e consequentemente na redução da capacidade de engrenamento entre os agregados e elemento ligante do cimento.

Um concreto com baixa qualidade com características de alta porosidade e fácil permeabilidade produzido com matérias de padrão inferior, está suscetível a sofrer ataques de agentes agressores, neste processo podem ocorrer a corrosão do concreto por lixiviação, por corrosão química ou por reação iônica.

3.4 DESGASTE DO CONCRETO

A ação de deterioração da superfície do concreto pode ser causada por diversos agentes, sendo os mais comuns a água e o ar, estes elementos são responsáveis por realizar o transporte de partículas que provocam abrasão, erosão e cavitação.

Segundo Silva (2011), a abrasão consiste no processo de soltura do material existente na superfície, através da ação de arraste ou atrito gerado pelo trafego de pessoas, veículos, ou até mesmo por partículas transportadas pelo vento, sendo que

em locais de alta circulação tem sua ocorrência aumentada. Sua intensidade é consequência de fatores como: concreto com resistência reduzida, excesso de exsudação, execução incorreta de cura e também a ação de agentes químicos.

A erosão é resultado da movimentação dos fluidos que agem na superfície do concreto de forma a degrada-lo através da colisão das partículas que estão suspensas, sua ocorrência comumente é dada em pilares sobre presença de água, tubulações, canais de drenagem e vertedouros.

Segundo Souza e Ripper (1998), a cavitação consiste no processo de formação de bolhas através de vapor em águas com velocidade acentuada. Ao adentrarem em regiões de pressão elevada as bolhas implodem chocam-se, causando um aspecto de superfície. Regiões que sofrem este processo ficam mais vulneráveis a ações de cavitação, de modo a agravar o desgaste sofrido pela peça.

3.5 DIAGNOSTICO DAS PATOLOGIAS

Segundo Souza e Ripper (1998), ao se realizar uma análise de uma estrutura de concreto armado que está doente, em outras palavras que apresenta manifestações patológicas, é importante efetuar uma vistoria detalhada e com um planejamento eficaz para que assim seja possível obter as verdadeiras condições em que a estrutura se apresenta e assim avaliar quais os problemas existentes, suas causas e o melhor método a ser adotado pra recuperar a estrutura danificada.

A pratica constante de se realizar uma inspeção em uma edificação no geral, com o objetivo de se avaliar e diagnostica a existência de patologias deve ser um habito comum ao profissional da construção, pois dessa forma fica garantido que qualquer problema que se apresente logo será identificado e o resultado das ações de manutenção terão a eficácia para garantir a reabilitação da construção.

3.5.1 Execução de inspeção preliminar

No processo de inspeção preliminar o objetivo é a determinação através de um exame visual como também um levantamento histórico das fases construtivas da edificação a fim de se decidir se existe a necessidade de uma intervenção imediata na estrutura. Segundo Gonçalves (2015), na inspeção preliminar, é realizado um

levantamento de dados para se estimar quais foram as possíveis consequências dos danos e nos casos que necessitem de intervenção imediata, quais delas serão tomadas, como por exemplo, o escoramento de parte ou de toda a estrutura.

O exame visual pode rapidamente ser realizado com a finalidade de se observar se o problema apresentado está distribuído por igual em partes isoladas. Em casos particulares recomenda-se que seja feito o registro de determinados aspectos como exemplo: com sinais evidentes de corrosão é orientado o profissional a registrar as dimensões e a extensão da mancha como também seu grau de degradação, nos casos de fissuras é recomendado o registro da localização com sua dimensão e sentido.

De acordo com BROOMFIELD (1997), é recomendado que antes de se realizar ensaios mais específicos em uma estrutura, proceda-se primeiramente uma inspeção visual, nela deverá estar registrada por meio de fotografias e mapeamento de fissuras com indicações quanto a sua extensão e com auxílio de um fissurômetro o grau de abertura. Recomenda-se também a execução do teste de auscultação que na engenharia consiste em bater com um martelo em diversas partes da peça com o objetivo de se verificar ruídos diferentes.

A partir das informações levantadas nesta etapa, fica possível estabelecer parâmetros indicadores da origem do problema, como também uma fonte de dados para indicar quais os outros testes mais detalhados serão necessários para se desvendar as causas da manifestação patológica.

3.5.2 Execução de inspeção detalhada

O processo de inspeção detalhada tem como objetivo determinar o fator de origem da manifestação apresentada em uma estrutura de concreto, sua obtenção é feita através de ensaios tanto in loco como em laboratórios que resultem em um levantamento de dados que forneça informações necessárias para que o profissional produza um diagnóstico preciso que possibilitem ser tomadas as medidas mais corretas para uma intervenção no elemento estrutural.

Segundo Trindade (2015) os ensaios de campo como os de laboratório devem ser procedidos a partir das informações coletadas na fase de inspeção visual,

analisando objetivamente as informações adquiridas com os devidos detalhes que produzam uma confirmação do diagnóstico da origem do problema apresentado.

