



FACULDADE DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS DE EXTREMA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ADRIANA DE SOUZA SILVA

FISSURAS E TRINCAS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Extrema

2018

ADRIANA DE SOUZA SILVA

FISSURAS E TRINCAS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado a Faculdade de Ciências Sociais e Aplicadas de Extrema-FAEX, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Afonso Henrique Vilela

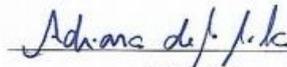
Extrema

2018



ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
FAEX – FACULDADE DE EXTREMA

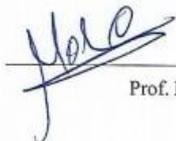
Em sessão às 18h do dia 10 de dezembro de 2018 o (a) aluno (a) Adriana de Souza Silva apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso, intitulado “Fissuras e Trincas em vigas de concreto armado” como requisito para conclusão do Curso de Engenharia Civil, perante uma Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:



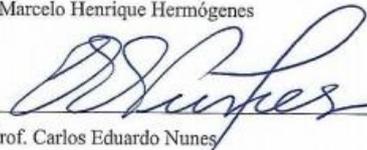
Adriana de Souza Silva (Aluno (a))



Prof. Afonso Henrique Vilela (orientador (a))



Prof. Marcelo Henrique Hermógenes



Prof. Carlos Eduardo Nunes

Aprovado (X)
Aprovado com restrições ()
Reprovado ()

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que me guia e protege sempre. E aos meus pais pela dedicação e incentivo ao longo de toda minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS, pelo dom da vida, por ter me dado saúde e força para superar as inúmeras dificuldades.

Ao meu pai Adão Pedro da Silva (*in memoriam*), que não pode estar presente neste momento tão incrível da minha vida, mas se hoje consegui concluir a faculdade, devo tudo a ele. Seus ensinamentos e valores alimentaram minha alma e conduziram meus passos até aqui. Saudades eternas!

A minha mãe Esnilda Patrícia de Souza Silva, pelo amor e pelos cuidados que dispensou todos os dias em meu benefício, me ensinou a viver com dignidade e responsabilidade.

Ao meu irmão Graziano Aparecido Da silva, pelo incentivo, sem a força e o apoio de vocês não estaria realizando esse sonho.

Ao meu orientador Professor Afonso Henrique Vilela, pelo apoio, confiança e disposição no desenvolvimento de cada etapa deste trabalho. Manifesto aqui minha gratidão eterna por compartilhar sua sabedoria, o seu tempo e sua experiência.

A todos os professores e, em especial, Wlamir Carlos de Oliveira e Benedito Roberto Rodrigues, por desempenharem com dedicação e competência a tarefa sublime de compartilhar o conhecimento, permitindo que pudéssemos desenvolver novas habilidades, necessárias para bom desempenho do trabalho profissional.

Aos meus novos amigos, colegas de curso, companheiros e cúmplices nessa jornada, por todos esses anos em que compartilhamos o mesmo caminho, as mesmas alegrias, as mesmas apreensões.

Aos amigos de sempre, Alessandra Andrade, Bárbara Rosa, Fabio Vivaqua, Naelyn Alves, Ariane Pires, Geovandres Rosa, Felipe Augusto e Álvaro Esteves. Obrigado pelos inúmeros conselhos, frases de motivação e puxões de orelha. As risadas, que vocês compartilharam comigo nessa etapa tão desafiadora da vida acadêmica, também fizeram toda a diferença. Minha eterna gratidão. Esse TCC também é de vocês!

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho um estudo do comportamento das manifestações patológicas: fissuras e trincas em vigas de concreto armado; das suas causas e das patologias que podem ter como resultado a abertura excessiva na viga. Os fatores que influenciam no fenômeno também são apresentados, assim como a necessidade de execução de técnicas para detectar as manifestações patológicas de forma rápida e precisa, com o objetivo de propor ações preventivas e corretivas. Essas ações incluem técnicas para o reforço estrutural de edificações, com a adição de chapas ou cantoneiras, resina epóxi, até mesmo com o próprio emprego de concreto, adotando-se armaduras suplementares aumentando a altura útil da viga. As medidas corretivas devem ser realizadas assim que são detectados os problemas, de forma que sejam evitados o aumento das manifestações patológicas, de modo a evitar casos extremos que levam a estrutura em colapso. As informações básicas apresentadas permitem a compreensão das principais técnicas disponíveis que permitem estabelecer as condições adequadas de uso do imóvel.

Palavra-chave: Concreto; Fissuração; Trincas; Patologia.

ABSTRACT

This paper presents a study of the pathological manifestations: fissures and cracks on reinforced concrete beams, its causes and the study of pathologies that can result in excessive exposure of the beam. The factors that influence this phenomenon are also presented, as well as the needs to perform techniques to precisely and quickly detect the pathological manifestations with the purpose to determine corrective and preventive actions. Those actions include techniques for structural reinforcement of the buildings, with addition of plates or corners, epoxy resin, or even with the addition of concrete, additional steel reinforcing bars and increasing the beam's useful height. The corrective measures shall be realized as soon as the problems are detected so the worsening of the pathological manifestations can be avoided to prevent extreme cases of structure's collapse. The basics information presented allow the comprehension of the main techniques available that allow to stablish adequate conditions for the building's usage.

Key-words: Concrete, Fissures, Cracks, Pathologies.

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

- σ_s - Tensão na armadura;
- \emptyset - Diâmetro das barras (mm);
- ρ_r - Taxa geométrica da armadura na seção transversal do concreto A_{cr} , interessada pela fissuração ($\rho_r = A_s/A_{cr}$);
- η_b - Coeficiente de conformação superficial das barras da armadura suposto igual a 1 para barras lisas (coeficiente de aderência);
- f_{tk} - Resistência característica do concreto à tração;
- E_c - Módulo de deformação longitudinal do aço;
- ELU** - Estado Limite Último;

Lista de tabela

Tabela 1- Classes de agressividade ambiental23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Viga isostática submetida à flexão.	31
Figura 2- Fissuração típica em viga subarmada solicitada à flexão.	31
Figura 3- Esforço de tração causados pela flexão.	32
Figura 4- Fissuras de cisalhamento em vigas solicitadas à flexão.	33
Figura 5- Trincas causadas pela tensão de cisalhamento.	33
Figura 6- Fissura devido à torção.	34
Figura 7- Fissura do concreto por retração hidráulica.	35
Figura 8- Fissura devido à corrosão das armaduras.	36
Figura 9- Exemplo de câmera termográfica.	38
Figura 10-Região 1: Ensaio sem presença de água.	40
Figura 11- Região 1: Ensaio com presença de água.	40
Figura 12- Região 1; imagem obtida com GoPro.	41
Figura 13- Região 2: Ensaio sem presença de água.	41
Figura 14-Região 2: Ensaio com presença de água.	42
Figura 15- Região 2: Imagem obtida com GoPro.	42
Figura 16-Ensaio com a presença de água.	43
Figura 17-Ensaio sem a presença de água.	44
Figura 18-Fissuras encontradas na edificação B.	45
Figura 19-Reforços de vigas ao cisalhamento.	49
Figura 20- Reforço a flexão.	49
Figura 21- Reforço ao cisalhamento.	50
Figura 22- Reforço de vigas com concreto e armaduras suplementares.	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVO GERAL	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.3	JUSTIFICATIVA	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	METODOLOGIA	19
2.2	CONCEITO DE PATOLOGIAS DAS ESTRUTURAS	19
2.3	DEFINIÇÃO DE FISSURAS, TRINCAS E RACHADURAS	20
2.4	POR QUE O CONCRETO ATUAL FISSURA MAIS DO QUE O CONCRETO DE ANTIGAMENTE?	21
2.5	AS PRINCIPAIS CAUSAS DE FISSURAS E TRINCAS	22
2.5.1	Causas naturais	22
2.5.2	Erro de projeto	24
2.5.3	Erro de execução	24
2.5.4	Falhas de materiais	25
2.5.5	Utilização da obra	25
2.5.6	Fissuras causadas por variação de temperatura	26
2.5.7	Fissuras causadas pela atuação de sobrecarga	27
2.6	CONSIDERAÇÕES SOBRE A FISSURAÇÃO DE COMPONENTES DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDOS À FLEXÃO	28
2.6.1	Flexão de vigas	30
2.6.2	Fissuras devido ao cisalhamento	32
2.6.3	Torção de Vigas	34
2.6.4	Fissuras devido a retração hidráulica	34
2.6.5	Corrosão das armaduras	35
2.7	COMO DIAGNOSTICAR FISSURAS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO	37
2.7.1	raios infravermelhos	37
	Exemplos Práticos:	39

2.8	PREVENÇÃO E RECUPERAÇÃO DE FISSURAS E TRINCAS NAS VIGAS DE CONCRETO ARMADO	45
2.8.1	AMPLIAR A ALTURA DA VIGA	46
2.8.2	AMPLIAÇÃO NA LARGURA DAS VIGAS	46
2.8.3	AMPLIAR A AMADURA DE TRAÇÃO	46
2.8.4	AMPLIAR A ARMADURA DE COMPRESSÃO	47
2.8.5	ALTERAR A GEOMETRIA DAS ESTRUTURAS	47
2.8.6	INJEÇÃO DE RESINA NAS FISSURAS DE VIGAS ALTAS DE CONCRETO ARMADO	47
2.8.7	RESFRIAMENTO DO CONCRETO COM GELO PARA EVITAR FISSURAS E TRINCAS	51
3	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

Dentre os problemas mais comuns a serem registrados com grande incidência nas construções, sejam elas habitacionais (casas e edifícios), laborais (escritórios, comércios, galpões, etc.), ou de infraestrutura (pontes, barragens, etc.), estão a fissuração e trincas exageradas em estruturas de concreto armado, podendo ser originadas por causas “naturais” (vento, sol, chuva, etc.), a falta de conhecimento dos profissionais que usam materiais fora de especificações e normas, falta de manutenção da estrutura (prejudicando sua durabilidade), dificuldade econômica, erros de projetos, de execução da estrutura ou até mesmo os acidentes de trabalho. Esses erros resultam em trincas e fissuras, valendo ressaltar que se não forem corrigidas a tempo poderão ter como resultado prejuízos econômicos, desperdício de materiais e levando a estrutura ao colapso nos casos mais extremos, colocando vidas em riscos.

