



TÉCNICAS PARA INTERVENÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Julio Cesar Costa de Oliveira

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Eduardo Linhares Qualharini

Rio de Janeiro

Março de 2015

TÉCNICAS PARA INTERVENÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Julio Cesar Costa de Oliveira

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinado por:

Eduardo Linhares Qualharini

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2015

OLIVEIRA, Julio Cesar Costa

Técnicas para a intervenção em estruturas de concreto armado/J C C OLIVEIRA – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015.

viii, p.53: il.; 29,7 cm

Orientador: Eduardo Linhares Qualharini

Projeto de graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/
Curso de Engenharia Civil, 2015

Ref. Bibliográfica: p. 46-47

Patologias em estruturas 2. Reforço em estruturas 3.
Recuperação de estruturas I. Qualharini Eduardo Linhares,
et al. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola
Politécnica, Curso de Engenharia Civil. II Técnicas para a
intervenção em estruturas de concreto armado

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenharia Civil.

TÉCNICAS PARA INTERVENÇÃO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Julio Cesar Costa de Oliveira

Março 2015

Orientador: Eduardo Linhares Qualharini

Curso: Engenharia Civil

Este trabalho tem o objetivo de apresentar as principais técnicas de intervenção nas estruturas em concreto armado. Nesse sentido serão apresentadas tanto as situações em que essas intervenções serão necessárias, quanto técnicas para diagnosticar possíveis patologias e as técnicas para recuperação de estruturas danificadas e reforço.

Palavras-chave: Patologias, Recuperação e reforço em estruturas

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

Intervention Techniques for concrete Structures

Julio Cesar Costa de Oliveira

March 2015

Advisor: Eduardo Linhares Qualharini

Course: Civil Engineering

Description

This work aim to approach most relevant techniques on the field of interventions on concrete structures. Thus, it will pointed the context in which these interventions are made, the main diagnoses tools to detect pathologies, reinforcement techniques and healing techniques of concrete structures.

Keywords: Reinforcement, Pathologies, Concrete Structures

SUMÁRIO

1.	Introdução	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Objetivo	2
1.3	Justificativa	2
2.	Modificações nas estruturas	4
2.1	Furos e aberturas em lajes	4
2.1.1	O item 13.2.5.2 da NBR 6118	4
2.1.2	O item 21.3.4 da NBR 6118	5
2.2	Furos e aberturas em Vigas	7
2.2.1	O item 21.3.3 da NBR 6118	7
2.2.2	O item 13.2.5.1 da NBR 6118	7
3.	Patologias	9
3.1	Porque ocorrem?	10
3.1.1	Projeto (forma e armadura)	10
3.1.2	Materiais (Concreto e armadura).....	12
3.1.3	Execução (mão-de-obra)	16
3.1.4	Utilização	16
3.2	Como Identificá-las?.....	17
3.2.1	Associando as Fissuras às suas causas mais prováveis	19
3.2.2	Os Ensaios:.....	20
3.3	Como tratá-las?	26
3.3.1	Concreto Projetado	26
3.3.2	Tratamento de fissuras.....	28
3.3.3	Costura de fissuras (método do grampeamento)	31
3.3.4	Reforço por complementação ou adição de armaduras.....	33
3.3.5	Reforço com aplicação de chapas e perfis metálicos.....	35
3.3.6	Reforço de pilares com polímeros reforçados com fibra de carbono.....	36
4.	VISITA TÉCNICA	39
4.1	Considerações iniciais sobre a obra	39
4.2	Técnicas aplicadas	40
4.2.1	Caso do Pilar P23	40
4.2.2	Caso da esclerometria	41
5.	Considerações finais.....	43

5.1	Comentários	43
5.2	Sugestões	43
	Referências Bibliográficas	45
	Referências Eletrônicas	46
	Anexos	47

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Esquema de aberturas em lajes que não necessitam de verificação	5
Figura 2: Esquema de aberturas em lajes que não necessitam de verificação.....	5
Figura 3: Diagrama de concentração de tensões de uma laje nas regiões próximas à abertura	6
Figura 4: Deslocamento da bacia sanitária promovendo novo furo na laje	6
Figura 5: Furos que atravessam a viga	7
Figura 6: Esquema mostrando furação atravessando a viga	8
Figura 7: Gráfico mostrando a influência nos custos dos erros em cada fase do projeto	11
Figura 8: Esquema da corrosão eletroquímica.....	12
Figura 9: Fluxograma para auxiliar no diagnóstico das patologias estruturais.....	18
Figura 10: Armadura exposta e enferrujada em laje na entrada do Centro de Tecnologia da UFRJ....	19
Figura 11: Esquema de tensões principais com gráficos de momento fletor e cortante	20
Figura 12: Lixamento da superfície antes da execução do ensaio	22
Figura 13: Esclerômetro do tipo de Schmidt.....	22
Figura 14: Esquema de funcionamento do ultrassom	23
Figura 15: Esquema com possibilidades de transmissão em aparelhos de ultrassom	23
Figura 16: Esquema mostrando a zona afetada pelo ensaio de Finca-pinos.....	24
Figura 17: Esquema mostrando o funcionamento do ensaio de Pull of.....	25
Figura 18: Concreto projetado na plataforma de petróleo no Estado do Rio Grande do Norte	28
Figura 19: Equipamento para injeção de resinas epoxílicas da ADHESIVES TECHNOLOGY	31
Figura 20: Esquema mostrando configuração dos grampo	32
Figura 21: Corte transversal a fissura onde será posicionado o grampo.....	32
Figura 22: Furadeira executando os furos onde serão cravados os grampos.....	33
Figura 23: Aplicação de resina epóxi e colocação do grampo	33
Figura 24: Possibilidades de reforço por complementação de armaduras em seções retangulares ...	34
Figura 25: Esquema mostrando o reforço com utilização de cantoneiras em pilares.....	36
Figura 26: Aplicação da fibra de carbono na viga do viaduto em San Antonio – Texas (EUA)	37
Figura 27: Solução encontrada para melhor fixar a fibra na viga	37
Figura 28: Solução encontrada para melhor fixar a fibra na viga	38
Figura 29: Simulação de uma fotografia mostrando a frente do MIS.....	39
Figura 30: Brocas apresentadas na face do P23.....	40
Figura 31: Identificação dos pontos e disparo contra a superfície	41
Figura 32: Esclerômetro utilizado nos ensaios.....	42

1. Introdução

1.1 Contextualização

A engenharia civil, que em um primeiro momento, dirige suas atenções para a criação de novas construções, passa portanto a ver suas obras já realizadas também como objeto de estudo. Isso porque essas construções foram, ao longo de seu período de utilização, apresentando patologias (que em situações extremas colocam em risco a estrutura da construção) e algumas de suas funções passam a perder sentido, necessitando serem adequadas as novas demandas da sociedade.

Na Europa e nos Estados Unidos o processo de modernização e reparo das construções vem sendo aplicado a mais tempo. Sendo as construções brasileiras mais recentes do que as americanas e europeias, essas técnicas demoraram um pouco mais a chegar no Brasil. No Rio de Janeiro, na zona sul por exemplo a maioria das construções data da década de 50 e, portanto, têm mais de 60 anos de utilização. É por isso que atualmente tais conceitos começam a ser discutidos e desenvolvidos no Brasil.

Uma das demonstrações que a sociedade começa a se preocupar com as construções antigas é a lei estadual nº 6400 instituída em Março de 2013 no Rio de Janeiro, que torna obrigatória a vistoria periódica de prédios por profissionais habilitados.

Fica instituída, no Estado do Rio de Janeiro, a obrigatoriedade de autovistoria, decenal, pelos condomínios ou proprietários dos prédios residenciais, comerciais, e pelos governos do Estado e dos municípios, nos prédios públicos, incluindo estruturas, subsolos, fachadas, esquadrias, empenas, marquises e telhados, e em suas instalações elétricas, hidráulicas, sanitárias, eletromecânicas, de gás e de prevenção a fogo e escape e obras de contenção de encostas, com menos de 25 (vinte e cinco) anos de vida útil, a contar do "habite-se", por profissionais ou empresas habilitadas junto ao respectivo Conselho Regional de Engenharia, e Agronomia - CREA ou pelo Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Rio de Janeiro - CAU/RJ.

(Art. 1º da Lei Estadual 6400)

Há portanto, diversos tipos de intervenções em construções existentes, cada um com naturezas e propósitos diferentes. Os principais tipos de intervenção são:

a) Restauração

Segundo Vale (2006), a restauração de um edifício corresponde a um conjunto de ações desenvolvidas de modo a recuperar a imagem, a concepção original ou o momento áureo da história da edificação em questão. Este tipo de intervenção é muito utilizado em bens tombados e preservados pelo patrimônio histórico e que não

admitem alteração em sua arquitetura. Independentemente de qualquer técnica que venha a ser utilizada nas intervenções ao patrimônio cultural edificado, a autenticidade é a base da doutrina moderna da restauração (TAVARES, 2011).

b) Reforma

A reforma é uma intervenção que busca o retorno a forma original. Segundo Costa e Douckin (apud CARVALHO, 2013), reforma é o ato ou efeito de colocar em bom estado de conservação uma construção, por meio de reparos necessários ou lhe transformando a estrutura.

c) Manutenção

Segundo a ABNT, manutenção é um procedimento técnico-administrativo (em benefício do proprietário e/ou usuários), que tem por finalidade levar a efeito as medidas necessárias à conservação de um imóvel e à permanência das suas instalações e equipamentos, de modo a mantê-lo em condições funcionais normais, tal como as que resultaram da sua construção, em observância ao que foi projetado, e durante sua vida útil.

d) *Retrofit*

Por fim, o *retrofit* refere-se as intervenções realizadas em edifícios com o objetivo de adequá-lo tecnologicamente a novas demandas. Segundo VALE (2006), a técnica do *retrofit* difere substancialmente da restauração, que consiste na restituição do imóvel à sua condição original ou da reforma, que visa a introdução de melhorias, sem compromisso com suas características anteriores. Sendo assim, espera-se que o *retrofit* concilie certas características marcantes da edificação com a adequação tecnológica.

Apesar de apresentarem objetivos distintos, essas obras possuem algumas características comuns. Isso porque, em todas elas há a necessidade de se abordar os diferentes sistemas e subsistemas da edificação, sendo fundamental que se domine as técnicas e ferramentas existentes para a solução dos desafios que virão a aparecer.

Nesse sentido, as estruturas se apresentam como importante sistema da construção, que pode se apresentar como um desafio nessas intervenções.

1.2 Objetivo

O presente trabalho é uma pesquisa descritiva com a finalidade de expor as técnicas de intervenção dentro do contexto das estruturas em concreto armado, para as edificações multifamiliares existentes.

1.3 Justificativa

Em toda a história da humanidade sempre se construiu e também se fez reformas e readequações de edifícios. Dessa forma, podemos dizer que as intervenções nas construções sempre este presente. Na Europa e nos Estados Unidos o processo de modernização vem acontecendo a partir da década de 1990 e no Brasil também

vendo sendo progressivamente utilizado, embora seu início tenha se dado um pouco mais tarde.

A vantagem das obras de manutenção, reforma e *retrofit* é o reaproveitamento de edificações, principalmente as que têm valor histórico ou sentimental para uma determinada coletividade. Nem sempre as intervenções são a opção mais em conta, pois em algumas situações será mais barato derrubar uma edificação e construir uma nova, a partir do terreno limpo. No entanto, esta opção demanda mais tempo, pois é preciso demolir o prédio antigo e começar uma obra nova a partir das fundações, o que tem um grande impacto no meio urbano, dado que é preciso retirar o entulho da demolição e depois transportar um peso equivalente em materiais novos, que farão parte da nova construção – sem contar a agressão ao meio ambiente, tanto para absorver o entulho, quanto para fornecer os novos materiais. Em suma, as intervenções são mais vantajosas e inteligentes, tanto sob a lógica do tecido urbano, quando a da ecologia e do meio ambiente. As empresas e organizações que investem em nessa área ganham, portanto, ao reaproveitar edificações, do ponto de vista ecológico e cultural, por ser menos agressivo ao meio ambiente e por preservar potencialmente o patrimônio histórico urbano.

Dado que uma construção pode ser dividida em vários subsistemas em sua abordagem (fundações, instalações [elétricas, hidráulicas, ...], etc.), sendo a parte estrutural uma das mais importantes, pretendemos neste trabalho abordar, de forma objetiva, os aspectos estruturais que envolvem as intervenções.