3.5.3 Ensaios não destrutíveis do concreto

Nos casos de acidentes envolvendo estruturas de concreto armado, faz-se necessário analises mais específicas para se avaliar as causas e consequências do sinistro, desta forma utiliza-se de ensaios não destrutivos do concreto para avaliar as características de forma básica sem gerar dano ao mesmo. Para seguir com a investigação das principais causas geradoras de patologias em estruturas de concreto armado pode-se citar os seguintes ensaios:

De acordo com Marcelli (2007), o ensaio esclerométrico é realizado para mensurar a resistência de superfície do concreto, através do impacto gerado por um instrumento (esclerômeiro) instalado na superfície. Este aparelho promove uma lenta pressão de forma perpendicular em direção a superfície do concreto, até que um de seus componentes chamado de martelo ocasiona o choque e consequentemente a reflexão, através de escala graduada a medida produzida pela variação do cursor é registrada.

Outro método de ensaio utilizado é o de ultra-som, está técnica é adequada para se verificar a homogeneidade do concreto, sendo possível detectar falhas ou vazios na concretagem, como também verificar a profundidade de trincas existentes, este método de ensaio possibilita a análise do controle de qualidade de uma peça feita de concreto armado.

O ensaio de gamografia é indicado para se obter dados específicos que serão necessários para se realizar uma análise mais criteriosa do concreto. Seu uso é feito para avaliar trincas internas, juntas de concretagem mal executadas, verificação do posicionamento da armadura como também se existe o processo de corrosão do aço dentre outros tipos de manifestações patológicas.

Para se realizar este ensaio é utilizado um aparelho semelhante ao de raio x, onde uma das faces da peça recebe radiação e na outra face é posicionado uma placa com filme que ao receber os raios gama registra eventuais falhas na peça de concreto armado. Pelo fato de ser um equipamento que emite radiação, deve ser armazenado em local apropriado e seu manuseio deve seguir as orientações de segurança do

fabricante, pois dessa forma fica reduzido o risco de contaminação das pessoas próximo a construção.

Para se analisar problemas referentes a armadura de uma peça estrutural o método eletromagnético é o mais indicado. Segundo Marcelli (2007), para se realizar este ensaio é utilizado o pacômetro, uma aparelho que libera um fluxo magnético através da armadura do concreto, o sinal sofrera variações em função da espessura de cobrimento do concreto, desta forma fica possível verificar com rapidez e facilidade qual o posicionamento exato da armadura disposta na peça de concreto como também os detalhes presentes como ganchos existentes, espaçamento dos estribos e comprimento final da barra de aço.

O ensaio de prova de carga é um teste conclusivo para uma estrutura ou apenas uma pequena parte da peça, que determina a quantidade de carga suportada com segurança pelo elemento estrutural analisado. Seu processo é dado a partir da aplicação crescente de carregamentos até atingir um valor final estipulado de aproximadamente 30% do que foi previsto em seu dimensionamento.

Segundo a ABNT (2012), a definição de prova de carga pode ser entendida como o conjunto de atividades designadas a analisar o desempenho de uma estrutura por meio de medição e controle de efeitos gerados pela aplicação de ações externas de intensidade e natureza previamente estabelecidas.

Ainda de acordo com a ABNT (2012), a recomendação para a realização de uma prova de carga é feita quando existe possível alteração das condições de utilização da estrutura, como em casos corridos na fase construtiva que gerem solicitações excepcionais em algum trecho da estrutura, após acidentes ou falhas verificadas durante o processo executivo ou durante sua utilização, na falta de detalhamentos no projeto ou quando há o desconhecimento das características na qual a edificação foi construída.

3.5.4 Ensaios destrutíveis do concreto

Pode se considerar como ensaios destrutivos do concreto aqueles onde há a necessidade da retirada de um pedaço da peça para se prosseguir com os ensaios, este método é adotado para se verificar algumas características especificas do concreto a partir da coleta de amostras do elemento estrutural.

Segundo Marcelli (2007), um dos ensaios destrutivos utilizados é o de compressão em corpos-de-prova, seu uso é feito quando pretende-se mensurar a resistência a compressão do concreto a partir da retirada de uma amostra da peça a ser avaliada. As amostras devem ser retiradas com brocas rotativas que extraem um fragmento do concreto em forma de cilindro, em seguida são posicionadas em uma prensa e carregadas até o início de sua ruptura, sendo assim, obtém- se o valor resistido pela peça no local em que foi retirado a amostra.

O profissional que for responsável pela de extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos deve seguir todos os métodos regidos pela NBR7680, desta forma obtém-se resultados precisos e de alta confiabilidade para as amostras.

4. RECUPERAÇÃO DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

A recuperação de uma estrutura danificada depende da análise feita para se descobrir quais foram as reais causas que resultaram no surgimento de patologias, dessa forma, a possibilidade de se obter êxito na restauração da peça é elevada. Na atualidade existem diversas técnicas possíveis com a adoção de materiais modernos utilizados para a recuperação e o reforço de elementos estruturais abalados, em seguida serão descritos os métodos mais utilizados no tratamento de cada tipo de manifestação patológica.