A extensão da formação e a espessura da abertura na fissuração provocam a diminuição da rigidez, resultando em um aumento nas flechas em elementos fletidos e conseqüentemente causar um colapso estrutural. Por isso a fissuração deve ter mais destaque nos projetos estruturais, assim como na execução e nas ações preventivas e corretivas.

De acordo com o item 6.6.1 da NBR 6118 (2014):

“As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas, na época do projeto e quando utilizados conforme preconizado em projeto conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente a sua vida útil”. NBR 6118 (2014)

Onde sua durabilidade e segurança dependem de vários fatores: qualidade da matéria prima, o processo de execução e exposição às condições naturais, movimentações térmicas, desta forma a mesma deve ser submetida a reparos ou intervenções.

A fissuração excessiva prejudica a qualidade, durabilidade e desempenho das estruturas em utilização, sendo que essas manifestações patológicas podem acontecer tanto na fase da execução quanto na sua utilização, aonde a consequência vai mais além do que o conforto, estética e segurança do usuário.

1.1 OBJETIVO GERAL

É analisar qualitativamente os casos de trincas e fissuras em vigas de concreto armado nas edificações, buscando identificar suas causas, prevenções e reparos para melhoria e aumento da sua vida útil. As informações básicas apresentadas permitem a compreensão das principais técnicas disponíveis, visando estabelecer as condições adequadas de uso do imóvel.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar as causas da formação de fissuras e trincas em edificações sejam elas habitacionais (casas e edifícios), laborais (escritórios, comércios, galpões, etc.), ou de infraestrutura (pontes, barragens, etc.);
- Diagnosticar as causas das trincas e fissuras existentes e estabelecer uma medida de prevenção, contra essas anomalias;
- Determinar as medidas corretivas mais adequadas para a recuperação da edificação.

1.3 JUSTIFICATIVA

As manifestações patológicas tem sido um grande problema na construção civil, onde as estruturas de concreto armado apresentam um processo de degradação, que vem aumentando ao longo do tempo, antes de cumprirem sua vida útil. Esses problemas eram mais comuns em estruturas antigas, mas na atualidade são observadas em construções recentes. A consequência dessa patologia tem gerado um grande prejuízo financeiro, sendo um dos problemas mais comuns as fissuras e trincas em vigas de concreto armado, causados por falha no dimensionamento, erro de projeto, erro na execução, causas naturais, falta de manutenção, entre outros. O tema abordado fissuras e trincas em vigas de concreto armado foram escolhidos para esse trabalho, a fim de buscar identificar suas causas, prevenções e reparos para melhoria e aumento da sua vida útil. As informações básicas apresentadas permitem a compreensão das principais técnicas disponíveis para prevenção e reparos, visando estabelecer as condições adequadas de uso do imóvel e a segurança da estrutura.

A falta de conhecimento do assunto no meio acadêmico despertou um grande interesse e necessidade de compreender os métodos disponíveis para a prevenção e reparação das estruturas. Essa nova estratégia de desenvolvimento aponta um novo campo na Engenharia Civil, cujo intuito é abordar, de maneira científica, o desempenho e os problemas das estruturas. Designa-se gerencialmente por patologia das estruturas em específico as fissuras e trincas em vigas de concreto armado, tem como os estudos e conhecimento das origens, formas de exteriorização, consequências e mecanismo de incidente das falhas e envelhecimento das estruturas. O conhecimento nessa área tão ampla é pouco estudado, porém pode ser aperfeiçoado.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho consiste em analisar de maneira teórica e objetiva as fissuras e trincas em vigas de concreto armado, visando estabelecer técnicas para identificação das causas, prevenção e reparos da mesma. Para isso foi feito uma revisão bibliográfica com o objetivo de alcançar de forma mais clara os principais conceitos que precisam ser abordados para essa manifestação patológica, que resulta em melhorar a vida útil da estrutura.

A metodologia de pesquisa baseia-se de forma descritiva procurar informações e dados para o conhecimento das possíveis causas, prevenções e reparos de fissuras e trincas em vigas de concreto armado. Essas pesquisas são avaliadas de maneira objetiva a conferir informações encontradas que resultem em segurança e durabilidade da estrutura. Os oito capítulos que se seguem são resumidos a seguir.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica é composta por nove capítulos. Sendo o primeiro capítulo uma introdução dos conceitos adotados para a construção do seu desenvolvimento. (ABNT NBR 6118, 2014).

O capítulo 2 aborda o conceito de manifestações patológicas e a importância de ter profissionais capacitados no mercado de trabalho, conseguindo adequar a sua exigência para melhores resultados no uso de tecnologias na construção civil de forma segura e responsável. Além de enfatizar a deterioração precoce da estrutura ou em acidentes, suas causas e sintomas mais comuns, tendo como objetivo buscar mais qualidade nos empreendimentos. (VICENTE CUSTÓDIO E THOMAZ RIPPER, 1998).

O capítulo 3 trata da definição de fissuras, trincas e rachaduras. Também de forma clara e objetiva para melhor entendimento dessa manifestação patológica no concreto armado, com objetivo de melhorar a identificação das causas. (LUIZ PAULO, 2018).

O capítulo 4 mostra o porquê o concreto atual fatura mais que o concreto de antigamente, mostra como em meio a tantas tecnologias as fissuras e trincas são causadas com um número de repetição maior devido a uma nova fusão dos materiais de composição, prejudicando assim a sua qualidade e durabilidade na construção civil, correndo o risco de um colapso. (Silvio Andrade 2016).

O capítulo 5 aborda pesquisas em dissertações e literaturas, relatando às principais causas de fissuras e trincas nas vigas de concreto armado, citando as características da mesma, os sintomas que ocorreram nas vigas, as causas mais prováveis de cada um dos problemas encontrados seja elas, causas naturais, erro de projeto, erro de execução, falha de materiais, utilização da obra, variação de temperatura, atuação de sobrecarga, flexão, cisalhamento, torção, retração hidráulica e corrosão das armaduras. (ABNT NBR 6118. 2014, Santos 2007, Thomaz 1989 e Gonçalves 2015).

O capítulo 6 traz um método de como é realizado o diagnóstico das fissuras e trincas em vigas de concreto armado, visíveis ou não a olho nu. É fundamental o conhecimento das causas do mesmo, sendo assim, é de extrema importância tomar medidas adequadas de recuperação, em alguns casos os problemas não são fáceis de detectar necessitando um trabalho investigativo mais complexo, que muitas vezes é realizado através de termografia infravermelha de forma rápida e precisa, tendo como objetivo evitar maiores problemas futuros. Foram citados dois exemplos realizados, com e sem a presença de água na edificação para a identificação da manifestação patológica. (Nascimento 2014).

O capítulo 7 e 8 aborda a prevenção e recuperação das fissuras e trincas em vigas de concreto armado apontando soluções para tal manifestação, ressaltando a importância de conhecer como os materiais são estocados e manuseados para uma boa qualidade do mesmo, o acompanhamento da execução para um resultado satisfatório e a utilização juntamente com a manutenção nos edifícios. É necessário conhecer as causas dessa manifestação patológica, para que as medidas a serem tomadas sejam de maneira eficiente que resultem na recuperação do problema. Essas medidas de recuperação são exageradamente caras, na maioria das vezes incompatíveis com as condições financeiras dos consumidores da edificação. Há inúmeros métodos a serem tomados para reduzir as deformações na estrutura, serão apresentados alguns itens subsequentes de cuidados básicos reduzindo os possíveis problemas. (ABNT NBR 6118. 2014, Zucchi 2015, Santos 2007, Thomaz 1989 e Gonçalves 2015).

O capítulo 9 finaliza trazendo as conclusões para análise dos dados pesquisados com o intuito de aumentar o conhecimento nas causas, prevenções e recuperação de fissuras e trincas em viga de concreto armado, também serve como sugestões para pesquisas futuras.

2.1 METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado é uma revisão bibliográfica, que analisa o que já foi elaborado por outros pesquisadores. O estudo da literatura auxilia para a definição desse artigo, com o intuito de abordar as Fissuras e trincas em vigas de concreto armado, observando as causas, prevenção e recuperação da mesma. A metodologia desenvolvida relata os fatos gerados dessa patologia, facilitando o conhecimento em pesquisas futuras, ressaltando conceitos, resultados, discussões, procedimentos e conclusões significativas. Desta maneira, o trabalho apresentado impulsionará a aquisição e amadurecimento na área de estudo.

2.2 CONCEITO DE PATOLOGIAS DAS ESTRUTURAS

Desde o início da era da industrialização, segundo Souza (1998), a sociedade vem se aprimorando na construção civil e formando profissionais capacitados com grande conhecimento científico adquirido ao longo do tempo, sendo assim, permitindo a desenvolver cada vez mais a tecnologia na construção, conseguindo se adequar as suas exigências, sejam elas habitacionais (casas e edifícios), laborais (escritórios, comércios, galpões, etc.), ou de infraestrutura (pontes, barragens, etc.).

O grande avanço no mercado de trabalho da construção civil pode provocar, assim a necessidade de inovações e aceitação implícita de maiores riscos. Quando acontece a conscientização e aceitação desses riscos das mais diversas formas, a evolução do desenvolvimento e aperfeiçoamento tecnológico aconteceu naturalmente.

Apesar desse aperfeiçoamento no conhecimento de verificação dos erros acontecidos, que tem como resultado em decomposição precoce ou em acidentes. Existem ainda algumas limitações no estudo tecnológico e científico sendo inevitáveis a falhas arbitrárias e casos de imperícia, sendo assim, tem

como resultado inferior, comparado com as finalidades com as quais se propunham.

Essa agregação de fatos é conhecida como “deterioração estrutural” são as mais diversas: desgaste “natural” da estrutura, a negligências de alguns profissionais que aplicam materiais fora das orientações, como justificativa a dificuldade econômica e exigência do empregador ou até mesmo os acidentes de trabalho. A quantidade de problemas causa uma grande preocupação, embora se possa de mostrar que certos problemas tenham sido criados pelo ato de construir, é certo dizer que no início das primeiras construções tais quesitos eram limitados a alguns problemas provocados.

Essa nova estratégia de desenvolvimento aponta um novo campo na Engenharia Civil, cujo intuito é abordar, de maneira científica, o desempenho e os problemas das estruturas. Designa-se gerencialmente por Patologia Das Estruturas tem como os estudos e conhecimento das origens, formas de exteriorização, consequências e mecanismo de incidente das falhas e envelhecimento das estruturas.