2. Modificações nas estruturas

No contexto das modificações em estruturas, a Lei Estadual 6400 chama a atenção para pontos importantes. O trecho abaixo mostra a imposição, feita pela Lei, que exige que as modificações que implicarem em acréscimo de carga ou demolições na estrutura devem ser registrados por profissionais competentes:

Todas as obras prediais, a serem edificadas, ou de reforma de prédio existentes, que implicarem em acréscimos ou demolições de alvenaria ou estruturas, inclusive abertura de janelas, principalmente em empenas, deverão ser objeto de acompanhamento técnico de engenheiros ou arquitetos, promovendo-se as Anotações de Responsabilidade Técnica (ART), junto ao Conselho Regional de Engenharia e Agronomia - CREA, ou através do Registro de Responsabilidade Técnica – RRT, quando se tratar do Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Rio de Janeiro - CAU/RJ.

(Lei Estadual 6400)

Quando fala-se nesses tipos de obra, algumas modificações da configuração original podem ser propostas. Essas alterações, no entanto, não implicam necessariamente em uma mudança completa da estrutura, ou seja, parte dela pode (e deve) ser aproveitada. Como por vezes é difícil compatibilizar as novas ideias com a estrutura original, surge a necessidade de pequenas intervenções locais (reforço para suportar cargas adicionais, furos e recortes das peças estruturais, remoção e adição de elementos estruturais, etc.).

No caso de furos em peças estruturais, por exemplo, para passar uma tubulação por um local não previstos na estrutura original é sabidamente necessário que se tomem alguns cuidados. Nesse sentido, a NBR 6118 prevê algumas em que podem ser executados tais furos ou aberturas nos elementos estruturais. Os itens a seguir tratam, portanto, dos principais trechos da norma que falam a respeito desses furos e abertura executados em vigas e lajes.

2.1 Furos e aberturas em lajes

2.1.1 O item 13.2.5.2 da NBR 6118

Esse item recomenda que deverão ser realizados cálculos de verificação em todas os furos e aberturas em lajes do tipo cogumelo. Entretanto, para os outros tipos de laje, obedecendo a certos critérios, essa verificação não se faz necessária. Esses critérios são:

- a) As dimensões da abertura não devem ultrapassar 10% do comprimento do vão menor (FIGURA 1);
- b) A distância entre a face de uma abertura e uma borda livre da laje deve ser igual ou maior que 25% do comprimento do vão, na direção considerada (FIGURA 1);

C) A distância entre as faces de aberturas adjacentes deve ser maior que a metade do menor vão (FIGURA 2)

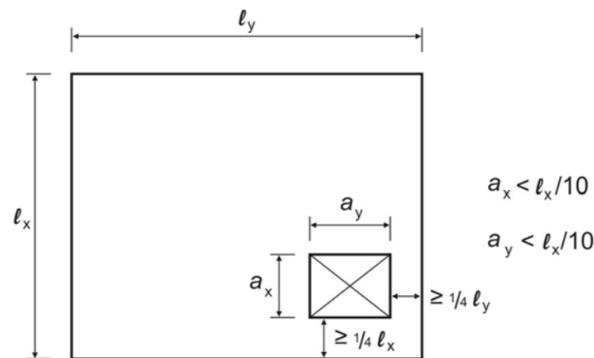


Figura 1: Esquema de aberturas em lajes que não necessitam de verificação (FONTE: NBR 6118)

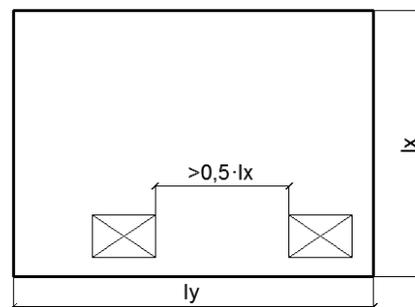


Figura 2: Esquema de aberturas em lajes que não necessitam de verificação (FONTE: O autor)

2.1.2 O item 21.3.4 da NBR 6118

Nesse pedaço da norma, faz-se ainda algumas outras exigências quanto às aberturas em lajes. Dentre essas, destaca-se a que as seções de armadura interrompidas pela abertura devem ser substituídas por seções equivalentes de reforço, devidamente ancoradas.

Esse reforço se faz necessário porque o entorno da abertura feita na laje é uma região de concentração de tensões, sendo assim mais vulnerável. Na FIGURA 3, que ilustra essa ideia, as regiões mais avermelhadas são aquelas que estão sujeitas a tensões mais elevadas, enquanto que as regiões mais esverdeadas estão sujeitas a tensões menores.

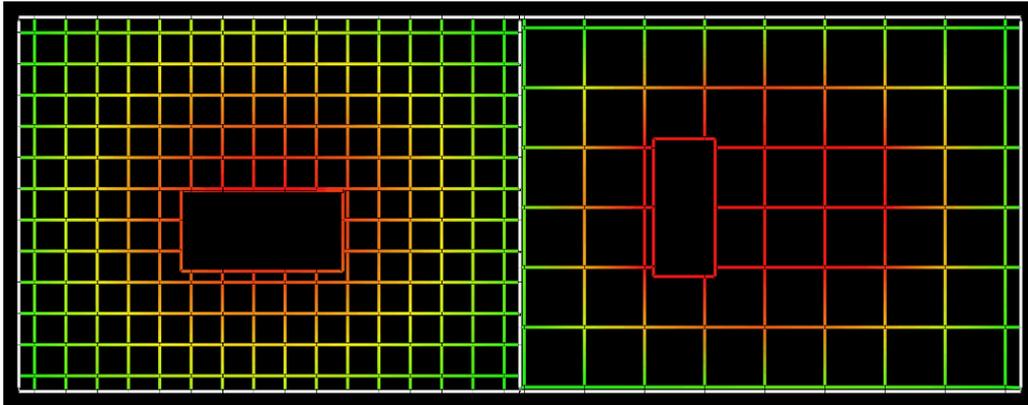


Figura 3: Modelo de grelhas em laje em regiões próximas a aberturas (FONTE: site do Alto QI Eberick)

A FIGURA 4 mostra ainda um típico caso em que se aplica as aberturas em lajes. No caso, houve um deslocamento da bacia sanitária para atender uma necessidade arquitetônica. Deslocamento esse que exigiu a furação da laje. Nesse caso, apesar de não ser possível observar pela figura, as distâncias do furo até o bordo da laje foram respeitadas, como preconiza o item 13.2.5.2. Entretanto, como se pode notar, a região no entorno do furo não foi reforçada.

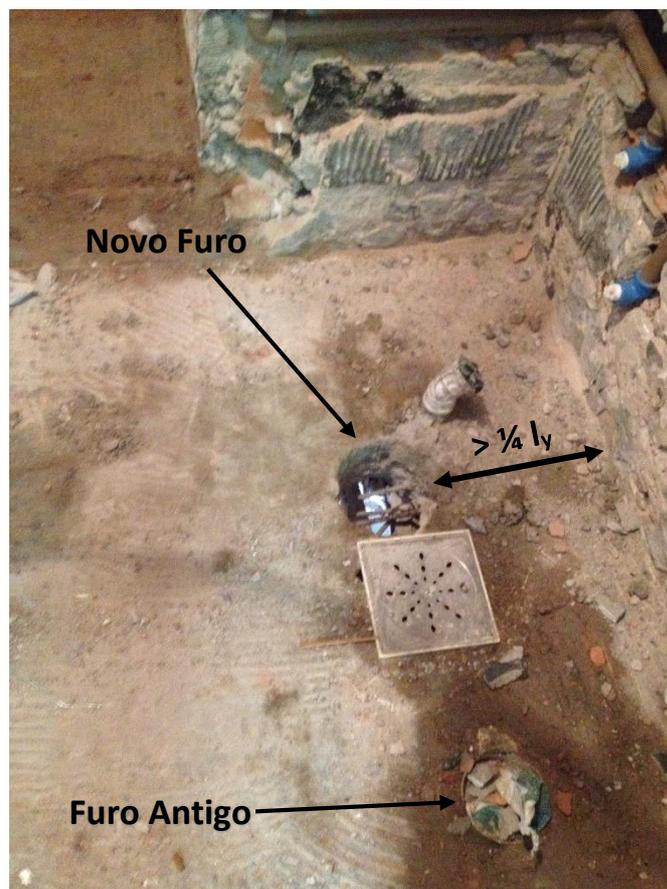


Figura 4: Deslocamento da bacia sanitária promovendo novo furo na laje (FONTE: O Autor)

2.2 Furos e aberturas em Vigas

2.2.1 O item 21.3.3 da NBR 6118

Este item recomenda que as aberturas executadas no plano principal da viga sejam iguais ou inferiores à $1/3$ da largura da mesma, assim como ilustrado na FIGURA 5. Nele lembra-se ainda que deve se verificar a capacidade da viga de resistir aos esforços cortante e ao esforço de flexão na região da abertura.

Outro ponto ressaltado nesse item é que a distância do furo à face deve superar os 5 cm e deve ter pelo menos duas vezes o cobrimento determinado para a viga em questão.

Quando houver a necessidade de se executar múltiplos furos, deve-se obedecer ainda a distância mínima de 5 cm (ou o diâmetro do furo) entre eles.

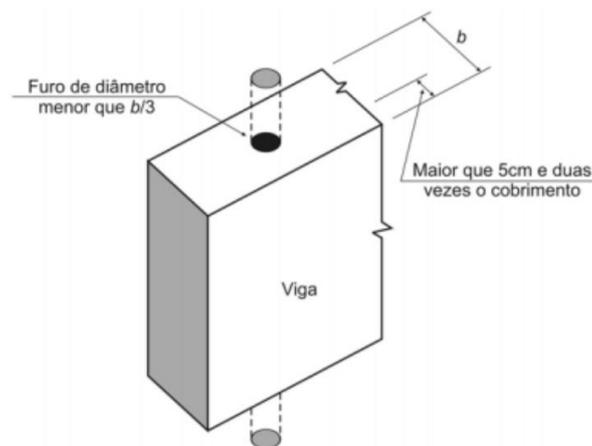


Figura 5: Furos que atravessam a viga (FONTE: NBR 6118)

Apesar de não ser mencionado pela norma, sabe-se que a execução desses furos deve ser feita obedecendo alguns cuidados. Em geral, utiliza-se o martelo para executar as aberturas em lajes visto que essa é a maneira mais rápida e barata. Porém, nem sempre essa é a forma mais segura, uma vez que a vibração proporcionada por esse equipamento gera uma vibração que pode danificar a estrutura. Nesse caso, por exemplo, a utilização de martelo não seria recomendada.

2.2.2 O item 13.2.5.1 da NBR 6118

Neste item, são abordados os furos executados perpendicularmente à direção principal. Em tais casos, a distância máxima entre o furo e a face mais próxima deve ser de 5 cm e duas vezes o cobrimento determinado por essa viga.

O item fala ainda que dispensa-se verificação quando respeitadas as seguintes condições:

- a) Furos devem estar em zona de tração, distando da face do apoio no mínimo duas vezes a altura da viga

- b) Diâmetro do furo deve ser de no máximo 12 cm e 1/3 da altura da viga
- c) Distância entre faces de furos deve ser, num mesmo tramo, de no mínimo duas vezes a altura da viga
- d) Os cobrimentos devem ser suficientes e não deve haver seccionamento das armaduras.

Uma situação muito comum da necessidade desses furos em vigas ocorre quando há mudança de posição dos aquecedores a gás em apartamentos residenciais, que se faz necessária no caso de aparelhos antigamente instalados dentro dos banheiros. Essa prática comprovou-se nociva uma vez que o gás carbônico gerado pelo aquecedor, dentro de um ambiente sem circulação, acabava intoxicando as pessoas. Assim, esses aquecedores foram transferidos para outros cômodos, geralmente a área de serviço, onde existe a possibilidade de expelir o gás carbônico diretamente para fora do imóvel, ao contrário do que ocorria antes.

O conflito com a estrutura surge porque geralmente nessa colocação dessa tubulação que joga o gás para fora do apartamento. Isso porque, na parte superior da parede onde se deve passar a tubulação para o gás, pode haver uma viga, conforme o esquema da FIGURA 6.