4.1 MÉTODOS DE INTERVENÇÃO EM SUPERFÍCIE DE CONCRETO

As atividades envolvendo a recuperação e o reforço de peças estruturais feitas de concreto armado necessitam de uma atenção rigorosa no processo de preparação e limpeza dos resíduos existentes, apesar de preliminares estes procedimentos são obrigatórios e devem ser adotados antes do início da fase de execução da recuperação ou reforço. A falta de preparação correta da superfície mesmo com a adoção de técnicas e materiais adequados podem ocasionar uma solução ineficiente quanto a recuperação de uma estrutura podendo comprometer totalmente a intervenção realizada na peça.

De acordo com Helene (1992), o procedimento de preparo e limpeza do substrato é essencialmente importante para recuperação de uma peça, podendo significar um fator de 50% na execução do reparo, pois quando executado de maneira errada pode resultar completamente na falha da recuperação do elemento estrutural.

Segundo Marcelli (2007) o processo de preparação do substrato deve ser o primeiro a ser realizado, sua execução pode variar em dependência a alguns fatores como: condições locais do ambiente e pela grandeza do serviço a ser realizado. Tais procedimentos de reparo estão citados no Quadro 1.

Quadro 1: Procedimentos de preparo da superfície.

Item	Procedimentos	Preparo do substrato	
		Concreto c/ superfície	
		Seca	Úmida
01	Escarificação manual	Adequado	Adequado
02	Disco de desbaste	Aceitável	Adequado
03	Escarificação mecânica	Adequado	Adequado
04	Demolição	Adequado	Adequado
05	Lixamento manual	Inadequado	Aceitável
06	Lixamento elétrico	Adequado	Aceitável
07	Escovamento manual	Adequado	Aceitável
08	Pistola de agulha	Inadequado	Inadequado
09	Jato de areia seca/úmida	Adequado	Adequado
10	Disco de corte	Aceitável	Adequado
11	Queima controlada	Adequado	Inadequado
12	Remoção de óleo/graxa	Inadequado	Adequado
13	Máquina de desbaste	Aceitável	Adequado

Fonte: Marcelli (2007, p. 116)

Já o processo de limpeza deve ser feito logo após a preparação da superfície e previamente antes da aplicação do produto de reforço ou recuperação. Sua execução pode ser realizada seguindo os procedimentos descritos no Quadro 2.

Quadro 2: Procedimentos de limpeza da superfície.

Item	Procedimentos	limpeza	
		Concreto c/ superfície	
		Seca	Úmida
01	Jato de água fria	Inadequado	Adequado
02	Jato de água quente	Inadequado	Adequado
03	Vapor	Inadequado	Adequado
04	Soluções ácidas	Inadequado	Aceitável
05	Soluções alcalinas	Inadequado	Adequado
06	Remoção de óleos/graxas	Inadequado	Inadequado
07	Jato de ar comprimido	Adequado	Aceitável
08	Solventes voláteis (acetona)	Adequado	Adequado
09	Saturação de água	Inadequado	Inadequado
10	Aspiração a vácuo	Adequado	Inadequado

Fonte: Marcelli (2007, p. 116)

É indicado a aplicação de um adesivo estrutural geralmente feitos de colas à base de resinas epoxídicas na região superficial do concreto após finalizada sua

limpeza para que se tenha garantia de uma aceitável ligação entre o material já existente e o novo a ser aplicado.

Quando a intervenção a ser realizada atingir a armadura da peça, deve-se realizar a limpeza das áreas oxidadas por meio de escovação de forma manual ou mecanizada ou ser utilizado jato de areia, sendo importante que o local fique livre de partes oxidadas ou algum tipo de material oleoso, tendo-se atenção para que toda a superfície receba a limpeza.

Segundo Marcelli (2007), ao ser finalizado o procedimento de limpeza da armadura, faz-se necessário uma avalição quanto a possíveis excessos da redução da seção do aço, nos casos de constatação deste efeito deve-se contatar um engenheiro estrutural para avaliar a necessidade de troca da peça ao a instalação de uma armadura de reforço. Sua finalização se dá aos mesmos moldes da limpeza do concreto onde se aplica uma pintura à base de resinas epoxídicas para evitar o ressurgimento da corrosão.

O polimento é uma técnica adotada para situações onde a superfície do concreto apresenta-se muito áspera, esta condição pode ser proveniente de erros cometidos na fase executiva da peça por consequência de concreto com falhas em sua dosagem, utilização de formas com superfície áspera ou deficiência do processo de vibração. Outro fator causador desta condição pode ser pelo desgaste devido ao seu uso.