A patologia das Estruturas é uma pesquisa detalhada dos casos patológicos, ou seja, ela informa as anomalias, ajuda no projeto de execução e abordagem das estruturas a serem construídas, mas de uma forma que o conhecimento nessa área tão ampla é pouco estudado, porém podem ser aperfeiçoadas.

2.3 DEFINIÇÃO DE FISSURAS, TRINCAS E RACHADURAS

Uma das principais causas de manifestações patológicas em vigas do concreto armado é a falha no dimensionamento das estruturas, sendo assim como consequência ocorre trincas, fissuras e rachaduras, facilitando a entrada de agentes agressivos à estrutura. Essa manifestação patológica pode aparecer depois de horas, dias ou até mesmo anos nas edificações. Há inúmeras causas

com uma identificação árdua. O posicionamento, o sentido e a magnitude das fissuras consegue identificar sua origem. A diferença entre elas são:

a) **Fissuras:** Abertura fina superficial e alongada com espessura até 1 mm (atinge a massa corrida, pintura), não é perigosa.

b) **Trincas:** Abertura com magnitude mais profunda e acentuada com a espessura de 1 a 3mm, afetando os elementos estruturais e conseqüentemente ocorrendo à ruptura de elemento.

c) **Rachadura:** Essa abertura requer imediata atenção, ela é grande, profunda e acentuada, com espessura acima de 3 mm. Capaz de passar água, vento e luz

2.4 POR QUE O CONCRETO ATUAL FISSURA MAIS DO QUE O CONCRETO DE ANTIGAMENTE?

No concreto atual, mesmo em meio a tantas tecnologias as fissuras e trincas são causadas com um número de repetição maior devido a uma nova fusão dos materiais de composição, prejudicando assim a sua qualidade e durabilidade na construção civil, correndo o risco de um colapso. Segundo Andrade (2016), o cimento por sua vez, tem uma composição básica com silicato tri cálcico, ferro aluminato tetra cálcico, Aluminato tri cálcico, e silicato de cálcico (fora outros elementos) sendo que por causa da necessidade de aceleração do processo de execução da obra, houve uma mudança na composição do cimento que gerou alguns problemas patológicos. Antigamente nas décadas entre 30 e 40 usava-se 70% de silicato tri cálcico e silicato cálcico, sendo que a grande maioria de era de silicato de cálcico que tem um menor calor de hidratação que gerava menos dilatação, retraindo menos e com isso menor a probabilidade de fissuras e trincas. Atualmente com a inversão desses valores, é colocado maior valor de silicato tri cálcico que por sua vez tem um calor de hidratação maior comparado ao do silicato de cálcico, que quando lançado na estrutura tem uma maior dilatação e quando se esfria tem uma maior retração, gerando esforços e

trincas, e com isso surge um dos princípios básicos e ligação direta com essa patologia.

2.5 AS PRINCIPAIS CAUSAS DE FISSURAS E TRINCAS

Mesmo se a execução do concreto for feita de aspecto eficaz, com prioridade, obedecendo as normas vigentes, não significa que não haverá trincas nas peças, pois inevitavelmente toda peça de concreto tem pequenas fissuras ou trincas, sendo elas a mais comuns é a que chama atenção entre os leigos, proprietários e usuários, considerando o fato de que alguma coisa está errada, valendo ressaltar que, em alguns casos não significa que essa patologia tenha afetado a resistência das peças. Entre tantas causas para essas manifestações patológica, as mais comuns serão descritas a seguir:

2.5.1 Causas naturais

Compreende-se que as causas naturais são aquelas que estão ligadas a essência do material concreto, a sua vulnerabilidade ao meio ambiente e aos esforços solicitantes, sendo assim, livre de falhas humana ou qualquer tipo de tecnologias e equipamentos, sendo as mais comuns:

- Agressividade ambiental: De acordo com a norma NBR 6118 6.4.1 (2014)

“A agressividade do meio ambiente está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas de concreto, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas de concreto”. (Norma NBR 6118 6.4.1 ,2014)

A tabela a seguir apresenta a classificação simplificada sobre a agressividade ambiental, segundo as condições a exposição da estrutura ou de suas partes:

Tabela 1- Classes de agressividade ambiental

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

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

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

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

Fonte: NBR 6118

- Alterações das condições do terreno de fundação: A alteração do nível do lençol freático influencia na redução da capacidade de coesão do solo e a fuga de finos, ou seja, conseqüentemente resultam em recalques de fundação causando a abertura de trincas nas vigas de concreto armado.

- Lixiviação: O lixiviado é gerado pela umidade natural, que ocorre quando a estrutura de concreto entra em contato com a água através de infiltrações. Na fase de hidratação do mesmo, o composto chamado de hidróxido de cálcio é formado, sendo assim, através das infiltrações esse composto é dissolvido e levado para a superfície, quando ocorre em pequena quantidade, causa danificação estética na peça, mas quando o processo de lixiviação progride, a estrutura fica submetida a intempéries auxiliando no processo de carbonatação do concreto, que resulta em trincas facilitando o ataque de cloreto

presente na atmosfera, e conseqüentemente resultam em corrosão das armaduras além de alterar a resistência mecânica do material.

2.5.2 Erro de projeto

Podem ocorrer pela falta de profissionais responsáveis e capacitados ou falta de detalhamento do projeto para execução da obra facilitando a leitura e entendimento. Atualmente as tecnologias tem evoluído de forma assustadora e o uso de softwares para cálculos estruturais, das quais os profissionais com pouco tempo de experiência podem ter como resultados erro de cálculos devido à colocação de informações incorretas no sistema.

2.5.3 Erro de execução

Acontece quando a negligência do responsável no acompanhamento da execução da obra e falta de conhecimento técnico necessário da mão de obra.

Segundo Santos (2007), os procedimentos inadequados para esse erro são;

- a) A retirada do escoramento e desforma sem que ele atingisse sua resistência mínima;
- b) Juntas de concretagem maltratadas, com falhas ou material desagregado;
- c) Cobrimento desrespeitado por má colocação, das armaduras-ocorrência frequente em lajes;
- d) Ajustes feitos no canteiro de detalhes mal elaborados no projeto, conduzindo a soluções também inadequadas. Nestes casos, salvo o engenheiro qualificado para efetuar mudanças no projeto, elas devem ser solicitadas ao autor;
- e) Montagem deficiente das fôrmas, deixando desníveis ou vazios entre as pranchas de madeira, o que prejudica a colocação do concreto, sua vibração e, por consequência sua qualidade e capacidade de proteger a armadura;
- f) Uso de revestimento de fachadas de materiais de baixa qualidade, inadequados ou mal aplicados, permitem a infiltração de

umidade e outros agentes agressivos comprometedores da durabilidade das estruturas;

g) Impermeabilização deficiente, ou mesmo falta da mesma na alvenaria de embasamento, floreiras e áreas molhadas como em prédios e sobrados;

h) Chumbamento descuidado de elementos metálicos da estrutura, pelos quais se inicia o processo de corrosão, e que acaba atacando as armaduras;

i) Uso de materiais inadequados na mistura do concreto ou dos revestimentos que lhe são aplicados. Neste caso, a colocação de aditivos de qualquer tipo deve ser feita levando-se em conta também os efeitos colaterais sobre a estrutura. Não se pode empregar produtos que, pelo alto teor de elementos tais como sulfatos ou cloretos, venham produzir em longo prazo um efeito danoso, apesar de todos os benefícios que possam ter no momento de sua aplicação, o rigoroso controle dos materiais deve ser feito sempre. Adição de água acima do especificado no traço do concreto, com o aumento da relação água / cimento diminui a resistência do mesmo consideravelmente. (SANTOS, 2007)

2.5.4 Falhas de materiais

Em algumas ocasiões opta-se por materiais de valor baixo e como consequência pouca qualidade. É importante saber a origem desse material, fazer uma avaliação física e química do mesmo. Essa falha de material está relacionada à execução, pois um material de boa qualidade nas mãos de um profissional desqualificado ou um material de baixa qualidade nas mãos de um profissional treinado com uma boa experiência resulta em patologias futuras. Por isso é de extrema importância usar materiais de boa qualidade e contratar profissionais qualificados para a execução.

2.5.5 Utilização da obra

Santos (2007), afirma que é comum os proprietários e moradores dos imóveis ao longo do tempo queiram realizar algumas alterações na estrutura. Isso resulta em alterações e gera um aumento nas cargas permanentes. Os cálculos para essas alterações geralmente não são feitos de maneira correta

muitas vezes por falta de conhecimento e capacidade do profissional ou até mesmo por falha nas informações do projeto original, ou seja, os resultados são flechas e rotações excessivas, isso implica nas formações de fissuras pelo aumento de tensão na armadura de tração, entre outros aspectos.

2.5.6 Fissuras causadas por variação de temperatura

Outro motivo pelo qual apontaremos é por sua vez causadas por movimentações térmicas, que nada mais é do que uma variação de temperatura na cura do concreto relativamente brusco passando de temperaturas de 50° a 60°C até a temperatura ambiente que tem como consequência uma contração térmica causando fissuras.

Essa situação abordada acima, tem como resultado, uma menor resistência no material. Thomaz (1989), afirma que o problema é mais grave em peças esbeltas e longas, não armadas, como no caso de paredes monolíticas constituídas por concreto auto adensável (sistema Outinord, precise, etc.). Todo material usado na construção civil apresenta uma dilatação com a variação e aumento da temperatura ambiente, quando dois materiais possuem coeficientes diferentes, como consequência provoca tensões na junta de materiais que resulta em fissuras e trincas, prejudicando a resistência da junta. A intensidade dessa temperatura varia de material para material, considerando as movimentações térmicas que são iguais em qualquer direção. Sabendo que a exposição à radiação solar é a principal fonte de calor dessa variação térmica. Essa combinação é estabelecida através dos seguintes fatores:

- a) A magnitude da radiação solar (Direta e difusa)
- b) Quando essa radiação solar é absorvida ocorre um aumento na temperatura superficial bem maior que a temperatura ambiente. A superfície de cores mais escuras gera um calor e um coeficiente de absorção a radiação maior que as de cores claras.
- c) A radiância da superfície da peça é de extrema importância nas coberturas, esse fator de reirradiação é composta por raios infravermelhos de ondas contínuas fora da faixa espectral de fácil visualização, essa por sua vez tem um efeito resfriativo nas coberturas, sendo assim, á noite, sobretudo nas de céu claro a temperatura tem

um efeito negativo menor que a temperatura ambiente gerando uma condensação de vapor d'água nas superfícies das mesmas.

d) A variação gerada por essa troca de calor em uma superfície exposta à temperatura e o ar ambiente em conjunto com outras condições (viscosidade da superfície, a aceleração do ar, a localização geográfica do edifício, etc). As atuações desses fatores são chamadas de: Coeficiente de condutância térmica superficial.

e) Sendo de extrema importância as características térmicas; calor específico, massa específica aparente e coeficiente de condutibilidade térmica. (THOMAZ, 1989)

Para avaliar as movimentações sofridas por um componente, deve-se conhecer qual a suas características físicas e quais são as etapas da temperatura que esteve submetido. Em alguns casos precisa-se considerar os níveis extremos de temperatura dessas etapas em outros casos vale ressaltar a agilidade da ocorrência de variação da temperatura como exemplos selantes que por sua vez possui uma capacidade baixa de acomodação a movimentos bruscos.