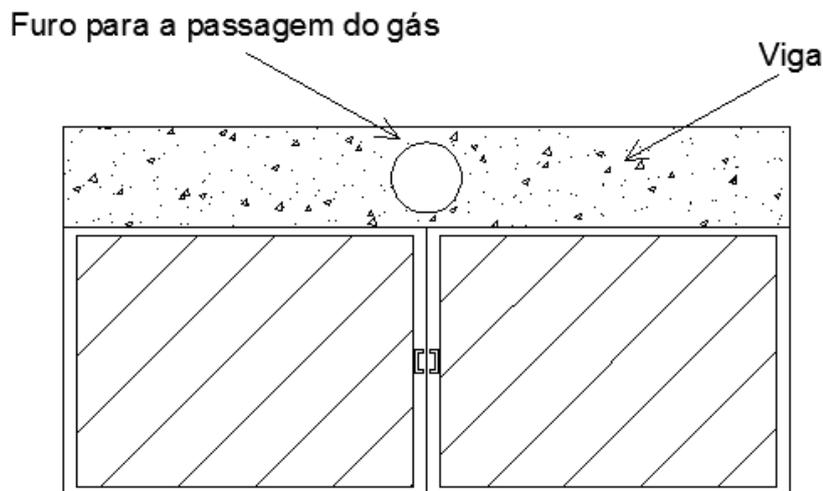


Figura 6: Esquema mostrando furação atravessando a viga (FONTE: O autor)

3. Patologias

Deve-se primeiro definir os conceitos de durabilidade e vida útil, para posteriormente discorrermos sobre patologias em edificações (ou “vícios aparentes”, de acordo com o código do consumidor). Segundo a norma que estamos recorrendo ao longo deste trabalho (NBR 6118 – ABNT, 2003), durabilidade é a capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto. A supracitada norma técnica também menciona que as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente à sua vida útil. Para o comitê 201.2R do *American Concrete Institute*, a durabilidade do concreto de cimento *Portland* é definida como sua capacidade de resistir ao intemperismo, ataque químico, desgaste por abrasão ou qualquer outro processo de deterioração, retendo a sua forma original, qualidade e capacidade de utilização, quando exposto ao ambiente de trabalho (ACI, 2001).

Outros autores tem uma visão ligeiramente diferente de durabilidade. GASPAR (1988), por exemplo, a define como a capacidade de manter em serviço e com segurança uma estrutura, durante um tempo especificado ou período de vida útil em um determinado meio ou entorno, mesmo que este meio seja desfavorável ao concreto. O autor acrescenta que a durabilidade de uma estrutura de concreto armado é função de uma série de fatores relacionados com a qualidade do concreto e sua interação com o ambiente externo. Nota-se, nesta última definição de durabilidade, a expressão “vida útil”. Trata-se de outro importante conceito, intimamente relacionado ao de durabilidade.

MONTEIRO (2002) define vida útil como o período no qual a estrutura é capaz de desempenhar as funções para as quais foi projetada. Já para OLIVEIRA ANDRADE (2005), vida útil é a etapa em que os agentes agressivos ainda estão penetrando através da rede de poros do revestimento, sem causar danos efetivos à estrutura (usualmente 50 anos para estruturas de concreto armado convencionais, podendo chegar a 100 anos em pontes, e 200 anos em barragens. Por último, para ANDRADE (2005), a dificuldade de especificar e quantificar a vida útil, isto é, de se introduzir o fator “tempo” na abordagem da durabilidade das estruturas de concreto, é função da complexidade dos mecanismos de deterioração envolvidos.

No tocante a estruturas, tão importante quanto durabilidade e vida útil, é a questão do seu desempenho. SOUZA & RIPPER (1998) definem esse conceito como o comportamento em serviço (isto é, relacionado ao uso) de cada produto, ao longo da vida útil. Isto significa que, para que um material tenha um desempenho satisfatório, suas propriedades devem permanecer acima dos limites mínimos específicos, durante o período de vida útil. Por exemplo, apesar de a carbonatação não influenciar no seu desempenho mecânico, o concreto só será considerado satisfatório se, num tempo estipulado em projeto, sob a ação agressiva do CO₂ (gás carbônico) no ambiente onde está localizada a estrutura, sua alcalinidade ainda for capaz de proteger a armadura (ANDRADE, 2005).

Acontece, no entanto, que as estruturas e seus materiais deterioram-se mesmo quando existe um programa de manutenção bem definido, sendo esta deterioração, no limite, irreversível. O ponto em que cada estrutura, em função da deterioração, atinge níveis de desempenho insatisfatórios, varia de acordo com o tipo de estrutura. Algumas delas, por falhas de projeto ou de execução, já iniciam as suas vidas úteis de forma insatisfatória, enquanto outras chegam ao final de suas vidas úteis ainda mostrando um bom desempenho. Por outro lado, o fato de uma estrutura, em determinado momento, apresentar-se com desempenho insatisfatório não significa que ela esteja necessariamente condenada.

As patologias são extremamente importantes visto que podem assinalar um estado de perigo potencial para a estrutura ou a necessidade de manutenção para evitar comprometimentos futuros ou ainda provocar insegurança e revolta aos moradores, gerando por vezes demandas judiciais. A identificação das patologias e o estudo das causas e das consequências são ações fundamentais para conscientizar as construtoras e profissionais da área sobre a importância de se investir na prevenção. Por outro lado proporcionar maiores conhecimentos aos usuários sobre estratégias para a correta utilização e manutenção das edificações colaborará para prolongar a vida útil das mesmas. Em suma, entende-se como patologia em edificações toda manifestação de defeitos em peças, equipamentos ou acabamentos constituintes do edifício. Este item do trabalho tem como propósito responder perguntas objetivas apresentadas na Introdução.

3.1 Porque ocorrem?

Procurar entender as respostas possíveis para essa pergunta é um ponto fundamental dentro do estudo das patologias em estruturas. Isso porque a origem do problema pode ser tanto uma chave para solucionar o reparo estrutural, quanto criar mecanismos para prevenir e mitigar os efeitos dos danos que possam vir a ocorrer depois da construção.

3.1.1 Projeto (forma e armadura)

O projeto é uma etapa de extrema importância no processo produtivo da construção. É nela que são estabelecidos todos os pré-requisitos necessários para o desenvolvimento do empreendimento. Erros no projeto são apontados entre as principais causas dos problemas patológicos ou defeitos da Construção Civil.

Portanto, na etapa do projeto são adotadas soluções que têm grandes repercussões no processo da construção e na qualidade do produto final que será entregue ao cliente.

Então, é no projeto que acontece a concepção e o desenvolvimento do produto, que são baseados nas necessidades do cliente em termos de desempenho e custo, e das condições de exposição que o edifício será submetido. O projeto tem forte impacto no processo de execução da obra, pois define premissas, detalhes construtivos e especificações que permitem maior ou menor facilidade de construir, e afetam os custos de produção. Assim, a qualidade do projeto determinará a qualidade do

produto e condicionará o nível de satisfação dos usuários finais.

De forma geral, pode-se dizer que um bom projeto é aquele que atende aos critérios econômicos, de segurança, de racionalização e de exequibilidade. Como, dentro da ótica empresarial, a ideia do menor custo é muito presente, o critério econômico acaba prevalecendo em muitos casos. De forma geral, acaba-se optando por projetos mais baratos e que tenham um custo menor para serem executados, embora nem sempre essa seja a opção mais inteligente. HAMMARLUND & JOSEPHSON (1992), afirmam que “as decisões tomadas nas fases iniciais do empreendimento são as que tem maior capacidade de influenciar na redução dos custos de falhas do edifício”. Verifica-se que nas fases finais de obra, o índice de falhas é maior devido à grande variedade de frentes de serviços envolvidos, tornando maior a dificuldade de resolvê-las. A FIGURA 7 mostra o avanço do empreendimento em relação à chance de redução dos custos de falhas de um edifício.

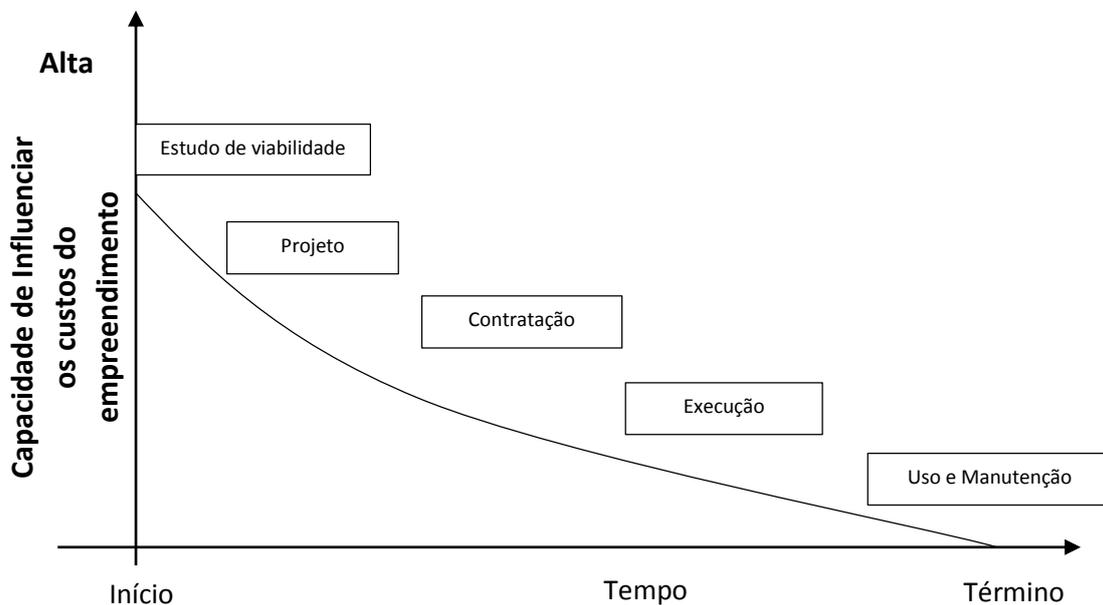


Figura 7: Gráfico mostrando a influência nos custos dos erros em cada fase do projeto, adaptado de MELHADO (1995)

Segundo GIORGIO OLIVARI (2003), no tocante aos projetos e cálculos estruturais, os principais erros podem ser resumidos a:

- a) Falta de detalhes
- b) Erros de dimensionamento
- c) Não consideração do efeito térmico
- d) Divergência entre os projetos
- e) Sobrecargas não previstas
- f) Especificação do concreto deficiente
- g) Especificação de cobrimento incorreta

(FONTE: GIORGIO OLIVARI, 2003)

3.1.2 Materiais (Concreto e armadura)

Nesse t3pico ser3o abordados os mecanismos f3sicos e qu3micos mais relevantes que proporcionam as patologias na estrutura. Tais mecanismos, portanto, podem ser desenvolvidos tanto no concreto, quanto nas barras de a3o.

No caso das armaduras, o principal processo 3 a corros3o, que 3 uma rea3o natural que ocorre em metais n3o-nobres. Ela acontece porque tais metais apresentam-se na natureza sob a forma de min3rios, que s3o suas formas mais est3veis. Assim, ao transformar o metal atrav3s do processo metal3rgico, o mesmo submete-se a uma condi3o mais inst3vel e propensa ao retorno de suas formas originais na natureza.

De acordo com a natureza do processo, a corros3o pode ser classificada em qu3mica ou eletroqu3mica.

A primeira 3 dita corros3o seca ou oxida3o e adv3m de uma rea3o g3s-metal formando uma pel3cula de 3xido.

J3 a corros3o eletroqu3mica 3 decorrente da forma3o de uma c3lula de corros3o formada por um eletr3lito e a diferen3a de potencial entre pontos (FIGURA 8). Caso qualquer um destes elementos seja retirado, ou se evitarmos a entrada de oxig3nio, o processo 3 paralisado.

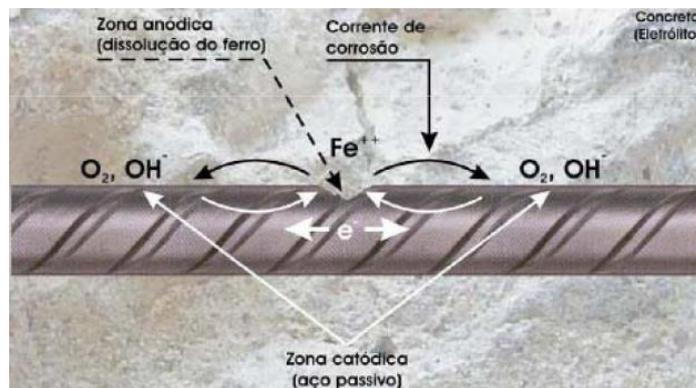


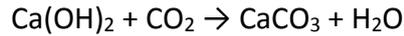
Figura 8: Esquema da corros3o eletroqu3mica. (Fonte: CASCUDO, 2005)

O eletr3lito¹ 3 expresso pela umidade presente no concreto, sendo que a diferen3a de potencial entre dois pontos da armadura pode ocorrer por v3rios fatores, como: diferen3a de umidade, aera3o, concentra3o salina, tens3o no concreto e no a3o, falta de uniformidade na composi3o do a3o.