Segundo Souza e Ripper (1998), a técnica de polimento tem por objetivo resgatar a textura original, lisa e sem elementos desprendidos da superfície do concreto. Sua execução pode ser feita manualmente com a utilização de pedras de polir, ou mecanicamente com o uso de lixadeiras. A execução desta técnica exige pleno conhecimento, além de necessitar da adoção de cuidados com relação a proteção ambiental e dos operários, pois resulta em grande poluição sonora e atmosférica.

Quanto ao processo de lavagem da peça pode-se citar os seguintes procedimentos disponíveis que atenderam a cada necessidade solicitada para a intervenção de manutenção. Uma das técnicas disponíveis é a adição de solução ácida na lavagem da superfície, este procedimento permite a retirada de tintas, ferrugens, manchas de cimento, substancias oleosas que não seriam removidas somente com lavagem com jato d'água.

De acordo com Souza e Ripper (1998), a técnica consiste em molhar abundantemente a área afim de impedir que o ácido penetre no concreto saudável, logo em seguida aplica-se a solução acida em pequenas áreas com auxílio de equipamento de aspersão ou uso de broxa, mantendo sempre o local ventilado como uma das formas de preservar a segurança dos envolvidos pela aplicação. Nos casos onde a espessura do cobrimento da armadura for reduzida deve-se adotar a lavagem com substâncias alcalinas.

A lavagem com solução alcalina tem sua aplicação semelhante a feita com ácidos, sua preocupação quanto a proximidade da armadura é reduzida, mas deve-se ficar atento em relação à presença de agregados reagentes a substancias alcalinas na composição do concreto, pois dessa forma pode ocorrer alteração das características do material. A execução desta técnica exige bastante lavagem e sua eficácia contra o processo de corrosão é inexistente.

Outro procedimento utilizado para realizar a intervenção em superfícies de concreto é a aplicação de jato de água ou areia ou até mesmo uma junção dos dois componentes. A execução desta técnica consiste basicamente em promover a remoção das camadas superficiais que se encontram em estado de deterioração, a água ou areia é lançada por equipamento ligados a compressor que faz o lançamento de partículas em alta pressão, quando utilizado areia está deve estar livre de partículas orgânicas e apresentar granulometria compatível com o equipamento.

Segundo Souza e Ripper (1998), geralmente na utilização dos jatos adota-se água em temperatura ambiente e dependendo do tipo de dano apresentado pelo concreto adiciona-se areia no jateamento. Em situações onde encontra-se superfícies gordurosas ou com algum tipo de mancha causadas por compostos químicos, emprega-se o uso de jatos com água aquecida com a adição de removedores biodegradáveis.

Dentre os procedimentos descrito, existe uma particularidade a ser relatada na técnica de apicoamento, mesmo não sendo considerado um procedimento para intervenção de superfícies propriamente dito, ele tem grande importância no processo de recuperação de uma peça, pois antecede grande parte das medidas adotadas para a restauração de um elemento estrutural.

Segundo Trindade (2015), a técnica de apicoamento consiste na remoção de finas camadas de concreto em sua região superficial, com o objetivo de deixa-la

rugosa e assim proporcionar maior aderência para aplicação de uma nova camada sobreposta a já existente para aumentar a espessura de cobrimento da armadura.

De acordo com Souza e Ripper (1998), a execução do apicoamento pode ser realizada de forma manual ou mecânica, a seleção do processo a ser adotado dependerá da espessura de concreto que será removido como também o grau de rugosidade e homogeneidade que se exigira para a intervenção da peça.

4.2 MÉTODOS DE INTERVENÇÃO EM FISSURAS

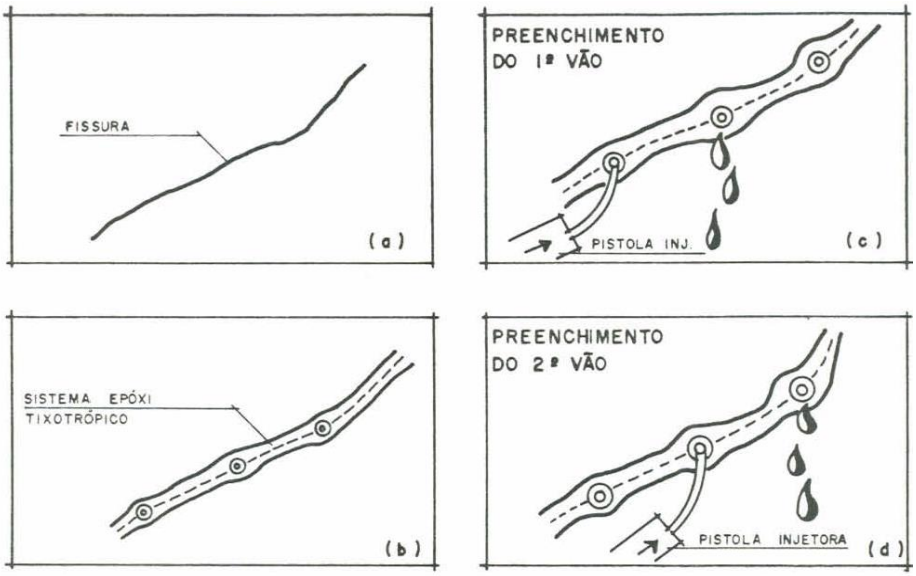
Para se proceder com uma intervenção eficaz em uma peça que apresenta regiões fissuradas, primeiramente identifica-se a causa resultante do fenômeno de fissuração, alguns detalhes devem ser analisados para que se obtenha sucesso na reparação desta patologia, fatores como a variação da espessura, o tipo e a necessidade de reforço estrutural são elementos fundamentais a serem avaliados no processo de recuperação da peça danificada.