Um das soluções para essa manifestação patológica causada pela variação de temperatura é a proteção térmica propicia nos primeiros dias de cura, esse método impede o resfriamento acelerado do concreto, diminuindo as tensões nele sofridas.

2.5.7 Fissuras causadas pela atuação de sobrecarga

Thomaz (1989), afirma que a sobrecarga é uma das principais causas responsáveis pela fissuração em componentes estruturais, sendo elas, paredes, vigas e pilares. Esse fato é causado por um erro de execução na peça estrutural ou erro de cálculo, tendo como falha uma carga superior à prevista. Vale ressaltar que em alguns casos a sobrecarga atua em peças sem função estrutural, ocorre pela sua deformação resistente do edifício ou pela sua utilização inadequada.

Consideramos a sobrecarga uma solicitação externa prevista ou não em um projeto, sedo assim, temos como consequência à fissuração em

componentes estruturais com ou sem função. Nesse aspecto apontaremos apenas as sobrecargas verticais.

2.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE A FISSURAÇÃO DE COMPONENTES DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDOS À FLEXÃO

Essa manifestação patológica fissuração em componentes do concreto armado mesmo sendo previstas ou não em uma execução de projeto estrutural provocadas pela sobrecarga da mesma, nem sempre tem como consequência a instabilidade da estrutura ou ruptura da peça; a fissuração em um determinado componente tem como resultado a distribuição de tensões ao longo da peça fissurada e nos componentes vizinhos, sendo assim, a solicitação externa é absorvida e generalizada pela estrutura ou apenas parte dela. Em alguns casos a uma limitação na redistribuição das tensões, sendo pelo dimensionamento da componente, a magnitude das tensões envolvidas ou pela reação conjunta do sistema estrutural adotado.

As peças fletidas muitas vezes implica o dimensionamento levando em consideração essa patologia de fissuração do concreto localizado na região tracionada do componente, procura-se limitar essas fissuras em função de deformação, condições estéticas e estabilidade da estrutura. De acordo com Thomaz (1989), “a solicitação resistente com a qual haverá uma grande probabilidade de iniciar-se a formação de fissuras normais à armadura longitudinal poderá ser calculada com as seguintes hipóteses”:

- a) A deformação de ruptura à tração do concreto é igual a $2,7F_{tk}/E_c$ (F_{tk} = resistência característica do concreto à tração; E_c = módulo de deformação longitudinal do concreto a compressão);
- b) Na flexão, o diagrama de tensões de compressão no concreto é triangular (regime elástico); a tensão na zona tracionada é uniforme e igual a F_{tk} , multiplicando-se a deformação da ruptura especificada na alínea anterior por 1,5;
- c) As seções transversais planas permanecem planas; Deverá sempre considerar o efeito da retração. Como simplificação, nas condições correntes, este efeito poderá ser considerado supondo – se a tensão de tração igual a $0,75F_{tk}$ e desprezando – se a armadura. (THOMAZ, 1989)

Tem-se observado na execução, esse conceito, é propício a segurança, por essa razão à fissuração da peça se inicia quando a tensão é maior que a prevista. Ainda Thomaz (1989), a fissuração é fatal em elementos do concreto armado (considerando a eventualidade de corrosão da armadura), no momento em que a magnitude das fissuras na superfície do concreto for superior aos seus respectivos valores:

- a) 0,1mm para componentes não protegidas, em meio agressivo;
- b) 0,2 mm para componentes não protegidas, em meio não agressivo;
- c) 0,3mm para componentes protegidas. (THOMAZ,1989)

Thomaz (1989) aponta uma possível probabilidade que essas fissuras sejam atingidas quando se analisa, juntamente, com as seguintes desigualdades:

Equação 1:

$$\frac{\emptyset}{2\eta_b - 0,75} \frac{\sigma_s}{E_s} \left(\frac{4}{\rho_r} + 45 \right) >$$

1 p/ a alínea a
2 p/ a alínea b
3 p/ a alínea c

$$\frac{\emptyset}{2\eta_b - 0,75} \frac{\sigma_s}{E_s} \frac{3\sigma_s}{f_{tk}} >$$

1 p/ a alínea a
2 p/ a alínea b
3 p/ a alínea c

Onde:

σ_s =tensão na armadura;

\varnothing = diâmetro das barras (mm);

ρ_r = taxa geométrica da armadura na seção transversal do concreto A_{cr} ,
interessada pela fissuração ($\rho_r = A_s / A_{cr}$);

η_b = coeficiente de conformação superficial das barras da armadura
suposto igual a 1 para barras lisas (coeficiente de aderência);

f_{tk} = resistência característica do concreto à tração;

E_c = módulo de deformação longitudinal do aço;

Considerando as tensões de serviço, os módulos de deformação longitudinal do aço e do concreto, o coeficiente de conformação superficial das barras de aço e diversas outras características geométricas (diâmetro das barras tracionadas, cobrimento da armadura, taxa geométrica da armadura, etc.) foram desenvolvidas diversas teoria com a finalidade de prever- se o espaçamento médio das fissuras entre suas aberturas mais prováveis em componentes de concreto armado submetidos à flexão ou a tração pura; essas formulações teóricas, associadas a coeficiente empiricamente determinados e a fatores probabilísticos, conduzem a estimativas bastante precisas do nível de fissuramento das peças.

2.6.1 Flexão de vigas

Sobre a pesquisa de Thomaz (1989), os esforços em uma viga isostática submetida à flexão desenvolvem-se segundo esquema seguinte.

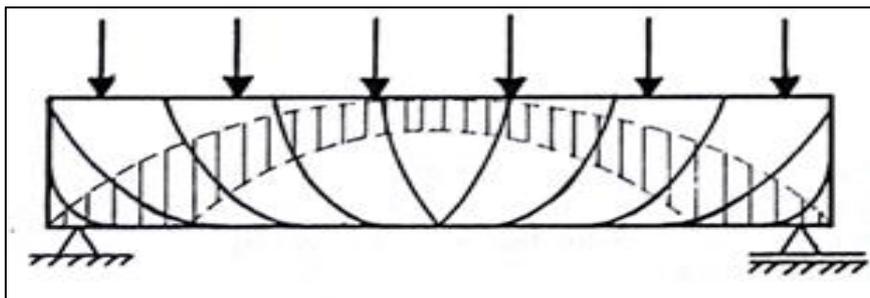


Figura 1- Viga isostática submetida à flexão.

Fonte: Thomaz (1989).

----- arco de compressão

_____ isostáticas de tração

As fissuras normalmente acontecem no decorrer dos esforços centrais de tração aproximadamente na posição vertical, no terço médio do vão apontam aberturas maiores em direção a face inferior da viga localizada na fibra mais tracionadas. Nos apoios as fissuras indicam uma inclinação de 45° na horizontal, sendo necessário a influência de esforços cortantes. (Veja na figura 2). Para vigas altas essa inclinação tende a ser da ordem de 60° .

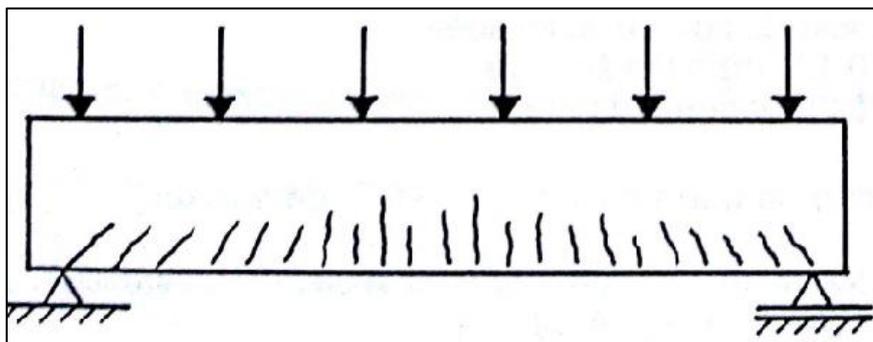


Figura 2- Fissuração típica em viga subarmada solicitada à flexão.

Fonte: Thomaz (1989)

No caso de vigas altas, a fissura subdivide em direção as fibras mais tracionadas, sendo assim, nesse local acontece uma redistribuição de tensão, correspondente a presença de armadura, e como consequência as fissuras são subdivididas em uma quantidade alta, mas com abertura reduzida.

Já nas vigas super armadas, desenvolvidas com concreto de uma resistência inferior, surgem trincas nos locais mais comprimidos da viga, apresenta-se como característica o esmagamento da viga.

Nas estruturas de concreto armado, as fissuras existentes nas margens tracionadas de vigas fletidas, tem como dificuldade de percepção a olho nu. Mas em alguns casos incomuns podem ser percebidas ou até fotografadas, isso ocorre quando à falha na construção da viga (erro na bitola, na quantidade de barras de aço), mau uso da construção (erro de projeto com o aumento de sobrecarga não prevista) e carregamento antecipado da estrutura.



Figura 3- Esforço de tração causados pela flexão.

Fonte: Trincas e Fissuras (2015)

2.6.2 Fissuras devido ao cisalhamento

Fissuras devido ao cisalhamento ocorre quando o ponto de cortante máximo é característico nas vigas insatisfatoriamente armadas, excesso de carga ou até mesmo na ancoragem das armaduras pode-se aparecer fissuras com inclinação próximo aos apoios. A posição, número, dilatação e magnitude das fissuras depende da descrição geométrica da peça, dos traços físicos e mecânicos dos materiais que a constituem e do estágio de solicitação da carga. (Figura 4).