Quanto aos mecanismos da corros3o, os principais s3o a carbonata3o e a contamina3o por cloretos.

A primeira ocorre quando o g3s carb3nico (CO₂), do ar ou de 3guas agressivas, reage com o hidr3xido de c3lcio [(Ca(OH)₂], formando o sal carbonato de c3lcio (CaCO₃), que 3 insol3vel. Isso faz com que o pH da solu3o caia.

¹ Eletr3lito: toda substancia que, ao se dissociar pela adi3o de solvente ou aquecimento, origina 3ons positivos e negativos que ser3o capazes de conduzir eletricidade



Essa redução de pH, portanto, é capaz de despassivar a armadura e deixar a porta aberta para a corrosão da mesma.

Com relação a ação dos íons de Cloreto, NEVILLE fala que estes íons destroem a película (passivante) e, na presença de água e oxigênio, ocorre corrosão. FORTES (1995) afirma ainda que:

“Tais íons têm o poder de destruir, de forma localizada, a película passivante sobre a armadura, provocando a corrosão por pite. Estes pontos, ou pequenas crateras, formam o anodo da pilha de corrosão e, devido à sua progressão em profundidade podem provocar a ruptura da barra de aço”

(Fonte: FORTES, 1995)

Os íons de cloreto podem chegar ao concreto de diversas formas. Segundo FIGUEIREDO (2005) são elas:

- a) uso de aceleradores de pega que contêm CaCl_2 ;
- b) na forma de impurezas dos agregados e da água de emassamento;
- c) atmosfera marinha;
- d) água do mar;
- e) sais de degelo;
- f) processos industriais.

(Fonte: FIGUEIREDO, 2005)

A corrosão das barras de aço em estruturas, apesar de ser exercida por mecanismos diferentes dos do concreto, está intimamente ligado ao mesmo. CASCUDO (1997) afirma que:

Não há corrosão na armadura de uma estrutura de concreto armado se o concreto que a protege não sofrer contaminações e deterioração. Portanto é verdadeiro afirmar que quanto mais inalterado se mantiver o concreto, maior será a proteção da armadura.

(Fonte: CASCUDO, 1997)

No caso do concreto, as causas físicas de deterioração podem ser agrupadas em duas categorias, tais como desgaste superficial (perda de massa devido a abrasão, erosão e cavitação) e fissuração.

Essa última categoria, portanto, se apresenta de uma forma mais complexa que a primeira, uma vez que pode ser ocasionada por diferentes mecanismos, assim como a retração.

A retração consiste na redução de volume na massa de concreto, ocasionada principalmente pela saída de água do concreto, que proporciona uma alteração no estado de tensões da peça estrutural. A alteração volumétrica do concreto pode se dar de algumas formas, sendo elas:

- a) Retração plástica: Acontece no estado fresco quando, através de um fenômeno chamado exudação, a água se desprende da mistura e se deposita na superfície. Este fenômeno é causado pela impossibilidade dos constituintes sólidos fixarem toda a água da mistura, sendo intensificado pela exposição de sua superfície ao vento, aumento da temperatura ambiente e baixa umidade relativa do ar.
- b) Retração hidráulica ou por secagem: Acontece da mesma forma que a retração plástica, entretanto na fase em que o concreto já está no estado endurecido. Ela está ligada ao excesso de água de amassamento, de cura e elevados calores de hidratação
- c) Retração autógena: Ocorre devido à perda de água da pasta para a reação de hidratação do cimento.
- d) Retração térmica: É provocada pelo calor liberado na reação de hidratação, que é exotérmica. Esse calor, portanto, proporciona um gradiente térmico entre as camadas mais próximas a superfície e às mais centrais.

Fissuras anteriores ao endurecimento são, geralmente, resultantes de assentamento diferencial na massa do concreto ou de retração superficial causada pela perda rápida da água quando o concreto ainda é plástico e não possui resistência suficiente para suportar as tensões de tração atuantes.

O QUADRO 1, apresenta resumidamente os mecanismos de deterioração da estrutura, seus respectivos sintomas e os elementos mais afetados por cada um desses mecanismos. Ela apresenta de forma resumida alguns mecanismos não detalhados nesse trabalho, mas que podem ser úteis em alguma análise.

Quadro 1a: Resumo de causas mecanismos sintomas e componente afetado diretamente (FONTE: adaptado de Antrade, 2005)

Causa da deterioração	Mecanismo de deterioração	Sintomas	Afeta diretamente
Mecânica	Choques e Impactos	Fissuração e lascamento; possível perda de armadura	Peça estrutural (Concreto + Aço)
	Recalque diferencial das fundações		
	Acidentes imprevisíveis		
Eletroquímica	Corrosão das Armaduras	Deterioração e perda de seção do aço; perda da aderência aço-concreto; expansão, fissuração e lascamento do concreto	Inicialmente o aço; posteriormente e o concreto

Quadro 1b: Resumo de causas mecanismos sintomas e componente afetado diretamente (FONTE: adaptado de Antrade, 2005)

Causa da deterioração	Mecanismo de deterioração			Sintomas	Afeta diretamente
Física	Desgaste superficial	Atrito	Abrasão	Desgaste superficial do concreto	Concreto
			Erosão		
		Cavitação			
	Cristalização de sais nos poros do concreto			Fissuração e escamamento do concreto	Concreto
	Retração hidráulica do concreto fresco	Assentamento Plástico		Fissuração do concreto	Concreto
Retração Plástica		Concreto			
Gradiente Térmico	Retração Térmica		Fissuração do Concreto		
	Dilatação Térmica			Concreto	
Ação do Fogo (Incêndio)			Fissuração; Desidratação da pasta de cimento; expansão dos agregados e degradação do concreto; ruptura e colapso da armadura	Peça estrutural; concreto + armadura	
Química	Relação Álcalis-Agregado			Expansão e fissuração do concreto	Concreto
	Hidratação dos óxidos do cimento MgO e CaO				
	Ataque por sulfatos			Decomposição química da pasta; despacivação do aço; expansão, fissuração; ou decomposição química, expansão fissuração e degradação do concreto	Concreto
	Ataque por Ácidos			Decomposição química, dissolução e lixiviação; ou decomposição química, expansão fissuração e desagregação do concreto	Concreto (O HCl, por sua vez ataca ambos – concreto e aço)
	Água Pura			Decomposição química, dissolução e lixiviação da pasta de cimento; eflorescência, estalactite e estalagmite	Concreto
	Carbonatação			Redução progressiva do pH do concreto e depassivação do aço, abrindo caminho para a corrosão do aço	Inicialmente o aço; posteriormente e o concreto
	Ataque por Cloretos			Depassivação do aço; posteriormente, corrosão das armaduras (processo eletroquímico)	Inicialmente o aço; posteriormente e o concreto

3.1.3 Execução (mão-de-obra)

Estruturas de concreto armado moldadas em loco, muito raramente são executadas sob condições ideais e, como consequência, as falhas e defeitos² se apresentam com bastante frequência. Na fase de execução, segundo GIORGIO OLIVARI (2005), é comum ocorrer os seguintes erros:

- a) *Erro de interpretação dos projetos*
- b) *Falta de controle tecnológico*
- c) *Uso de concreto vencido*
- d) *Falta de limpeza ou estanqueidade das formas*
- e) *Falta de saturação das formas*
- f) *Armadura mal posicionada*
- g) *Falta de espaçadores e pastilhas para garantir o cobrimento*
- h) *Falta de cuidado com ferros superiores das lajes permitindo o seu rebaixamento*
- i) *Segregação do concreto por erro no lançamento*
- j) *Falta de cura ou cura mal executada*
- k) *Cimbramentos mal executados e desforma antes do tempo*
- l) *Erros de vibração*
- m) *Juntas de concretagem mal posicionadas ou mal executadas*
- n) *Adição de água no concreto além das especificações*
- o) *Falta de fiscalização*
- p) *Erro no dimensionamento ou posicionamento das formas*

(FONTE: GIORGIO OLIVARI, 2005)

3.1.4 Utilização

Problemas patológicos em estruturas oriundos da sua utilização tem origem, obviamente, no usuário final. Dessa forma, sua conscientização na prevenção e na investigação da origem do problema é fundamental. Assim, é importante a divulgação das informações a respeito das más práticas. Segundo GIORGIO OLIVARI (2005), os principais problemas estruturais oriundos da má utilização em construções são:

- a) *Falta de programa de manutenção adequado*
- b) *Sobrecargas não previstas no projeto*
- c) *Danificação de elementos estruturais por impacto*
- d) *Carbonatação e corrosão química ou eletroquímica*
- e) *Erosão por abrasão*
- f) *Ataque de agentes agressivos*
- g) *Intervenções inadequadas na estrutura*

(FONTE: GIORGIO OLIVARI, 2005)

² Por definição, o defeito é a ocorrência que não impede a operação de um sistema (a edificação, no caso). A falha é a ocorrência que impede a operação de um sistema.

3.2 Como Identificá-las?

Em laudo técnico de inspeção predial ao presídio central de Porto Alegre³, realizado pelo IBAPE/RS, atesta-se as seguintes problemas:

- a) *Nichos de segregação e exposição das armaduras inferiores da estrutura, com cobertura insuficiente em processo de corrosão da ferragem;*
- b) *Trincamento nas lajes de entrespaço das galerias, apresentando evidências de infiltração de água dos sanitários das celas;*
- c) *Evidências de infiltração de água através das juntas de dilatação dos pavilhões;*
- d) *Vazamentos das instalações sanitárias, provocando a degradação do concreto e corrosão da armadura.*

(Fonte: <http://www.crea-rs.org.br/>)

Note que os problemas descritos acima foram detectados por uma simples observação da construção em questão. Isso explicita uma importante característica das patologias em estruturas de concreto armado que, na maioria dos casos, têm a identificação de seus problemas por uma simples observação criteriosa da construção.

Diz-se, portanto, que toda estrutura avisa antes do colapso. Isso ocorre porque a ruptura em peças normalmente armadas é projetada para ocorrer no domínio 3, onde o esmagamento do concreto e escoamento do aço levam a uma ruptura dúctil.

Dentro desse contexto, um mau projeto pode levar a problemas difíceis de serem identificados, pois em estruturas superarmadas, a ruptura ocorre no domínio 4. Nesse caso, o aço não chega a escoar e a ruptura se dá de uma forma frágil, acontecendo abruptamente e sem avisar.

GUILHERME BRIGOLINI (2012), sugere uma série de passos para o diagnóstico de patologias (FIGURA 9). É importante notar o “Exame Visual”, presente no início do fluxograma. Essa importante etapa do processo diagnóstico se refere justamente a tentativa em identificar as trincas, fissuras⁴ e deformações que são os principais sintomas que indicam a presença de um problema.

³ As vistorias técnicas foram realizadas nos dias 19 de Abril e 23 de Abril de 2012.

⁴ A classificação da fissuração é feita pela espessura da ruptura, sendo: Fissura capilar (menos de 0,2 mm), Fissura (de 0,2 mm a 0,5 mm), Trinca (de 0,5 mm a 1,5 mm), Rachadura (de 1,5 mm a 5 mm), Fenda (de 5 mm a 10 mm), Brecha (mais de 10 mm).