Em casos de intervenção em fissuras passivas descreve-se as seguintes técnicas para recuperação do elemento danificado:

De acordo com Souza e Ripper (1998), a injeção de fissuras consiste em uma técnica onde se realiza o completo preenchimento do vazio formado entre as bordas de uma fenda, com material rígido geralmente compostos de resina epoxídica, pois este material apresenta características positivas quanto a aderência, resistência e viscosidade além de não sofre retração.

Segundo Figueiredo (1989), para a execução desta técnica primeiramente realiza-se uma abertura com no máximo 10 mm de profundidade ao longo da sessão fissurada com auxílio de disco de corte, em seguida, com o auxílio de uma furadeira são feitos furos com diâmetro máximo de 10 mm, profundidade de até 5mm e espaçamento de aproximadamente 20 cm entre cada furo, após furação são instalados tubos e posteriormente são retiradas qualquer tipo de sujeira presente com auxílio de escovas ou ar comprimido, para finalizar, faz-se a aplicação de um material do tipo epóxi tixotrópico preenchendo por completo as fendas agindo como um selante na peça. Na figura 4 é demostrada as etapas de preenchimento da fissura.

Figura 4: Processo de preenchimento de fissuras



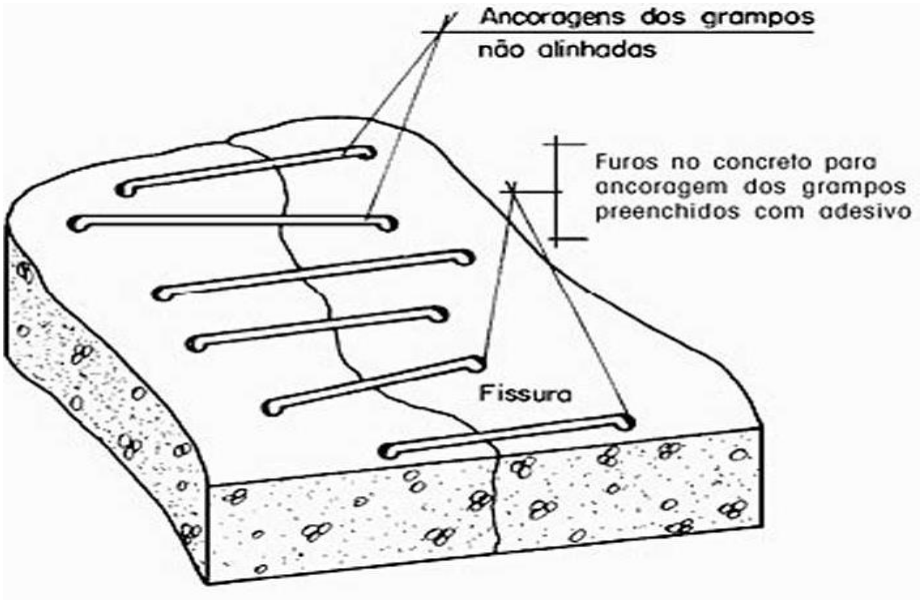
Fonte: Figueiredo (1989, p.45)

Após secagem que leva de 12 a 36 horas deve-se realizar teste com ar comprimido para verificar se existe a comunicação dos tubos, para casos onde não se confirme a comunicação todo o processo descrito acima deve ser refeito. Nos casos em que se confirme a comunicação, inicia-se a aplicação com pistolas manuais ou a ar comprimido da resina epóxi nos tubos que após 48 são cortados e sua cavidade restante é preenchida com material epóxi (FIGUEIREDO, 1989).

Para os casos de constatação de fissuras ativas onde seu avanço se dá em regiões isoladas provavelmente por deficiência localizada de resistência, recomenda-se a utilização da técnica de costura de fissuras também chamado de grampeamento, tendo está uma função de armadura adicional para combater os esforços de tração responsável por provocar fendilhação da peça. Esta técnica consiste basicamente em instalar grampos de aço na região fissurada, com o objetivo de agir como elemento estabilizador e de junção das duas partes do concreto que estão afastadas (MARCELLI, 2007).

O processo de execução da técnica de grampeamento, essencialmente se dá pela fixação de grampos de aço em furos realizados ao longo da fissura, após sua instalação são feitos os preenchimentos dos espaços entre a barra de aço e o furo com resina epóxidicas ou cimentícias,assim como representado na figura 5.