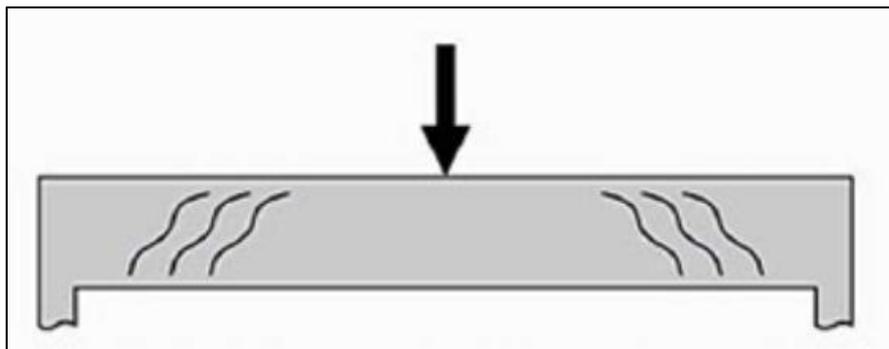


Figura 4- Fissuras de cisalhamento em vigas solicitadas à flexão.

Fonte: Gonçalves (2015).

Para evitar essas fissuras e trincas mantendo as cargas existentes utiliza-se a estratégia de reforço estrutural, obtendo uma redução de sobrecarga e as condições atuais da estrutura.



Figura 5- Trincas causadas pela tensão de cisalhamento.

Fonte: Guerra (2010)

2.6.3 Torção de Vigas

As trincas provocadas devido à torção geralmente aparecem nas bordas, por vigas que são submetidos a esforços de rotação na seção transversal, motivo pelo qual a uma carga excêntrica ou recalques irregulares das fundações. Em alguns casos ocorre quando as vigas nas quais engastam marquises ou que não estejam armadas de forma correta à torção.

Esse tipo de trinca raramente ocorre em peças de concreto armado, é identificada pela sua inclinação aproximadamente a 45° aparecem nas duas superfícies laterais na forma de seguimento de retas reversas.

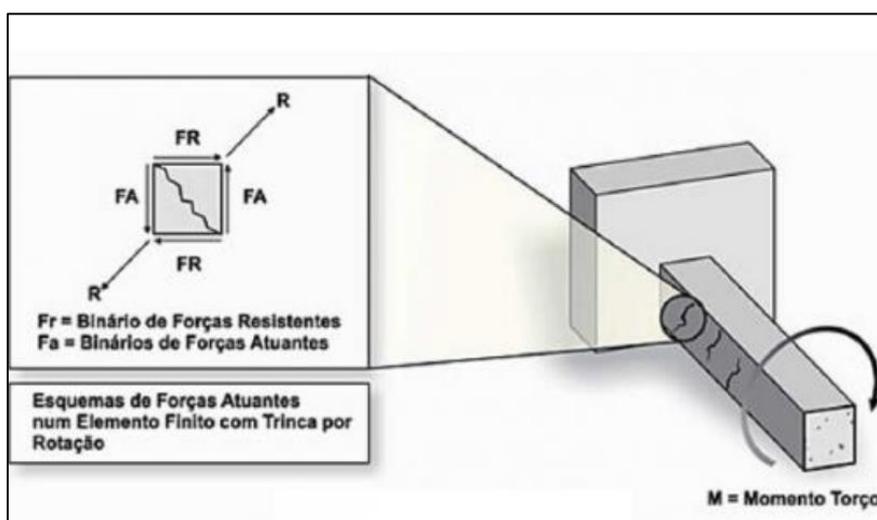


Figura 6- Fissura devido à torção.

Fonte: Marcelli (2007)

2.6.4 Fissuras devido a retração hidráulica

As fissuras e trincas causadas por retração hidráulica são provenientes a uma cura malfeita do concreto, isso acontece quando há perda de água na peça,

temperatura elevada na hidratação do mesmo ou uma falta de proteção térmica no elemento estrutural, e conseqüentemente reproduz-se uma tensão interna, ocasionando retração tendo como resultado esforços de tração. O concreto não suporta esses tipos de esforços, com isso apresenta fissuras sem direção ao longo do tempo, como mostra a figura a seguir:

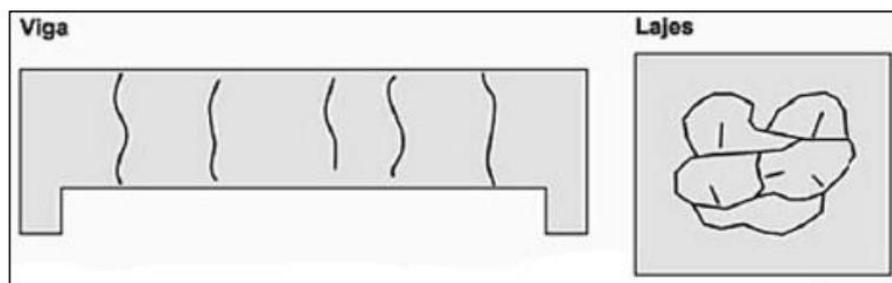


Figura 7- Fissura do concreto por retração hidráulica.

Fonte: Gonçalves (2015)

A prevenção de fissuras e trincas na retração hidráulica podem ser evitadas desde a execução, através de uma cura apropriada feita de maneira correta. Mas se o problema for apresentado com o passar do tempo, deve ser feito a selagem, com a finalidade de proteção da ferragem contra entrada de agentes externos que possam infiltrar por meio de fissuras e trincas.

2.6.5 Corrosão das armaduras

Nas peças em que o aço está em um processo de corrosão, acontece um aumento do volume na parte afetada da armadura, gerando tensões de tração e como consequência o concreto não resiste provocando fissuras localizadas perto da superfície. Quando isso ocorre os agentes agressivos penetram com mais facilidade na armadura acelerando o processo de corrosão e com o passar do tempo resulta em deslaqueamento do concreto.

As fissuras e trincas causadas pela corrosão de armaduras são as mais comuns em edificações e precisa ter uma atenção especial para tomar as medidas necessárias de identificar, diagnosticar e recuperar. Isso ocorre quando há uma execução de má qualidade, concreto com baixa resistência, ambientes agressivos, proteção inadequada, ausência de manutenção e inexistência de cloreto.

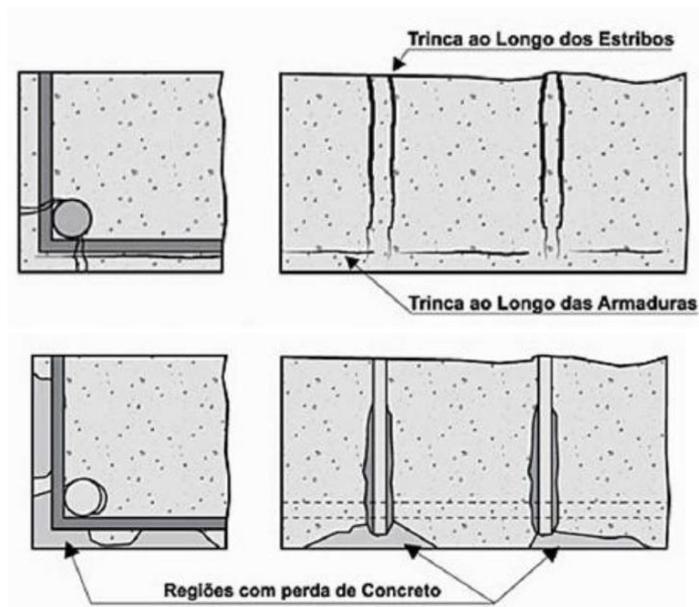


Figura 8- Fissura devido à corrosão das armaduras.

Fonte: Marcelli (2007)

Na maioria dos casos se inicia por meio externo, assim sendo, precisa de cuidados para que essas fissuras não se agravem, por isso deve-se tomar medidas necessárias para proteger essa armadura. Há uma variação entre essa agressividade dependendo do ambiente em que esse elemento estrutural está exposto. De acordo com a norma NBR 6118 (2014), estabelece níveis aceitáveis entre a espessura dessas fissuras como:

- a) 0,1mm para peças não protegidas em meio agressivo;
- b) 0,2mm para peças não protegidas em meio não agressivo;
- c) 0,3mm para peças protegidas. (NBR 6118,2014)

É de extrema importância ressaltar que a corrosão é um processo evolutivo que com o passar do tempo vai se agravando. Embora existam estimativas de aberturas e fissuras feitas, é recomendado a respeitar esses limites, para que as fissuras reais não correspondam estritamente os valores estimados, ou seja, fissuras reais conseguem eventualmente exceder esses limites colocando em risco a segurança da estrutura.

2.7 COMO DIAGNOSTICAR FISSURAS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

O diagnóstico das patologias e o conhecimento das causas do mesmo é fundamental para tomar as medidas adequadas de recuperação. Em alguns casos os problemas não são fáceis de detectar necessitando um trabalho investigativo mais complexo. Logo a seguir apontaremos a maneira mais comum de diagnosticar fissuras vistas e não vistas a olho nu.

2.7.1 Raios infravermelhos

As manifestações patológicas podem manifestar durante a execução da obra ou durante a sua utilização. Nesse caso citado anteriormente usa a tecnologia para identificação de fissuras e trincas que podem não ser vistas, ou seja, ocultas na edificação estudada. As técnicas e estudos apontados nessa área teve um crescimento nos últimos anos, e entre elas estão a termográfica que é usada para detectar a radiação infravermelha na peça que está sendo analisada, tendo em vista, na forma de imagens com diferentes variações de temperatura. A necessidade de detectar essas manifestações patológicas de forma rápida e precisa evitando problemas futuros é muito importante. As atuações corretivas devem ser exercidas assim que as manifestações patológicas aparecerem garantindo a capacidade funcional durante a vida útil para o qual foram projetadas.

Nascimento (2014), a termografia é um ensaio não destrutivo que capta através de uma câmera termográfica (Figura 9) a radiação infravermelha emitida pelo objeto analisado essa radiação tem uma variação de acordo com a emissividade e temperatura no qual o corpo está sujeito, de forma que o crescimento da mesma era proporcional à temperatura. Na câmera irá ocorrer à conversão para o sinal elétrico, e transformação de comprimentos de onda infravermelho para comprimentos de espectro visível ao olho humano, de forma que em seguida são produzidas as imagens com valores de temperatura. O ensaio é descrito pela norma europeia: EN 131887: 1998 – Desempenho térmico de edificações – Detecção qualitativa de irregularidades térmicas em edifícios- Método infravermelho.