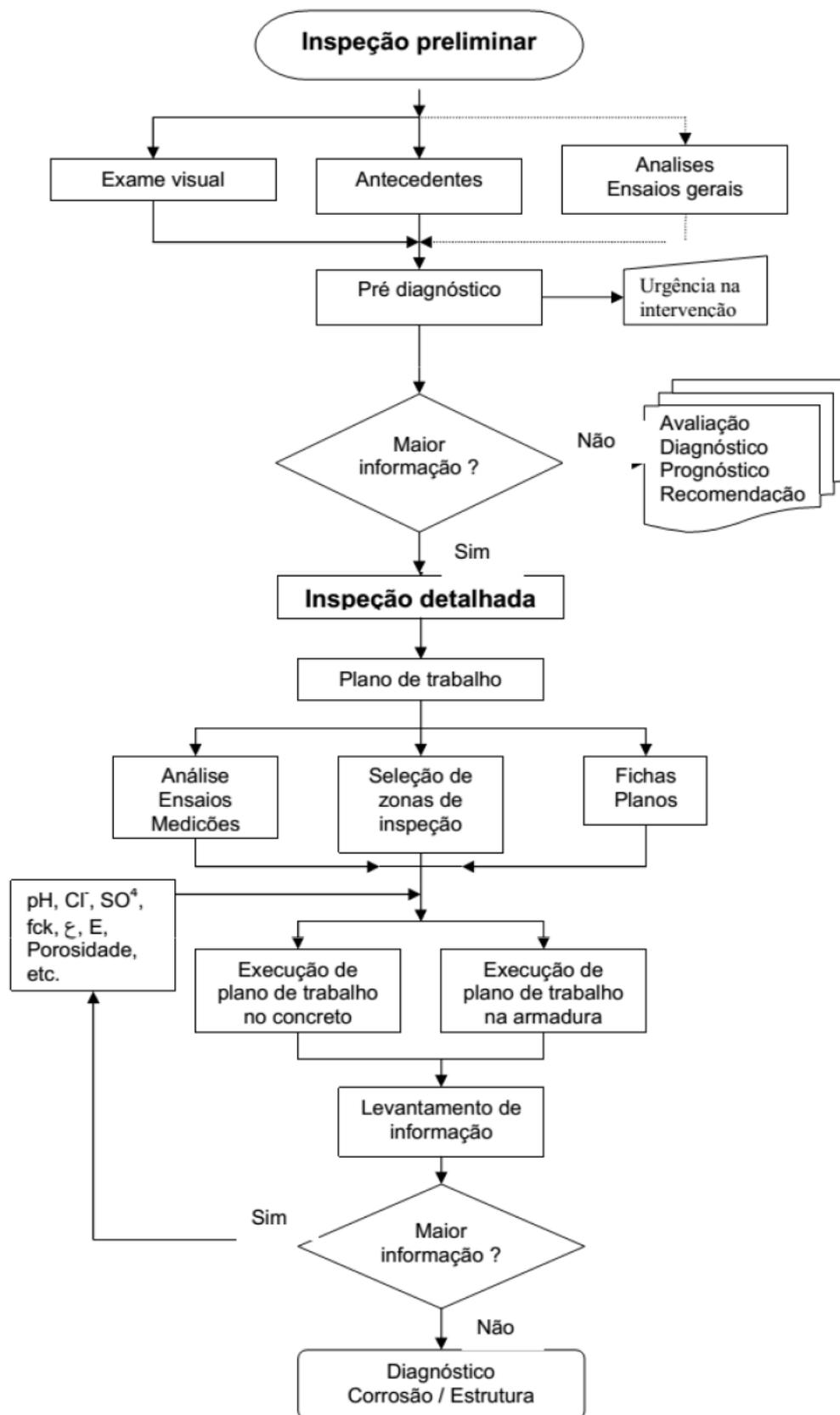


Figura 9: Fluxograma para auxiliar no diagnóstico das patologias estruturais (FONTE: GUILHERME BRIGOLINI, 2012)

Outro sintoma de grande importância que pode ser detectado pela inspeção visual é a exposição de barras de aço, como ilustrado na FIGURA 10. Como já mencionado acima, esse sintoma pode ser decorrente das próprias fissuras. Por isso é muito comum que a presença de fissuras seja identificada juntamente com a exposição das armaduras.



Figura 10: Armadura exposta e enferrujada em laje na entrada do Centro de Tecnologia da UFRJ (FONTE: O autor)

3.2.1 Associando as Fissuras às suas causas mais prováveis

As fissuras, no entanto, não só servirão para evidenciar a existência de um problema, mas como também poderão dar pistas da origem do mesmo. Isso porque, as fissuras com causas diferentes terão configurações diferentes. Assim, identificado um padrão de configuração de fissuras, será fácil associá-lo à sua respectiva causa. No ANEXO 1 há uma tabela que associa *layouts* de fissuras típicas que podem facilmente ser associados a uma causa específica.

As fissuras geradas por flexão em uma viga, por exemplo (mostradas no início do ANEXO 1), se concentram na região central da mesma e têm direção vertical. A medida elas se afastam da região central, ganham uma inclinação na direção dos apoios.

Pode-se dizer que esse tipo não surgirá enquanto a resistência à tração do concreto for maior que as tensões principais de tração. As primeiras aberturas, portanto, só aparecerão na região de máximos momentos fletores (ou seja, no centro do vão), no instante que as tensões de tração atuantes superarem a resistência do concreto à tração. Para este nível de carregamento a viga apresenta trechos fissurados, no estágio II, e trechos não fissurados, no estágio I.

A FIGURA 11 mostra como se comportam as tensões de tração e compressão em uma viga com carregamento constante. Note que a direção ou inclinação das fissuras é aproximadamente perpendicular à direção das tensões principais de tração, ou

seja, a inclinação das fissuras depende da inclinação das tensões principais de tração. Por esta razão, podemos atribuir a flexão a esse tipo de configuração fissuras.

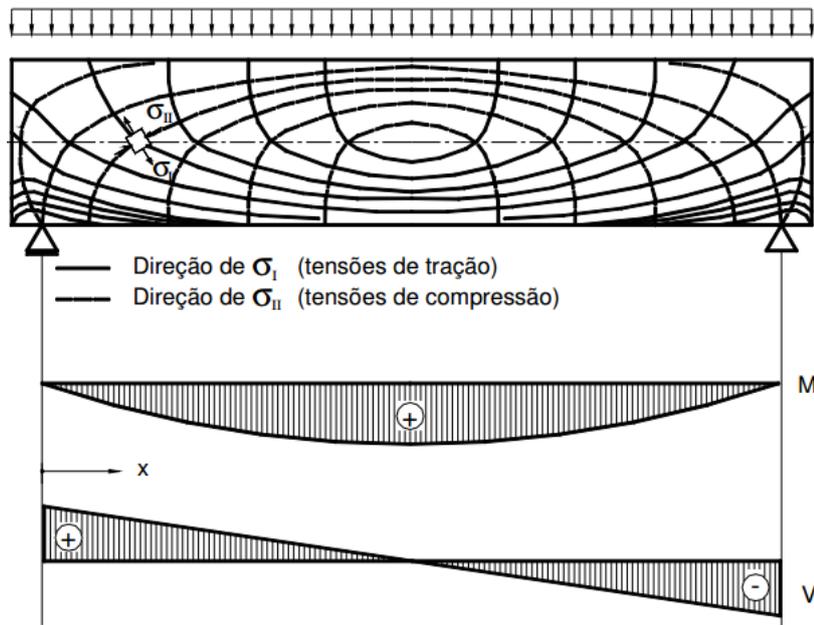


Figura 11: Esquema de tensões principais, momento fletor e cortante em uma viga biapoiada uniformemente carregada ((LEONHARDT e MÖNNIG, 1982)

3.2.2 Os Ensaios:

Após a identificação da existência de um problema é fundamental estudá-lo e entendê-lo corretamente para que não sejam cometidos erros nas etapas subsequentes. Assim, surge a necessidade de serem realizados ensaios que terão o objetivo de contextualizar de forma mais precisa a situação do problema previamente identificado. Dessa forma, esses ensaios terão como objetivo avaliar aspectos qualitativos e quantitativos do concreto e das armaduras.

No caso do concreto, uma importante questão a ser respondida por esses testes, é a resistência a compressão. Ela permitirá calcular um fator de segurança que servirá de critério para as intervenções de reparo. A determinação da resistência a compressão pode ser obtida, portanto, de forma direta através do rompimento de testemunhos extraído da estrutura, que são chamados ensaios destrutivos.

Entretanto, nem sempre é possível ou necessário que se use essa técnica. Isso porque, atualmente há uma série de ensaios não destrutivos que conseguem, com um certo nível de confiabilidade, determinar aproximadamente esse parâmetro de resistência.

Os ensaios não destrutivos descritos a seguir são os mais empregados no mundo, sendo os dois primeiros citados pelas normas técnicas brasileiras.

3.2.2.1 Esclerometria

O ensaio prescrito na NBR 7584 realiza-se com o esclerômetro que permite estimar in situ, de uma forma simples, barata e não destrutiva, a resistência à compressão de elementos de concreto.

Como o ensaio aborda a resistência superficial, os valores encontrados se referem apenas a uma camada até 5 cm abaixo do local ensaiado. No entanto, o procedimento é útil para avaliar a homogeneidade do concreto e verificar se existe um nível mínimo de resistência. A tensão de ruptura à compressão é estimada com base na correlação com o índice esclerométrico.

Uma empresa portuguesa de diagnósticos em estruturas de concreto armado define o mecanismo de funcionamento do ensaio da seguinte maneira:

O esclerómetro do tipo de schmidt (FIGURA 13), aparelho usado no ensaio, mede o retorno de uma força no regime elástico após seu impacto com a superfície do concreto. Quando se pressiona o veio de compressão do esclerómetro contra a superfície de concreto a ensaiar, comprime-se uma mola existente no interior do aparelho. Logo que o veio atinge o fim do seu curso, é libertada, instantaneamente, uma massa que choca com a sua extremidade interior. O choque é transmitido à superfície a ensaiar, a qual reage, provocando um ressalto. O mesmo veio transmite esse ressalto à massa móvel, que, ao deslocar-se, faz mover um ponteiro, visível no exterior do invólucro do aparelho, e registra o ponto máximo do ressalto da massa. Quanto mais dura e compacta for a superfície de concreto, maior será o ressalto.

(FONTE: adaptado do site da OZ DIAGNÓSTICO)

Portanto, o primeiro passo para se executar o teste, é o preparo da superfície ensaiada (FIGURA 12). Essa etapa é muito importante, visto que uma superfície irregular pode comprometer a credibilidade do procedimento. Em seguida, a cabeça do veio de compressão é posicionada perpendicularmente à superfície a ensaiar, empurrando o corpo do esclerómetro contra ela, de forma contínua, até a massa se soltar e se perceber o impacto. Por fim, lê-se o valor obtido pelo aparelho.



Figura 12: Lixamento da superfície antes da execução do ensaio na obra do Museu da Imagem e do Som (FONTE: O autor)

Através desse valor obtido pela escala do aparelho (índice esclerométrico) e com o ângulo entre o eixo longitudinal do esclerómetro e a superfície ensaiada, estima-se o valor da resistência à compressão. Valor esse que é encontrado com o auxílio de ábaco (ANEXO 2).

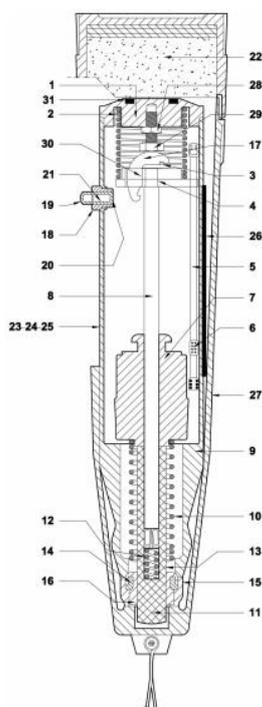


Figura 13: Esclerómetro do tipo de Schmidt (FONTE: <http://www.oz-diagnostico.pt/>)

3.2.2.2 Ultra-som

O ensaio prescrito na NBR 15955 é realizado com o auxílio de aparelho, fazendo-se atravessar uma onda ultrassônica pela peça a ser ensaiada. Os receptores do aparelho medem o tempo gasto pela onda e, assim, calcula-se a velocidade dela (FIGURA 14). Como a velocidade de propagação de uma onda em um meio é

constante, é possível então, detectar a presença de vazios e a avaliar homogeneidade da peça.

No caso da utilização de resinas para o preenchimento das fissuras também podemos utilizar o teste para conferir se os objetivos foram alcançados.

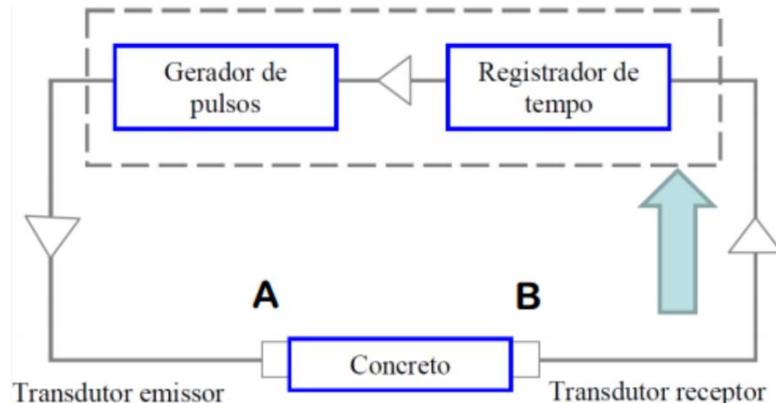


Figura 14: Esquema de funcionamento do ultrassom (FONTE: GUILHERME BRIGOLINI, 2012)

Os emissores e receptores podem ser posicionados nas peças de diversas maneiras, permitindo com que o ensaio seja feito inclusive em locais de difícil acesso onde outros aparelhos não conseguiriam alcançar (FIGURA 15).