Figura 5: Grampeamento de uma peça fissurada.



Fonte: Souza e Ripper (1998, p.126)

É importante que os grampos fiquem arranjados com ângulos diferentes entre si, pois dessa forma evita-se que esforços transmitidos pelo reforço sejam distribuídos em todo o plano da peça.

4.3 MÉTODOS DE REPARO PARA ELEMENTO ESTRUTURAL

Uma estrutura pode apresentar diversas variações quanto a seu grau de deterioração, esta condição exige a necessidade de reparos adequado para que seja preservada sua integridade. Quando a pratica da intervenção não acarretar na aplicação de matérias com o intuito de elevar ou restaurar a capacidade de suporte de cargas do elemento estrutural, tem-se então as técnicas de reparo de peças estruturais (REIS, 2001).

Neste processo a classificação dos danos é feita com relação a profundidade necessário para se realizar a intervenção da peça. Se considera como reparos superficiais aqueles onde a profundidade não ultrapassa 2,0 cm com uma área limite de 15 cm², já os reparos semiprofundos tem seus reparos realizados em profundidades entre 2,0 a 5,0 cm e os reparos profundos em profundidade superior a 5,0 cm (HELENE, 1992).

Com relação as técnicas adotadas para a execução de reparos em elemento estrutural, descreve-se a utilização de argamassa, sendo empregada para combater deteriorações superficiais do concreto com no máximo 5,0 cm de profundidade, para adoção deste procedimento é necessário que o interior da peça não apresente qualquer tipo de dano.

Segundo Souza e Ripper (1998), a argamassa a ser empregada deve ser escolhida de acordo com o tipo de deterioração que será reparada. Para se executar serviços deste gênero, pode-se utilizar argamassas compostas dos seguintes materiais:

• Argamassas de cimento e areia geralmente feita em um traço 1:3 com um fator agua cimento de 0,45, sua utilização é indicada para preenchimento de danos localizados na região de superfície da peça, é necessário fazer a cura do local de 1 a 3 dias.

• Argamassas epoxídicas são feitas com aglomerante a base de resina epóxi e apresenta elevada resistência química e mecânica, como também tem grande facilidade em aderir ao aço. Sua aplicação é realizada em duas etapas, primeiramente realiza-se a aplicação em forma de pintura de uma mistura com resina e aditivo na região da superfície que será reparada, em seguida pressiona-se a argamassa de forma a garantir uma boa junção dos componentes. A cura deve ser feita em temperatura superior a 14 °C até seu endurecimento e permanecer entre 32°C e 40°C por até 4 horas.

Outra técnica que é muito utilizada é a de reparos com o uso de concreto, pois permite diversos tipos de intervenção, mesmo para peças em regiões de difícil acesso ou que estejam presentes em locais submersos. Sua execução é feita com a adoção de concreto com baixo consumo de concreto com resistência de até 20 Mpa, sendo necessário a adoção de formas com boa estanqueidade, de forma que conduza a um bom preenchimento da região a ser recuperada sem deixar vazios na peça.

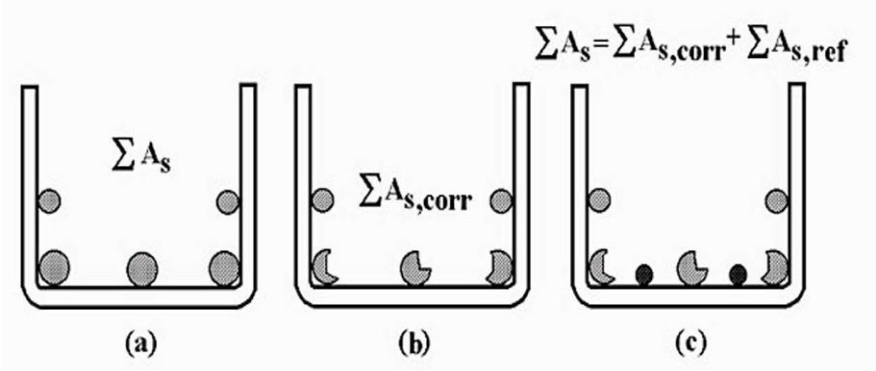
4.4 MÉTODOS DE REFORÇO PARA ELEMENTO ESTRUTURAL

A adoção de técnicas para fortificação das estruturas é feita com o intuito de se corrigir falhas geradas pelo processo de planejamento ou na etapa executiva, para elevar a capacidade das estruturas que teve alterações em sua utilização ou pela necessidade de recuperação da peça em si.

Nos casos de necessidade de aumento da área de aço da armadura com o objetivo de elevar o suporte de cargas ou para compensar os efeitos da corrosão do aço, utiliza-se da técnica de reforço da armadura. Segundo Souza e Ripper (1989), em casos que a armadura apresentar os efeitos da corrosão em um total de 15% de sua seção original, deve-se considerar a execução de um reforço. Para este levantamento é necessário considerar a área total da armadura e não apenas de uma barra isolada.