Figura 9- Exemplo de câmera termográfica.

Fonte: Nascimento (2014)

Através dessa técnica é possível identificar as anomalias em diferentes temperaturas, e não terá como resultado uma corrente de calor semelhante nessa área. Ainda sobre a pesquisa de Nascimento (2014), deve haver um diferencial térmico entre o alvo e o meio para que seja constatada a diferença entre ambos. Porém existem três técnicas importantes que deve ter maior atenção na hora de fazer o ensaio com os termogramas:

- a) Condições térmicas do objeto e do ambiente, antes e durante o ensaio;
- b) Presença de fontes externas (superfície com diferentes acabamentos, sombras entre outras);
- c) Condições de medição (emissividade adotada, distância entre a câmera e o objeto avaliado, etc.). (NASCIMENTO,2014)

Foi feito um uma avaliação de alguns edifícios entre eles dois em específico:

- Edificação A: residencial, 4 pavimentos, ainda em fase de construção, estrutura com paredes de concreto, fck de 30 MPA e cobrimento médio de 3 cm.
- Edificação B: comercial, galpão com 8m de pé direito, 10 anos de idade, estrutura pré-moldada, fck desconhecido, cobrimento médio de 2,5 cm em fachada de concreto e blocos de concreto. (MASCIMENTO,2014)

Esse análise foi realizado em horários diferentes do dia, com o propósito de identificar infiltrações não visíveis a olho nu e fissuras identificando suas causas. A metodologia utilizada pelo engenheiro Nascimento (2014), foi utilizada um estudo de imagens aéreas obtida através da câmera termográfica e a câmera Grop (ambas acoplada ao drone) essas fotos foram tiradas em alta resolução.

Exemplos Práticos:

- Edificação A:

Os ensaios foram realizados às 10 horas no período da manhã, em um dia ensolarado, por sua vez foi reforçado à metodologia na estrutura com presença de água. Desta forma as infiltrações ficaram claras, tanto nas fissuras de espessuras maiores quanto nas de espessuras menores, na figura abaixo mostram duas regiões que foram identificadas essas manifestações patológicas.

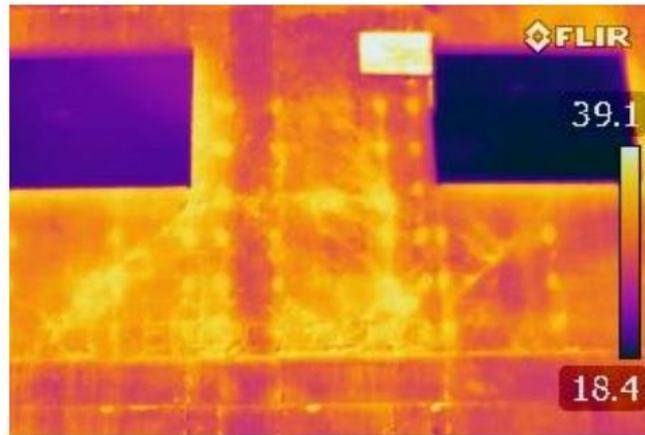


Figura 10-Região 1: Ensaio sem presença de água.

Fonte: Nascimento (2014)

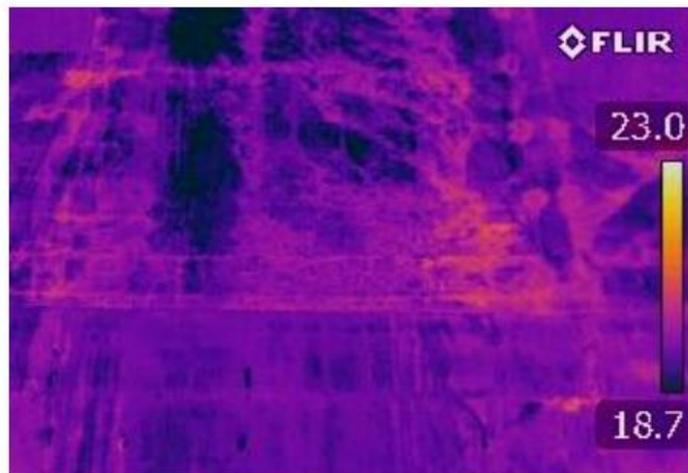


Figura 11- Região 1: Ensaio com presença de água.

Fonte: Nascimento (2014)



Figura 12- Região 1; imagem obtida com GoPro.

Fonte: Nascimento (2014)

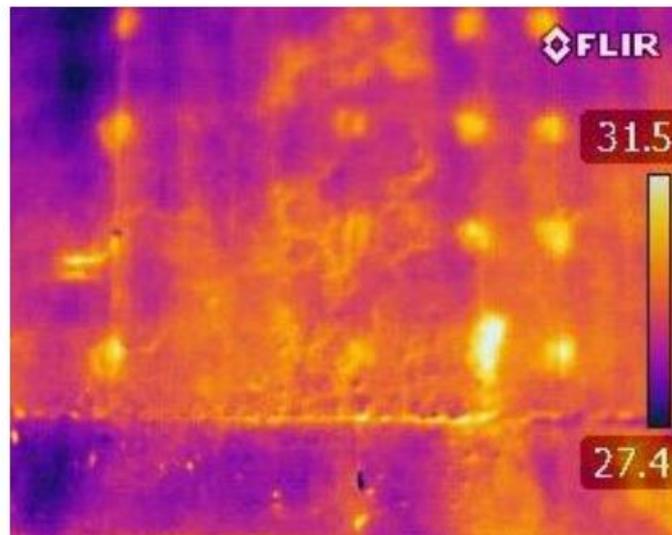


Figura 13- Região 2: Ensaio sem presença de água.

Fonte: Nascimento (2014)

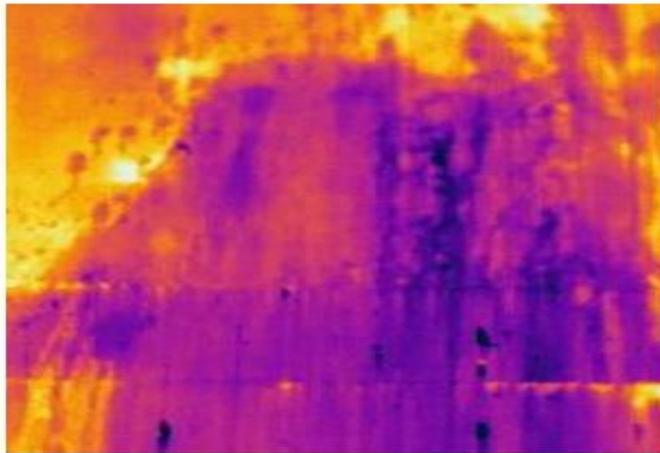


Figura 14-Região 2: Ensaio com presença de água.

Fonte: Nascimento (2014)

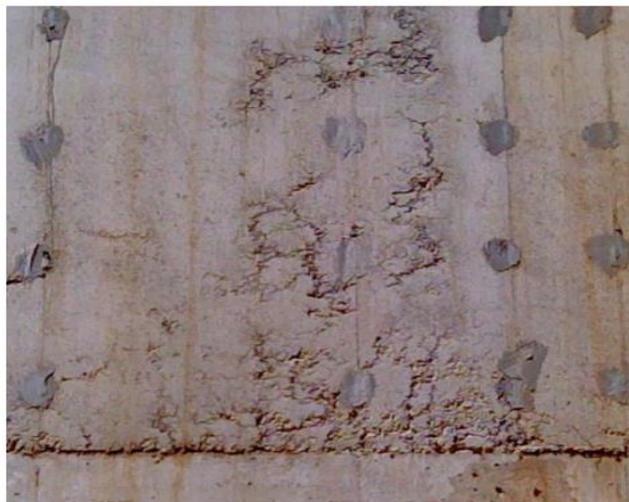


Figura 15- Região 2: Imagem obtida com GoPro.

Fonte: Nascimento (2014)

Nestes casos as anomalias ocorreram nas regiões de interface de forma no arranque para o próximo pavimento. Esses tipos de fissuras indicam falta de adensamento no concreto e limpeza das formas, assim o concreto encontra dificuldades em penetrar nas zonas entre as formas e ferragem, e isso resulta

em regiões com falta de preenchimento e como consequência resulta no aparecimento de fissuras.

Edificação B:

Ainda sobre os ensaios realizados, pelo engenheiro Nascimento (2014), a edificação B foi analisada às 7 horas no período da manhã, em uma região da edificação sem incidência direta de raios solares. As fissuras podem ser identificadas claramente, e através da comparação das imagens com e sem presença de água nota-se que as ferragens estão aparentes (Figura 16), já na Figura 17 a presença de água é indicada pelas manchas mais escuras que revelam infiltrações nessas regiões.

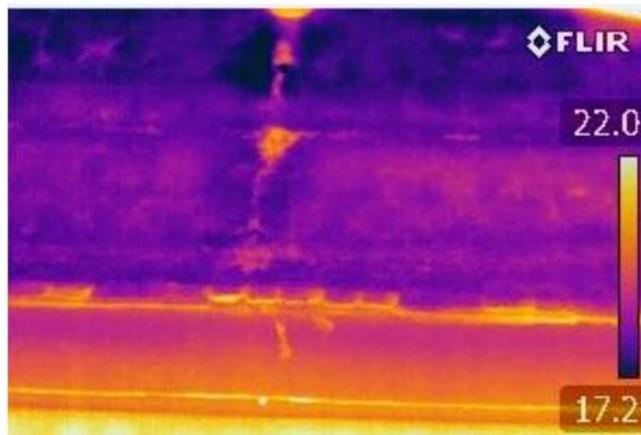


Figura 16-Ensaio com a presença de água.