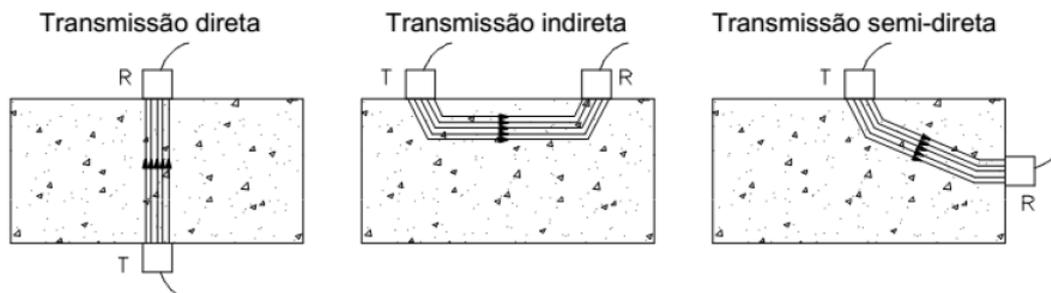


Figura 15: Esquema com possibilidades de transmissão em aparelhos de ultrassom (FONTE: GUILHERME BRIGOLINI, 2012)

3.2.2.3 Pistola Fincapinos

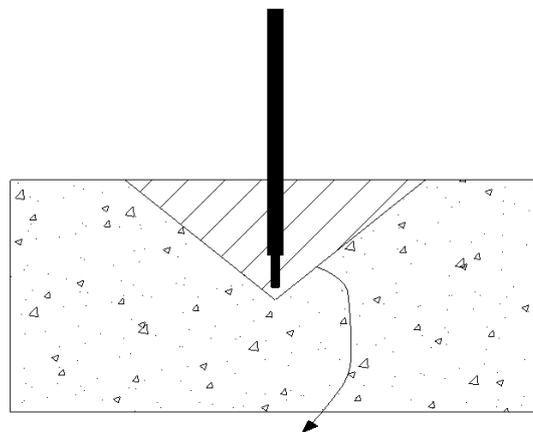
Este ensaio não é mencionado nas normas brasileiras é muito usado. O princípio básico do mesmo é que, em condições padronizadas de ensaio a profundidade de penetração de pinos é inversamente proporcional à resistência à compressão do material (FIGURA 16). O ANEXO 3 mostra uma tabela que relaciona a penetração dos pinos com a resistência do concreto

O procedimento é bastante simples, podendo ser descrito da seguinte maneira:

- 1- O aparelhamento é preparado, introduz-se na alma da pistola o pino liso de aço. Posteriormente, num estojo próprio chamado “porta-fincapino”, coloca-se o cartucho ou fincapino. Este estojo deve ficar praticamente junto ou encostado a cabeça do pino de aço, de modo que este receba toda a força do disparo;

- 2- Leva-se a mesma até a face do concreto a ser examinado, cuja superfície deve estar de certa forma mais ou menos alisada, para que a penetração se faça sem maiores contratempos;
- 3- Acionando-se o gatilho da pistola, o pino é de imediato cravado no concreto, com uma penetração, cuja profundidade depende da qualidade do mesmo concreto. Retirada a pistola, para novo carregamento, mede-se a parte do pino de aço que ficou de fora da superfície do concreto. E subtrai-se esta medida dos 55mm (comprimento total do pino), obtendo-se o valor da penetração

Cada penetração, em *mm*, corresponde a uma tensão de ruptura do concreto, de acordo com uma tabela de correlação obtida.



Área afetada pela penetração do pino

Figura 16: Esquema mostrando a zona afetada pelo ensaio de Finca-pinos (FONTE: O autor)

3.2.2.4 Resistência ao arranchamento ou Pull off

Neste ensaio, utiliza-se o torquímetro (FIGURA 17) para medir a carga necessária à extração de um parafuso com luva de expansão, que se dilata à medida que a carga é aplicada. O procedimento, apesar de não ser normalizado no Brasil, utiliza-se do mesmo aparelho empregado no ensaio de aderência de argamassas (esse sim regulamentado pelas normas nacionais).

O *Pull off* baseia-se na ideia de que a força de tração necessária para arrancar um disco metálico colado na superfície de concreto, é proporcional com a resistência à compressão do concreto.

Portanto, a primeira etapa do ensaio é colar a peça metálica na superfície ensaiada através de uma resina. Em seguida, após decorrer o tempo necessário para a cura desta cola, aplica-se uma força de tração axial por meio de aparelho mecânico que é capaz de ler a intensidade da força aplicada. Procede-se, assim, com o aumento progressivo da força até o instante da ruptura, quando será feita a leitura da tensão crítica.

Alguns fatores podem interferir nos resultados obtidos, proporcionando uma variabilidade no ensaio. Nesse sentido, as características do concreto, a variação na superfície de ruptura, configuração dos agregados sobre o disco, material do disco,

dimensões do disco, sistema de reação (anel ou tripé) e velocidade de aplicação da força, são alguns fatores que podem influenciar. Além disso, a presença de armaduras logo abaixo das pastilhas coladas também pode gerar distorções, sendo interessante que se realize um ensaio de pacometria anteriormente, para auxiliar a decidir o local onde serão coladas as pastilhas.

Este método tem grande utilidade quando deseja-se verificar a tensão de aderência de materiais de reparo em peças de concreto. Na aplicação de concretos projetados, por exemplo, é comum que ele seja utilizado para atestar eficiência da ligação entre o concreto velho e o novo.

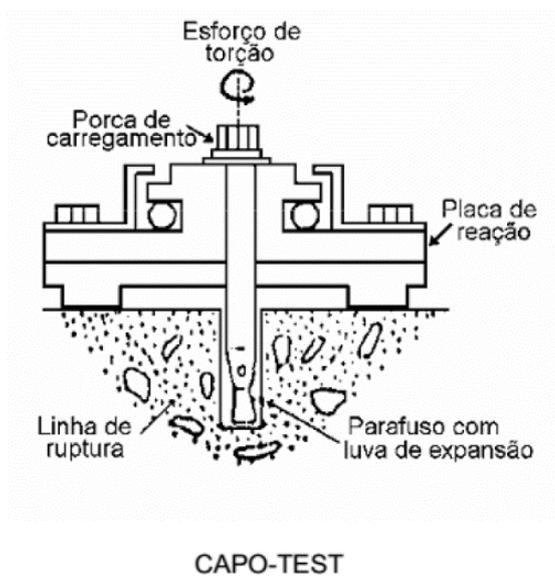


Figura 17: Esquema mostrando o funcionamento do ensaio de Pull off (FONTE: GUILHERME BRIGOLINI, 2012)

3.2.2.5 Pacometria

Este ensaio permite a detecção de armaduras bem como do seu cobrimento de concreto e é realizado usando o detector de armadura conhecido como pacômetro. O procedimento baseia-se na leitura da interação entre as armaduras e a baixa frequência de um campo eletromagnético criado pelo próprio aparelho. A partir dos dados recolhidos (intensidade e frequência) é possível localizar as barras de aço, assim como estimar o diâmetro e cobrimento das armaduras (SANTOS, 2008).

Segundo Santos (2008), a base do método de ensaio está descrita em ACI 228 2R-98. As medidas podem ser obtidas em milímetros para o cobrimento, para distância horizontal entre armaduras e para o diâmetro da armadura para a estrutura.

Após a calibração do aparelho, o ensaio consiste em percorrer os pontos previamente marcados com a sonda, identificando por sinal sonoro a existência de armadura nas proximidades do ponto, fazendo-se então a leitura do cobrimento da armadura e o espaçamento entre essas.

3.3 Como tratá-las?

Após a identificação dos problemas, e a avaliação criteriosa dos mesmos, a decisão passa por um método que seja o mais efetivo. Nessa análise, pode-se concluir, por exemplo, a inviabilidade técnica do empreendimento, sendo mais viável a demolição e construção de uma nova edificação.

Tal avaliação, embora de fundamental importância para o estudo do tema em desse trabalho, não será detalhado no mesmo. Aqui, limitou-se a tratar das principais técnicas de reparo das patologias.

3.3.1 *Concreto Projetado*

Esse método é constantemente aplicado em de túneis, paredes de contenção, piscinas e em recuperação e reforço estrutural de lajes, vigas, pilares e paredes de concreto armado, sendo mais comum em obras de grande porte.

A execução dispensa a utilização de formas e se dá pela projeção contínua de concreto ou argamassa sob pressão que, por meio de um mangote, é levado de um misturador até um bico projetor, e lançado com grande velocidade sobre a base.

Assim, o choque do novo concreto sobre a base proporciona a sua compactação, sem a necessidade do uso de vibradores, dando origem a um concreto de alta compactidade e resistência.

Tal técnica pode ser executada tanto por via seca quanto por via úmida. Na primeira, é feita uma mistura a seco de cimento e agregados, e em seguida no bico projetor, é adicionada a água. Esse processo tem como vantagem a possibilidade de o operador controlar a consistência da mistura de acordo com as necessidades, uma vez que é ele quem determina a quantidade de água adicionadas no bico projetor. Por outro lado, essa dosagem manual pode gerar uma maior variabilidade da mistura, proporcionando assim um material de pior qualidade.

A outra opção é a via úmida, onde o concreto é preparado normalmente, misturado em local próprio e lançado pelo mangote até o bico projetor. Nesse segundo processo, tem-se a vantagem da precisão nas quantidades de água na mistura, que garante uma adequada hidratação do concreto. Além disso, esse processo proporciona menores perdas com a reflexão do material e produz menor quantidade de pó durante a aplicação.

A etapa anterior ao lançamento do concreto é a preparação da base da superfície onde o concreto será projetado, removendo as concentrações de bolor, óleos e graxas, material solto e poeira. A utilização de jatos de areias é muito recorrente para ajudar nesse processo.

Após o preparo da base, a superfície tem que ser umedecida e em seguida projeta-se a argamassa de cimento, areia e água, para compor uma pequena camada que servirá de “berço” para projetar a mistura com agregado graúdo e baixo teor de água, sem o risco de produzir elevadas reflexões.

BEZERRA (1998) afirma que não deve-se projetar grandes espessuras de uma única vez, e sim, é recomendado “varrer” a superfície, aumentando-se progressivamente a espessura da concretagem, que segundo SOUZA E RIPPER (1998), deve ter no máximo 50 mm, cada camada.

Como a cura é essencial para se alcançar um concreto sem fissuras e de boa resistência, deve-se proceder umidificando ou aplicando agente de cura sobre a última camada durante em no mínimo 7 dias após a concretagem.

Um dos maiores problemas da aplicação do concreto projetado é a reflexão do material, principalmente do agregado graúdo, uma vez que ele é lançado com grande velocidade sobre a superfície.

A reflexão depende de muitos fatores, como a hidratação da mistura, a relação água/cimento/agregado, a granulometria dos agregados, a velocidade de saída do bico projetor, a vazão do material, o ângulo da superfície de base, a espessura da camada e a habilidade do operador.

A perda no começo é maior, reduzindo ao longo da concretagem, visto que após certa quantidade de concreto já ter aderido à superfície a aderência fica facilitada

Um ponto importante a se chamar a atenção é que não se deve aproveitar o concreto refletido em outro jateamento. Isso porque, ao entrar em contato com o chão, esse material fica contaminado adquirindo impurezas e comprometendo a qualidade final do concreto.

Em Congresso apresentado em João Pessoa (2007)⁵ estudou-se as propriedades do concreto projetado por via úmida aplicado no reforço estrutural das plataformas marítimas de produção de petróleo, situadas na costa do Estado do Rio Grande do Norte. A FIGURA 18 mostra um uma parte da plataforma que já se aplicou o concreto projetado e outra parte que ainda não foi concretada.

A primeira etapa da análise das características deste concreto foi um exame visual. Assim, atestou-se as seguintes complicações:

- a) Reflexão devido ao impacto do concreto projetado com superfícies duras, sendo determinada pelo índice de reflexão;
- b) Desplacamento devido à falta de aderência entre o concreto projetado e o substrato;
- c) Sombra, vazios formados atrás das armaduras.

⁵ II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica João Pessoa - PB – 2007 (Marcos ANJOS (1); Walney SILVA (2); Alexandre PEREIRA (3); Hoffman RODRIGUES(4); Valtencir GOMES (5))



Figura 18: Concreto projetado na plataforma de petróleo no Estado do Rio Grande do Norte (FONTE: Marcos ANJOS – et. al, 2007)

Em seguida, foram realizados alguns ensaios para avaliar o resultado do procedimento. Dentre esses ensaios, realizou-se o *Pull off*, para atestar o desempenho da ligação do concreto novo com o velho. Os resultados dos apresentaram uma boa uniformidade nos valores, com média acima de 0,5 MPa de resistência à tração, valor mínimo requerido para esta propriedade.