Na figura 6 é apresentado um esquema de adição de barras como forma de proceder com o reparo da peça estrutural que teve sua armadura corroída. É bom destacar que ao final do método a somatória das barras adicionadas com as já existentes deve resultar na mesma área da seção original.

Figura 6: Adição de barras para reforço de armadura.



Fonte: Souza e Ripper (1998, p.144)

De acordo com Helene (1992), quando houver a inevitabilidade de se realizar emendas nas barras de aço, deve o operador realizar a junção através de solda com eletrodos, mantendo-se a contenção da temperatura e do tempo para evitar modificações estruturais do material.

Na ocasião que pretende-se realizar o reforço na junção entre um pilar e uma viga com a finalidade de reforçar o sistema estrutural da edificação, é aconselhável a adoção da técnica de reforço com revestimento de chapas de aço, este método oferece algumas vantagens, como sua praticidade o que acelera a execução da intervenção na peça além de não afetar consideravelmente o peso próprio do elemento estrutural, mas deve-se dar atenção para que a instalação das chapas não ocasione na camuflagem de fissuras outro fator a ser destacado é que este método não é aconselhável para locais expostos a altas temperaturas.

De acordo com Reis (2001), a técnica de reforço com chapas de aço, é realizada mediante a colagem destas chapas com resina epóxi e fixadas com parafusos que concede a interação ao elemento reforçado, de forma a não causar grandes modificações nas dimensões da peça como também em seu arranjo arquitetônico.

Em casos onde é necessário uma intervenção de emergência é possível utilizar o método de reforço com perfil metálico, esta técnica consiste na fixação dos perfis com buchas expansivas, sendo logo em seguida preenchido com resina epóxi.

Segundo Souza e Ripper (1998), através de resultados obtidos por ensaio constatou-se que as estruturas reforçadas com perfis metálicos se apresentam no estado limite último, semelhantes as tradicionais peças de concreto com sua armadura total obtida pela soma da área de aço que é gerado pela peça já reforçada, assim o resultado é uma peça melhorada com relação ao seu comportamento em serviço.

Já o método de reforço de pilares com adição de polímeros armado com fibra de carbono apresenta grande resistência e sua execução é bem simplificado além de ser considerado mais moderno do que o processo com chapas de aço, este apresenta uma vantagem o de não sofrer processo de corrosão.

Segundo Trindade (2015), está técnica é amplamente utilizada para reforço de pilares, a fibra de carbono disposta em forma de folhas se molda com facilidade pela superfície da peça a ser reforçada, desta forma, fornece aumento da ductibilidade elevando a resistência da estrutura sem alterar o seu peso próprio.

De acordo com Souza e Ripper (1998), na colagem das folhas, deve-se empregar uma resina com resistência e dureza suficiente para suportar a transferência de esforço cortante entre o concreto e a folha, de forma a manter a um certo grau de elasticidade para se evitar o rompimento do componente de reforço. Outro fator a ser analisado é a quantidade de resina a ser aplicada, pois com a aplicação em excesso aumenta-se o peso próprio do reforço consequentemente diminui-se sua resistência.

A execução deste método exige que a superfície que será reforçada esteja limpa e com aspecto liso, podendo ser obtido com auxílio de uma esmerilhadeira, desta forma, obtém-se uma ótima aderência do material de reforço com a superfície do concreto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente trabalho apresentou um estudo sobre as manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, através de levantamento de dados com relação aos principais fatores causadores de patologias, suas peculiaridades na forma de se manifestar, métodos de diagnósticos e os procedimentos para execução do reparo do elemento estrutural afetado.

Nesse sentido, foram observadas as mais variadas causas resultantes em patologias e suas fases de origem, podendo estas ser cometidas nas etapas de projeto, execução ou utilização da edificação, consequentemente provocadas pela combinação da ação de agentes externos e internos que acabam danificando as peças de concreto armado.

Desta forma, ficou claramente entendido que não é apenas um fator o responsável por gerar danos a peça de concreto e sim a combinação de diversos elementos, como a composição dos materiais adotados e suas reações químicas geradas, as ações naturais do meio ambiente, erros humanos cometidos na fase de projeto ou execução que na maioria das situações são ocorridos pela falta de capacitação técnica ao até mesmo pela inexistência de fiscalização. Esta junção de fatores é o ingrediente certo para que agentes nocivos penetrem nas peças de concreto armado e provoquem sua deterioração podendo levar a ruina todo um sistema estrutural.

Foram apresentadas as formas mais comuns de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado, de modo a descrever as características e as particularidades que cada uma exibe durante sua ação na peça de concreto, como também as diversas técnicas para se obter um diagnóstico de maneira mais exata, assim auxiliando o profissional da área a providenciar a melhor forma de intervir no elemento estrutural danificado.