Fonte: Nascimento (2014)

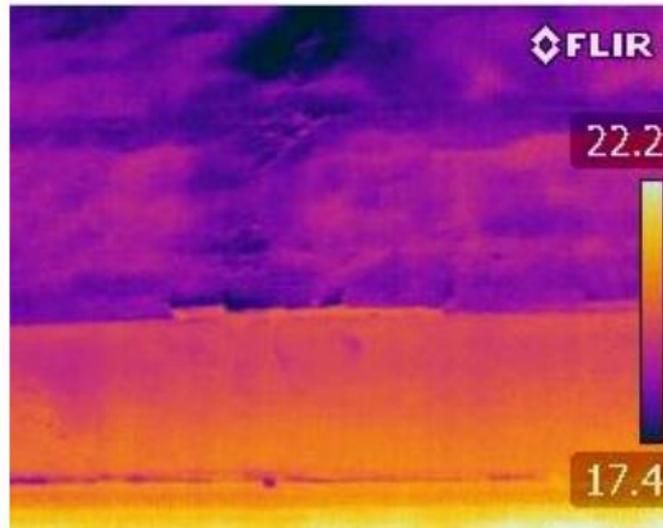


Figura 17-Ensaio sem a presença de água.

Fonte: Nascimento (2014)

De acordo com a próxima imagem (Figura 18) ocorreram três tipos de fissuras para essa edificação. No caso 1 as trincas ocorreram pela atração térmica, já no caso 2, ela se deu na região de interface entre vigas e blocos de concreto que trabalham de forma diferente (caracterizado pela trinca rente a viga de concreto), e no caso 3 as fissuras ocorrem pela corrosão das ferragens, como consequência houve um deslocamento de partes da estrutura.

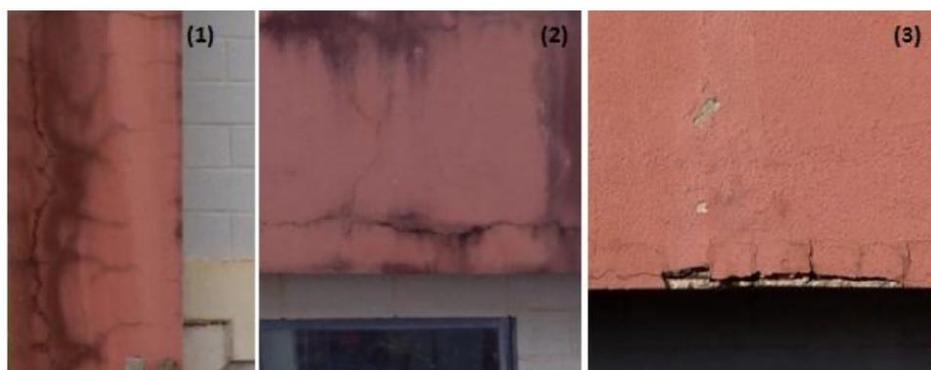


Figura 18-Fissuras encontradas na edificação B.

Fonte: Nascimento (2014)

A metodologia descrita anteriormente mostra-se que a termografia agregada ao drone, possibilita maior agilidade e precisão da identificação das manifestações patológicas na edificação, abrangendo maior visualização em diferentes pontos da área estudada. A técnica é de uma excelente forma de identificação da patologia, sejam elas visíveis ou ocultas.

2.8 PREVENÇÃO E RECUPERAÇÃO DE FISSURAS E TRINCAS NAS VIGAS DE CONCRETO ARMADO

A prevenção e recuperação das fissuras e trincas nas vigas de concreto armado está ligada diretamente as regras de um bom planejamento, um bom projeto e uma boa execução, ou seja, é de extrema importância conhecer como os materiais são estocados e manuseados para uma boa qualidade do mesmo, valendo ressaltar a importância de acompanhar a execução para um resultado satisfatório e a utilização juntamente com a manutenção nos edifícios.

Assim sendo, é necessário conhecer as causas dessa manifestação patológica, para que as medidas a serem tomadas sejam de maneira eficiente que resultem na recuperação do problema. Essas medidas de recuperação são exageradamente caras, na maioria das vezes incompatíveis com as condições financeiras dos consumidores da edificação. Há inúmeros métodos a serem

tomados para reduzir as deformações na estrutura, logo a seguir serão apresentados alguns itens subsequentes de cuidados básicos reduzindo os possíveis problemas.

2.8.1 AMPLIAR A ALTURA DA VIGA

Sempre que há um aumento na altura das peças estruturais, conseqüentemente haverá uma redução nas deformações, ainda que não exista essa possibilidade em alguns casos devido a projetos arquitetônicos ou interferências nas instalações.

2.8.2 AMPLIAÇÃO NA LARGURA DAS VIGAS

Em alguns casos específicos não é possível aumentar a largura das vigas; contudo podem ser feitas mais largas, dessa forma haverá uma redução nas flechas no (Estádio I), mas tem uma ajuda insuficiente ou inexistente em vigas T, na condição de (Estádio III) a redução de deformação é baixa.

2.8.3 AMPLIAR A ARMADURA DE TRAÇÃO

A ampliação da armadura de tração, mesmo não sendo necessário devido a segurança do ELU (Estado Limite Último), consegue ter uma redução significativa nas deformações das vigas fissuradas. Em vigas de concreto armado com uma quantidade baixa de armadura e pequena rigidez no Estádio

III, essa opção é bem satisfatória, no caso de peças no Estádio I, tem como consequência resultados não significativos.

2.8.4 AMPLIAR A ARMADURA DE COMPRESSÃO

A ampliação da armadura de compressão não reduz as deformações imediata, mas diminui em até 50% no aumento das deformações com o tempo, resultante da retração e da fluência. O aumento da flecha ao decorrer do tempo está ligado a dois fatores importantes: a fluência (deformação lenta) e a retração diferencial. Para um resultado satisfatório é necessário aplicar esta ampliação de armadura de compressão em vigas altas do que em vigas chatas, isso ocorre em razão da linha neutra estar próxima a armadura de compressão, como consequência o efeito é insuficiente.

2.8.5 ALTERAR A GEOMETRIA DAS ESTRUTURAS

Para o enrijecimento da estrutura uma das soluções é acrescentar pilares com o objetivo de reduzir o comprimento dos vãos, posicionar as vigas transversais adicionais para gerar o funcionamento em duas direções: as grelhas, sendo as mais complicadas na hora de montar as armaduras em obra. Outra opção é aumentar a seção dos pilares, com isso gera mais momento negativos, especialmente efetivos nos apoios extremos.

2.8.6 INJEÇÃO DE RESINA NAS FISSURAS DE VIGAS ALTAS DE CONCRETO ARMADO

A injeção de resina nas fissuras tem como objetivo aumentar sua resistência, visto que, perante o carregamento, as fissuras iriam aparecer em seções contínuas aquelas recuperadas. Os reforços das vigas podem ser executados através de colagem, com resina epóxi, de chapas de aço a viga, perfeitamente dimensionadas e posicionadas. Em caso de resistência ao cisalhamento, as chapas serão posicionadas nas laterais da viga, nas seções com maior requisito pelas forças cortantes, se o problema for resultante a momentos fletores, chapas ou cantoneiras de aço serão posicionadas na base da viga, conforme ilustrado na figura 19.

Segundo Thomaz (1989), o reforço de componentes estruturais de concreto armado com chapas metálicas deve ser efetuado com as seguintes precauções:

- a) A superfície do concreto deve ser apoiada e a poeira resultante totalmente removida; a superfície da chapa de aço deve ser jateada com areia, adquirindo assim uma certa rugosidade, e limpa com solventes com auto poder de evaporação (tricloroetileno, xilol, etc.).
- b) A resina epoxídica é aplicada em excesso, tanto no concreto, quanto na chapa metálica;
- c) A chapa ou a cantoneira é fortemente pressionada contra a superfície da peça de concreto, ocorrendo assim refluxo da resina em excesso; a pressão, obtida com pontaletes, ou outros acessórios é mantida no mínimo 24 horas. (THOMAZ,2002)

Segundo Zucchi (2015), podem ser executadas chapas contínuas, que demandam uma maior área de concreto a ser preparada, ou através de chapas descontínuas. Para chapas contínuas, indicam a utilização de uma cantoneira fixada através de chumbadores parabolt à face superior, e para chapas descontínuas, é recomendado 25 que além da cantoneira superior (Figura19), sejam utilizadas cantoneiras na zona inferior, ligadas por barras, de modo a garantir amarração eficiente.

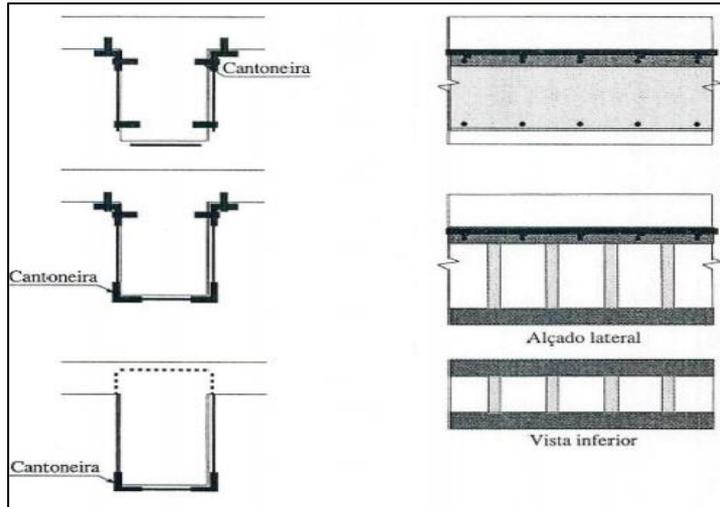


Figura 19-Reforços de vigas ao cisalhamento.

Fonte: Zucchi (2015)

Seguem algumas considerações para o reforço com chapas coladas:

- Espessura máxima de cola: 1,5 mm
- Espessura máxima das chapas de 3 mm, salvo quando utilizados dispositivos especiais de ancoragem, como parafusos parabolt.
- Não superar em 50% o incremento nos reforços resistentes, comparada à situação anterior ao reforço. (ZUCCHI,2015)

Ainda, Zucchi (2015) trazem outras indicações de dimensões para reforço à flexão (Figura 20) e reforço ao cisalhamento (Figura 21).

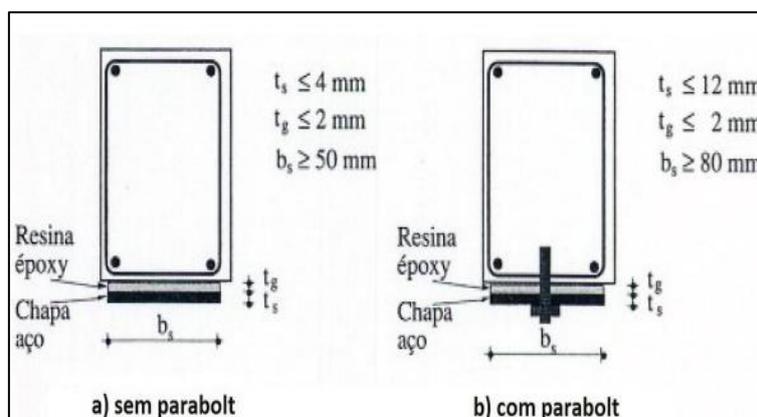


Figura 20- Reforço a flexão.