Além do *Pull off*, foram realizados ensaios destrutivos e a esclerometria, para determinar a resistência a compressão do concreto aplicado. Os corpos de prova para o ensaio destrutivo foram obtidos através da projeção em estrados de madeira. Os resultados, dos dois ensaios de compressão foram compatíveis, indicando uma resistência média de 24,4 Mpa. Entretanto, esse valor foi inferior ao de 27 Mpa, obtido em corpos de prova moldados em laboratório com mesmo traço.

3.3.2 Tratamento de fissuras

Quando estamos falando de tratamento de fissuras, o principal objetivo é o de criar um bloqueio que irá impedir a passagem de gases e líquidos que podem, através de alguns mecanismos, gerar danos ao concreto ou à armadura. Além disso, o tratamento proporciona um ganho estético e uma melhor sensação de segurança. Portanto, esse método não torna o elemento estrutural mais resistente, ele simplesmente protege o mesmo contra futuros mecanismos que podem comprometer o desempenho da estrutura.

A decisão do material escolhido para preenchimento da fissura passa pela avaliação da mesma. Assim, quando a fissura estiver ativa (houver movimento), procede-se apenas com a vedação das fissuras ou com o eventual preenchimento dos vãos com material elástico e não resistente, permitindo assim sua movimentação e protegendo o concreto.

Para fissuras passivas, que não se movimentam, recomenda-se material rígido. Este material não terá somente a função de proteção contra agentes externos, mas como também de reestabelecer o monolitismo da peça estrutural.

Para o perfeito enchimento do espaço formado entre as bordas de uma fenda, o procedimento usado é a injeção, que garante tanto o monolitismo da estrutura em fendas passivas quanto a simples vedação em fendas ativas.

Outra escolha importante é a da bomba de injeção, que dependerá da profundidade da fissura, ou seja, a pressão da bomba depende desse fator.

Geralmente são usadas resinas epoxídicas para injetar em fissuras inativas, por conta de sua baixa viscosidade, ausência de retração, altas capacidades resistente e aderente, bom desempenho na presença de agentes agressivos e do rápido endurecimento.

O procedimento de injeção é detalhado por SOUZA E RIPPER (1998) da seguinte forma:

- a) *Abertura de furos ao longo do desenvolvimento da fissura, com diâmetro da ordem dos 10 mm e não muito profundos (30mm), obedecendo a espaçamento que deve variar entre os 50 mm e os 300 mm, em função da abertura da fissura (tanto maior quanto mais aberta for), mas sempre respeitando um máximo de 1,5 vezes a profundidade da fissura;*
- b) *Exaustiva e consciente limpeza da fenda – ou do conjunto de fissuras, se for o caso – e dos furos, com ar comprimido, por aplicação de jatos, seguida aspiração, para remoção das partículas soltas, não só as originalmente existentes (sujeiras), mas também as derivadas da operação de furação;*
- c) *Nos furos, são fixados tubinhos plásticos, de diâmetro um ponto inferior ao da furação, com parede pouco espessa, através dos quais será injetado o produto. A fixação é feita através do próprio adesivo que selará o intervalo da fissura entre dois furos consecutivos;*
- d) *A selagem é feita pela aplicação de uma cola epoxídica bicomponente, em geral aplicada à espátula ou colher de pedreiro. Ao redor dos tubos plásticos, a concentração da cola deve ser ligeiramente maior, de forma a garantir a fixação deles⁶;*
- e) *Antes de se iniciar a injeção, a eficiência do sistema deve ser comprovada, o que pode ser feito pela aplicação de ar comprimido, testando então a intercomunicação entre os furos e a efetividade da selagem. Se houver obstrução de um ou mais*

⁶ Esse item do procedimento se aplica a aberturas inferiores a 10 milímetros

tubos, será indício que haverá necessidade de reduzir-se o espaçamento entre eles, inserindo-se outros a meio caminho;

- f) Testado o sistema e escolhido o material, a injeção pode então iniciar-se, tubo a tubo, sempre com pressão crescente, escolhendo-se normalmente como primeiros pontos aqueles situados em cotas mais baixas.*

No caso das fissuras ativas, a selagem é usada para vedar os bordos da abertura. Para isso, usa-se um material que deve ser aderente, resistente química e mecanicamente e que seja flexível o bastante para se conformar à configuração geométrica da fenda.

Quando a largura das aberturas estiverem entre 10 e 30 milímetros, deve-se proceder da seguinte forma:

- a) Abertura na região da trinca de um sulco em formato de Vê, com profundidade e largura de aproximadamente 10 mm e 30 mm respectivamente, segundo THOMAZ (1989);
- b) Limpeza do sulco para remoção de resíduos de pó;
- c) Enchimento da fenda sempre na mesma direção, com graute, e selando as bordas com produto à base de epóxi.

Por último, fissuras maiores que 30 milímetros deverão ser encaradas como juntas de dilatação e tratadas da seguinte maneira:

- a) Abertura de um sulco como descrito para aberturas entre 10 e 30 mm e posterior limpeza;
- b) Inserção de um cordão em poliestireno extrudado, ou de uma mangueira plástica, que terá como função além de um limitador da quantidade de selante a ser utilizado impedirá que o mastique venha a aderir ao fundo da fissura, o que comprometeria não só a durabilidade, mas o seu próprio trabalho.

Segundo SOUZA E RIPPER (1998), quando a abertura é muito grande pode-se colocar juntas de neoprene terá função tanto do mastique quanto do cordão, que será aderida os bordos da fenda pela utilização de adesivos epoxídicos.

A empresa americana ADHESIVES TECHNOLOGY, que oferece um kit pra injeção em fissuras, apresenta em seu site um tutorial com os passos para a aplicação da técnica. Nesse kit, está presente o equipamento usado para fazer a injeção da resina, que é mostrado na FIGURA 19.



Figura 19: Equipamento para injeção de resinas epoxídicas (FONTE: site da ADHESIVES TECHNOLOGY)

3.3.3 Costura de fissuras (método do grampeamento)

Nessa técnica é empregada uma armadura adicional para suportar os esforços extras que causaram as fissuras. Para isso, utiliza-se grampos que terão a finalidade de costurar a fissura e, assim, garantir a estabilidade da peça.

Antes do início do procedimento, é necessário que se promova o descarregamento da estrutura, que pode ser feito colocando apoios que aliviem as cargas nas regiões próximas ao reparo.

Em seguida, procede-se com a colocação dos grampos, os quais não devem ser posicionados de forma alinhada, como mostrado na FIGURA 20. Isso porque, os grampos, quando posicionados paralelamente entre si, podem gerar uma região de concentração de tensões, acarretando em futuras fissuras na vizinhança daquela que está sendo costurada.

Em função da vulnerabilidade dessa região costurada, RIPPER E SOUZA (1998) afirmam:

A técnica é de discutível aplicação[...] pois aumenta a rigidez da peça localizadamente, e se o esforço gerador da fenda continuar, com certeza produzirá uma nova fissura em região adjacente.

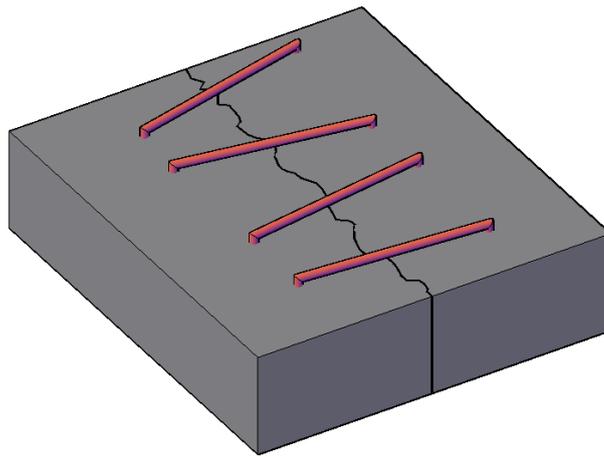


Figura 20: Esquema mostrando configuração dos grampos (FONTE: O autor)

Esses grampos atuarão como pontes entre as duas partes do concreto, divididas pela fissura e a esse processo dá-se o nome de costura das fendas.

Muitas vezes, após a aplicação dos grampos, aplica-se uma camada de argamassa (projetada ou não), que terá a função de preencher os furos dos grampos, ajudando a fixá-los, e servirá também como camada protetora.

A empresa americana CONCRETE STAPLE, que oferece grampos para aplicação dessa técnica apresenta em sua página um tutorial para a aplicação de seus produtos. Nesses tutoriais, a empresa sugere que sejam feitos cortes transversais (na posição onde serão colocados os grampos), como ilustra a FIGURA 21. Ela sugere ainda que se utilizem furadeiras para cravar os pinos e uma resina epóxi para melhor fixá-los ao concreto (FIGURA 22). Por fim ela recomenda que os grampos sejam fixados à peça danificada através de uma resina epóxi, como ilustrado na FIGURA 23



Figura 21: Corte transversal a fissura onde será posicionado o grampo (FONTE: site da CONCRETE STAPLE)



Figura 22: Furadeira executando os furos onde serão cravados os grampos (FONTE: CONCRETE STAPLE)



Figura 23: Aplicação de resina epóxi e colocação do grampo (FONTE: CONCRETE STAPLE)

3.3.4 Reforço por complementação ou adição de armaduras

Quando fala-se em reforço estrutural, o principal objetivo é o de estabelecer condições para que a estrutura seja capaz de suportar as cargas atuantes, ou as cargas que virão a atuar.

Esse procedimento pode ser necessário, por exemplo, em situações em que a estrutura foi mal projetada ou mal executada e não está sendo capaz de resistir as cargas atuantes.

Outra situação que o reforço é utilizado é quando as cargas mudam. Por exemplo quando um prédio residencial for adaptado para se transformar um hotel. Nessa situação haverá uma completa reestruturação dos compartimentos, alterando significativamente as cargas. Portanto, nesse exemplo, alguns elementos estarão mais e outros menos solicitados do que na estrutura original. Assim, aqueles que vierem a ser mais solicitados necessitaram de um reforço para resistir a essas cargas adicionais.

Nesse sentido, a complementação de armaduras consiste em acrescentar barras ao elemento estrutural e cobri-las com concreto, proporcionando dessa forma o aumento da seção transversal do elemento.

A FIGURA 24, a seguir, ilustra algumas configurações para reforço de uma seção transversal retangular, que pode ser executado tanto nas quatro faces quanto em apenas uma.

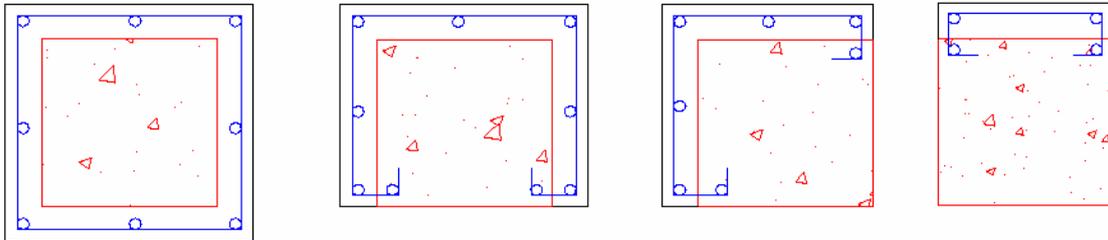


Figura 24: Esquema com as possibilidades de reforço por complementação de armaduras em seções transversais retangulares (FONTE: SILVA, 2007)

Uma importante relação para a decisão envolvendo a adição de armaduras é o percentual de área corroída de aço em relação a área da seção original. Relação essa que obtida com o auxílio do projeto original e de um ensaio de pacometria descrito no item 3.2.2.5 deste trabalho.

De acordo com SOUZA E RIPPER (1998)

É costume adotar-se o princípio de que a necessidade de adição de uma nova barra existe sempre que a redução da seção da barra corroída tiver ultrapassado 15%”.

Por isso, a não ser em casos mais especiais (como no acréscimo de cargas), não se utiliza armadura complementar, quando:

$$\frac{A_{s,corr}}{A_s} \leq 0,15$$

Cabe lembrar, que esse valor de 15% corresponde a área corroída total de todas as barras analisadas na mesma seção transversal e não a corrosão de uma barra individualmente.