A questão envolvendo as possíveis técnicas de reparo e reforço foi abordada para esclarecer que existem diversas maneiras de se proceder o tratamento de elementos danificados, sendo demostrado que cada método tem suas vantagens ou desvantagens com relação ao tipo de patologia a ser tratada.

Assim fica entendido a grande importância que se faz da qualificação dos profissionais envolvidos nas etapas construtivas de uma edificação, seja pela escolha

dos materiais que serão utilizados, seja pelo permanente controle de qualidade durante sua execução, pois o grande proposito deste estudo foi demonstrar maneiras de se evitar o surgimento das manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado tendo em vista que uma intervenção só resultara em prejuízos.

Como propostas para pesquisas futuras, fica a sugestão para desenvolvimento de estudos para melhorar o controle de qualidade das construções, afim de apresentar mecanismos que garantam uma eficiente vigilância sobre as etapas construtivas de uma edificação, de forma a promover uma redução dos índices de patologias nas construções.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Carmen. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. São Paulo: Pini, 1992. 104 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estrutura de concreto- Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 238. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9607: Prova de carga em estruturas de concreto armado e protendido – Procedimento**. Rio de Janeiro, p.12. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931: Execução de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 54. 2004.

BROOMFIELD, J. P. **Corrosion on Steeel in Concrete**, 1.ª edição. Londres, E. & Fn Spon, 1997.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. 1 Ed. Tradução de M. C. Marcondes; C. W. F. dos Santos; B. Cannabrava. São Paulo: Ed. Pini, 1988. 522 p.

CASCUDO, Oswaldo. **O controle da corrosão de armaduras de concreto:** inspeção e técnicas eletroquímicas. 1. ed. Goiânia: UFG, 1997, 221 p.

CLÍMACO, João Carlos Teatini de Souza. **Estruturas de concreto armado:** fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação. 2. Ed. Brasília: Finatec, 2008, 410 p.

DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. **Fissuras em estruturas de concreto armado, analise das manifestações típicas e levantamento de casos ocorridos no estado de Rio Grande Do Sul**. 1988. 200 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre,1988. Disponível em:<http:/ www.lume.ufrgs.br >. Acesso em: 15 ago. 2018.

FIGUEIREDO, Enio Jose Pazini. **Terapia das Construções de concreto: Metodologia de avaliação de sistemas epóxi destinados à injeção de fissuras passivas das estruturas de concreto.** 1989. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989. Disponível em:<http:/ www.lume.ufrgs.br >. Acesso em: 06 set. 2018.

FUSCO, Pericles B. **Técnica de armar as estruturas de concreto.** São Paulo: Pini.1995. 392p.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. **Estudo das patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações.** 2015. 150f. Monografia - UFRJ/ Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em:<http:/www.monografias.poli.ufrj.br >. Acesso em: 04 ago. 2018.

HELENE, P. R. L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2ª ed - São Paulo: PINI, 1992. 211p.

MARCELLI, Maurício. **Sinistros na construção civil:** causas e soluções para danos e prejuízos em obras. São Paulo: Pini, 2007. 257p.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. 2. Ed. São Paulo: Pini, 1997. 828p.

NEVILLE, Adam M. **Tecnologia do concreto.** 2. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 441p.

POSSAN, Edna; DEMOLINER, Carlos Alberto. **Desempenho, durabilidade e vida útil das edificações:** abordagem geral. Revista Técnico-Científica do CREA-PR - ISSN 2358-5420, Curitiba, 1ª ed. p. 1 -14, out 2013. Disponível em:<http:/creaprw16.crea-pr.org.br>. Acesso em: 18 ago. 2018.

REIS, Lilia Nogueira Silveira. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. 2001. Dissertaçao (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2001. Disponível em:< https:// http://www.bibliotecadigital.ufmg.br>. Acesso em: 02 out. 2018.

SILVA, I. T. S., I**dentificação dos fatores que provocam eflorescência nas construções em Angicos/RN**. 2011. 52 f. Monografia - Universidade Federal Rural do Semi- Árido, Angicos, 2011. Disponível em: <http://www2.ufersa.edu.br >. Acesso em: 06 set. 2018.

SOUZA, Vicente Custódio M. de; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1998. 245p.

TAKATA, Leandro Teixeira. **Aspectos executivos e a qualidade de estruturas em concreto armado:** Estudo de caso**.** 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2009. Disponível em:< https://repositorio.ufscar.br>. Acesso em: 11 ago. 2018.

THOMAZ, Ercio. **Trincas em edifícios**: Causas, prevenção e recuperação. São Paulo: Pini, 1989. 189p.

TRINDADE, Diego dos Santos da. **Patologia em estruturas de concreto armado.** 2015. 86 f. Monografia – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2015. Disponível em:<http:/ coral.ufsm.br>. Acesso em: 11 abr. 2018.

ZAMBERLAN, F. **Penetração de cloretos em concretos compostos com cinza de casca de arroz de diferentes teores de carbono grafítico.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa maria, 2013. Disponível em:<http:/ coral.ufsm.br>. Acesso em: 17 ago. 2018.