Fonte: Zucchi (2015)

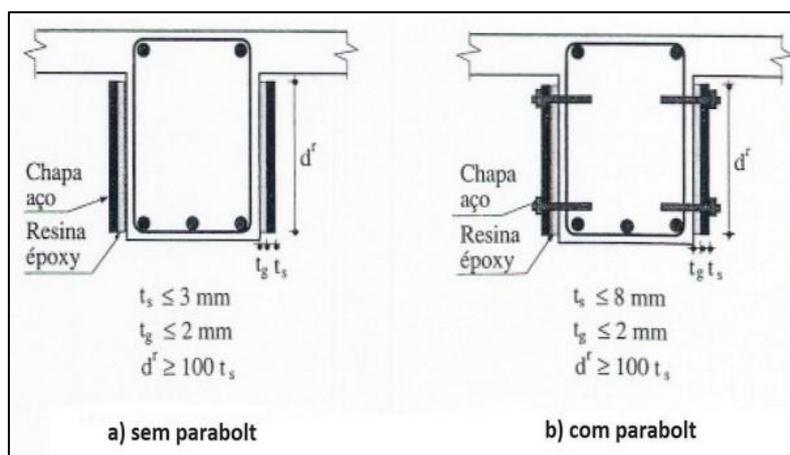


Figura 21- Reforço ao cisalhamento.

Fonte: Zucchi (2015)

Thomaz (1989), reforço de vigas pode ainda ser obtido com o próprio emprego de concreto, adotando-se armaduras suplementares aumentando-se a altura útil da viga (figura 22). Nessa hipótese, antes de iniciarem-se essas operações de reforço da viga, a estrutura deverá ser convenientemente escorada.

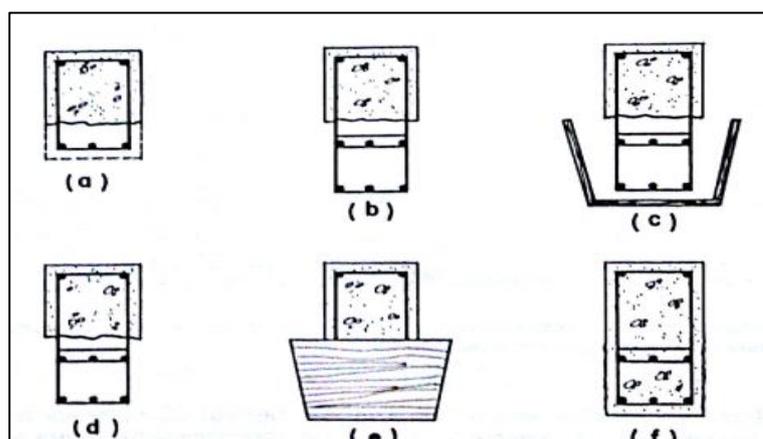


Figura 22- Reforço de vigas com concreto e armaduras suplementares.

Fonte: Thomaz (1989).

Conforme sequência apresentada na figura, às operações de reforço da viga são as seguintes:

- a) O concreto presente na base da viga é removido com ponteiro metálico ou outro dispositivo;
- b) A armadura suplementar é posicionada, sendo amarrada com arame recozido na armadura existente;
- c) A fôrma e seu respectivo cimbramento são ajustados; a fôrma apresenta uma sobre largura, de modo que o concreto possa ser lançado por uma lateral, refluindo pela outra;
- d) A superfície de corte do concreto e as armaduras são limpas com escova ou jato de ar; em seguida, a superfície de corte e, opcionalmente, as barras, são pintadas, com resina epoxidica;
- e) A fôrma é recolocada e bem travada ao cimbramento; o concreto é lançado e vigorosamente vibrado, injetando – se a agulha do vibrador pelas duas laterais da viga.
- f) Após a cura inicial do concreto, as laterais das fôrmas são removidas, o concreto em excesso é cortado com telharia, sendo dado o acabamento final da peça.
- g) A recuperação ou reforço de vigas podem ainda ser efetuados com aplicação de concreto projetado, com ou sem a utilização de fôrmas. (THOMAZ,1989)

2.8.7 RESFRIAMENTO DO CONCRETO COM GELO PARA EVITAR FISSURAS E TRINCAS

Para diminuir a temperatura interna do concreto e evitar as fissuras usa-se gelo ou água gelada. Esse método é importante para a prevenção de fissuras e trincas no concreto armado de origem térmica. O uso de gelo é a melhor opção devido sua capacidade de resfriamento, ser bem maior que o uso da mesma parcela de água. Geralmente deixa-se uma quantidade de água necessária para a mistura aos aditivos utilizados na dosagem do concreto, nessa mistura pode usar água gelada para ajudar no resfriamento.

A quantidade a ser usada desse gelo e/ou água vai depender dos cálculos das tensões de tração que são introduzidas na queda de temperatura no processo de endurecimento, ou seja, no período de retração do mesmo. Por razões de economia deve-se realizar os cálculos tridimensionais de temperatura e excitação pelo método finito é o mais utilizado nesse caso. Esse método citado anteriormente tem como finalidade identificar em que ponto o efeito da

temperatura resultará em fissuras e verificar se realmente há necessidade de sua aplicação.

O gelo é lançado diretamente na betoneira caso centrais misturadoras ou no balão do caminhão betoneira casos centrais dosadoras. Esse material é comprado de fornecedores em forma de escamas, pois o gelo quando usado em forma de cilindros vazados ou cubos tem maior dificuldade de dissolução. É importante ressaltar que fazer uma análise química para conhecer a origem desse gelo quando comprado em sacos e até mesmo a pesagem prévia, é o ideal para a qualidade do concreto e evitar a alteração de água – cimento do traço prejudicando a sua durabilidade e como consequência trincas e fissuras na peça.

3 CONCLUSÃO

Essas manifestações patológicas, fissuras e trincas em vigas de concreto armado, apresentam-se de forma aleatória, entretanto na prática são provocados pelos fenômenos físicos, químicos, mecânicos e em consequência a essa aleatoriedade específica ao estado de fissuração resultam em uma combinação complexa e de entendimento árduo.

Entretanto Thomaz (1989) afirmou que a construção de edifícios “à prova de fissuras” seria um trabalho difícil e um ônus financeiro insustentável; alisando de outra forma, permitir que seja por consequência natural do meio ambiente a formação de juntas em uma obra, não parece ser a melhor escolha técnica, econômica e nem justa. Para um resultado de qualidade e redução dos problemas é preciso capacitação adequada e o reconhecimento que o solo, os materiais utilizados e os componentes da edificação movimentam-se: de acordo com essa verdade óbvia, muitas fissuras deveriam ser associadas de acordo com o projeto de obras.

A elaboração de programas para recuperação dessas patologias é uma escolha difícil, leva um período longo que acabam sendo incomodas e de um custo elevado, isso quando provocam prejuízos e que não são realizadas com eficiência. Assim sendo, os profissionais que atuam nas áreas ligadas a construção civil devem agir de forma prudente e com uma atenção maior nas causas dos problemas dessa manifestação patológica, colocando na prática seu conhecimento com responsabilidade e compromisso perante a sociedade.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Silvio. **Porque o concreto fissura**. Publicado em 19 maio de 2016. Acesso em 26 agosto de 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8yohlzMKCRE> – Acesso em: 01/01/18

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118 – Projeto de estrutura de concreto: procedimento** – Rio de Janeiro, 2014.

DIAS, Roberto. **Técnicas de reabilitação e reforço para estrutura**. Publicado em 8 de maio 2014. Acesso 22 setembro 2018. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/jrobertodias/tecnicas-reforo-de-estruturas--> Acesso em: 01/11/18

Fissura, Trinca e Rachadura. Publicado em 18 de julho 2018. Acesso em 4 outubro de 2018. Disponível em: <http://oio.site/user/luiz.umbraeng>. Acesso em: 01/11/18

GONÇALVES, E.A.B. **Estudo de patologia e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. 2015 174 f. Trabalho de conclusão de curso para obtenção de grau em Bacharel Engenharia Civil – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio De Janeiro - RJ, Brasil.

KUPERMAN, Selmo. **Resfriamento do concreto com gelo evita a formação de trincas**. Acesso 25 agosto 2018. Disponível em:

https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/resfriamento-do-concreto-com-gelo-evita-a-formacao-de-trincas_14517_10_0–Engenheiro Acesso em: 01/11/18

Manifestações Patológicas em Edificações: **Lixiviação**. 12 de setembro de 2017 | Construção, Curiosidades, Manutenção

Disponível em: <https://guideengenharia.com.br/lixiviacao-em-edificacoes/>
Acesso em 13/11/18

MARCELLI, Mauricio. **Sinistros na construção civil: causas e soluções para danos e prejuízos em obras**. São Paulo: PINI, 2007. 270 p.

NASCIMENTO, M.L.M. **Utilização de drone e termografia na detecção de manifestações patológicas em edificações**. 2014 26 f. Trabalho de conclusão de curso para obtenção de grau em Bacharel Engenharia Civil - Universidade Católica de Brasília, Brasília - DF, Brasil.

SANTOS, L.B. **Deformações estruturais em concreto**. 2007 80 f. Trabalho de conclusão de curso para obtenção de grau em Bacharel Engenharia Civil – Universidade São Francisco de Itatiba (USF, SP), Itatiba - SP, Brasil.

SOUZA, Vicente Custódio de, 1948 – **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**/ Vicente Custódio Moreira de Souza e Thomaz Ripper.- São Paulo : Pini, 1998.

TRINCAS E FISSURAS. Publicado em 26 de janeiro 2015. Acesso em 18 de outubro 2018. Disponível em:

<https://blogdaengenhariacivil.wordpress.com/2015/01/26/trincas-e-fissuras/>–

Acesso em: 01/11/18

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios; Causas, prevenção e recuperação/** - São Paulo: Pini 1989.

ZUCCHI, F.L. **Técnicas para o reforço de elementos estruturais.** 2015 50 f. Trabalho de conclusão de curso para obtenção de grau em Bacharel Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM,RS), Santa Maria - RS, Brasil.