No caso de a área danificada superar esse valor, deve se proceder da seguinte maneira

- Cortar o trecho danificado da barra;
- Substituir o pedaço danificado, através de solda ou amarrando com arame o complemento ao pedaço da barra, respeitando o transpasse das mesmas (depende do tipo de aço das armaduras existentes);
- Limpeza da superfície;
- Aplicação de resina epóxi nas armaduras e no concreto, servindo de ponte de ligação do concreto antigo com o novo e ainda sendo uma barreira impermeável que isolará as armaduras do exterior;
- Reconstruir do elemento estrutural com concreto (projetado ou moldado) ou qualquer outro material, como argamassa convencional ou epóxi.

O inconveniente do acréscimo de armadura ao elemento estrutural é o aumento da carga gerado por essa técnica, fato que deve ser considerado ao tomar a decisão da intervenção a ser feita

Outro ponto a ser considerado nesse caso é a relação armadura-concreto na seção transversal do elemento reforçado. Como lembrado no item 3.2 desse trabalho, peças superarmadas acarretam uma ruptura brusca e, portanto devem ser evitadas.

3.3.5 Reforço com aplicação de chapas e perfis metálicos

Nessa técnica, faz-se uso chapas de aço chumbadas ou coladas com resina epóxi ao concreto (ou parafusadas), com o objetivo de resistir aos esforços cortantes, de flexão e torção. As chapas devem ser executadas de forma a promover uma perfeita ligação com o concreto, a fim de que elas possam receber as cargas que estão atuando sob o concreto.

Segundo SOUZA E RIPPER (1998), as principais observações referentes ao reforço com chapas coladas são:

- a) Não exceder a espessura máxima de cola que é de 1,5 mm;*
- b) Não ultrapassar a espessura de 3 mm das chapas, salvo quando utilizados dispositivos de ancoragem especiais (buchas metálicas expansivas, em particular);*
- c) Não superar em 50% o incremento a ser obtido nos esforços resistentes, comparada à situação anterior ao reforço.*

De acordo CÁNOVAS (1998) *apud* RELVAS (2004), os problemas mais comuns na aplicação de chapas metálicas para reforço se referem a falhas de aderência por efeito de esforço cortante superficial na ligação do aço com o adesivo e por tensão de tração na ligação do adesivo com o concreto. O adesivo precisa ter módulo de elasticidade transversal inferior nos apoios de vigas a fim de mitigar o efeito de esforço cortante e resistência à tração por aderência superior a 1,5 MPa no meio do vão, onde as solicitações de flexão e tração são superiores.

Os perfis metálicos também são uma alternativa e, segundo CÁNOVAS (1988) a essa é a técnica mais antiga de reforços. Para o caso dos pilares, os perfis do tipo *U* e *L* são os mais usados, sendo o último mais frequente em razão do seu menor peso por metro linear.

Dentro desse contexto, também são muito comuns os perfis tipo cantoneiras (FIGURA 25), que devem ser fixados nas quatro arestas do pilar e ligados lateralmente entre si por meio de presilhas soldadas. No trecho superior do pilar deve-se colocar um capitel metálico e no trecho inferior uma base metálica. Tanto o capitel quanto a base metálica terão o objetivo de transferir as tensões nessa região entre pilar, cantoneiras lajes e vigas, portanto são de fundamental importância para que esse reforço funcione de forma eficiente.

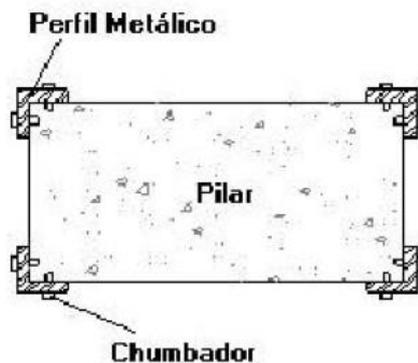


Figura 25: Esquema mostrando o reforço com utilização de cantoneiras em pilares (FONTE: SILVA, 2007)

3.3.6 Reforço de pilares com polímeros reforçados com fibra de carbono

Essa técnica mais moderna consiste em fixar, através de resinas epoxílicas, um material compósito de fibra de carbono à estrutura danificada. O excelente desempenho das fibras de carbono, em termos de resistência, permite proporcionar a estabilidade necessária à peça que está sendo tratada.

Pode-se dizer, portanto, que a aplicação das fibras de carbono muito se parece com os reforços com chapas de aço. Porém, a técnica mais moderna possui algumas vantagens com relação a outra, assim como a maior rapidez, facilidade e eficácia na aplicação da mesma. Essas vantagens se dão devido ao baixo peso específico e às pequenas dimensões dos polímeros reforçados com fibra de carbono, que proporcionam um reforço que praticamente não alteram a geometria e a carga permanente da estrutura. BEBER (2000) afirma que para um mesmo incremento de resistência, 2 kg desse material compósito poderiam substituir 47 kg de aço. Outras vantagens que podem ser destacadas são a maleabilidade e a imunidade à corrosão, aspectos que tem que ser tratados com mais cuidado quando fala-se de reforço com chapas de aço.

Contudo, pode-se citar algumas desvantagens dessa solução, tais como de reforço tem suas desvantagens. Sendo as mais relevantes, a incompatibilidade desse sistema com superfícies irregulares, a baixa resistência ao fogo e à exposição aos raios ultravioletas.

A técnica pode ser usada em lajes e vigas para aumentar suas resistências à flexão e ao esforço transversal. Nesses casos, devemos atentar ao desenvolvimento dos detalhes no sistema de colagem do compósito e na análise detalhada das tensões de deslizamento na ligação entre o concreto e o compósito.

Ao contrário da superfície áspera, condição ideal para realização de reparos com concreto e argamassa, neste sistema deseja-se uma superfície lisa, obtida por meio de esmerilhadeira, procurando somente remover a fina camada de nata de cimento que se forma na superfície das estruturas de concreto e a remoção de sujeiras, para que haja a perfeita aderência da camada de concreto da interface.

A técnica de reforço com fibras de carbono foi aplicada em viaduto na cidade de San Antonio no Texas (EUA, 2011). Na ocasião havia a necessidade de aumentar a resistência das vigas ao esforço cortante, em função do aumento significativo que as cargas de tráfego vem apresentando nos últimos anos.

Nesse caso a aplicação das fibras de carbono se apresentou como uma excelente solução ao problema, uma vez que a técnica permitiu o reforço da estrutura sem que fosse necessária a interdição da via. A FIGURA 26 mostra a fibra de carbono sendo aplicada na viga do viaduto.



Figura 26: Aplicação da fibra de carbono na viga do viaduto em San Antonio – Texas (EUA) (FONTE: SITE 1)

O engenheiro Keith Ramsey (diretor de operações de campo), destaca que a melhor maneira de fixar o material de fibra de carbono a peça estrutural é envolvendo todo o perímetro da seção transversal da viga (antes da laje). Nesse sentido, a fixação da fibra somente com a resina epoxídica proporcionaria um acréscimo de apenas 5% de resistência ao esforço cortante, segundo Keith. Por outro lado, se fosse possível envolver a viga com a fibra, esse ganho seria de aproximadamente 50%, segundo ele. Para solucionar esse problema da fixação da fibra à estrutura, foram feitos furos na peça e a fibra foi amarrada a peça por esses furos (como mostrado na FIGURA 27 e na FIGURA 28).



Figura 27: Solução encontrada para melhor fixar a fibra na viga (FONTE: SITE 1)



Figura 28: Solução encontrada para melhor fixar a fibra na viga (FONTE: SITE 1)

4. VISITA TÉCNICA

4.1 Considerações iniciais sobre a obra

O novo Museu da Imagem e do Som (MIS), localizado na Avenida Atlântica no Bairro de Copacabana (Rio de Janeiro, RJ), foi a obra visitada. O empreendimento é uma realização da secretaria de cultura do Estado do Rio de Janeiro e está sendo executado pela Rio Verde Engenharia e Construções. Com uma altura de 36 m e distando cerca de 50 m da orla da praia, o museu ainda conta com 2 andares de subsolo.

A obra, no momento da visita, já havia executado toda a sua estrutura, que apresenta algumas características singulares. Singularidades essas que ocorrem em função do arrojado projeto arquitetônico com pilares inclinados e concretos aparentes. Em razão de se ter um concreto com traço específico, necessitou-se de um rigoroso controle tecnológico afim de se obter os resultados desejados.

O empreendimento, apesar de não ser uma intervenção em uma edificação já construída, apresentou algumas situações em que se necessitou avaliar e criar soluções para a estrutura.



Figura 29: Simulação de uma fotografia mostrando a frente do MIS (FONTE: site da secretaria de cultura do Rio de Janeiro)

4.2 Técnicas aplicadas

4.2.1 Caso do Pilar P23

Uma das situações referentes a investigação de problemas se deu no pilar P23. Após a concretagem, ao desformar o pilar, constatou-se a presença de brocas na superfície da peça. Essa falha, portanto, levantou a suspeita da existência de vazios no interior do P23. Em um primeiro momento, optou-se por investigar o problema através do ensaio de ultrassom, ferramenta que é capaz de detectar a presença de vazios (como mencionado no item 3.2.2). Assim, de acordo com os critérios de avaliação, avalia-se a condição do concreto em excelente, bom, regular (duvidoso), geralmente ruim ou ruim.



Figura 30: Brocas apresentadas na face do P23 (FONTE: O autor)

Velocidade de propagação da onda (m/s)	Condição do concreto
Superior a 4.500	Excelente
De 3.500 a 4.500	Bom
De 3.000 a 3.500	Regular (duvidoso)
De 2.000 a 3.000	Geralmente ruim
Inferior a 2.000	Ruim

Para as leituras efetuadas, 57% delas correspondem a trechos com concreto classificados como ruim (homogeneidade insatisfatória). Em grande parte desses pontos não houve leitura (S/L) por provável deficiência interna de concretagem e evidente deficiência na superfície do pilar. Nos pontos em que as leituras foram excelentes, é provável que tenha havido interferências de barras de aço internas, que ocasionaram o desvio das ondas ultrassônicas.

Com esse resultado insatisfatório, resolveu-se aplicar outro ensaio, para se ter mais precisão na análise do problema. O segundo ensaio realizado no pilar foi o GPR.

O GPR (Ground Penetrating Radar) é um método geofísico não destrutivo que é fundamentado na propagação e reflexão de ondas eletromagnéticas. As sondagens geofísicas são realizadas através da movimentação das antenas transmissoras e

receptoras ao longo de um perfil a ser analisado. A antena transmissora emite pulsos eletromagnéticos na superfície e a antena receptora registra os sinais refletidos na interface entre os diferentes materiais que apresentam propriedades eletromagnéticas distintas (i.e., permissividade dielétrica, condutividade elétrica e permeabilidade magnética). Através dos dados coletados podem-se deduzir informações importantes do elemento estrutural, incluindo a posição das armaduras e estribos e a presença de vazios.

O GPR confirmou a existência de vazios no interior do pilar P23, que já havia sido indicada no ensaio ultrassom. Esses resultados foram encaminhados para o projetista que decidiu por um reforço na área danificada através de injeção de microcimento.

Essa injeção de microcimento foi executada com 10 furos de 10cm de profundidade na região danificada e a posterior injeção do material

4.2.2 Caso da esclerometria

Outra situação que foi apresentada pela obra estudada ocorreu em uma parede diafragma, que apresentou o resultado de compressão em ensaio de rompimento de corpos de prova, abaixo dos especificados em projeto aos 28 dias. Na ocasião, os corpos de prova atingiram a resistência especificada por projeto quando o ensaio foi realizado 56 após a concretagem, não sendo necessário um reforço nesse local. Como, nesse intervalo entre o 28º e 56º dia após a concretagem, não se sabia que o concreto atingiria a resistência especificada, optou-se por executar o ensaio de esclerometria.



Figura 31: Identificação dos pontos e disparo contra a superfície (FONTE: O autor)



Figura 32: Esclerômetro utilizado nos ensaios (FONTE: O autor)

5. Considerações finais

5.1 Comentários

Primeiramente, cabe salientar a importância do domínio dos diversos tipos de mecanismos patológicos nos materiais do concreto. Não só os principais que foram aprofundados no item 3.1.2 deste trabalho mas como também os outros citados no QUADRO 1. Situações não convencionais, como por exemplo um incêndio, desencadeiam mecanismos singulares e, sua compreensão, proporcionará uma melhor solução.

Ainda considerando as origens das patologias, a visita técnica foi capaz de ilustrar o fato de que os problemas podem surgir na fase de execução do empreendimento. Na ocasião, foram utilizados ensaios não destrutivos e destrutivos para avaliar o as bicheiras no pilar P23 e corrigiu-se o problema com um reforço através da injeção de microcimento. Por isso, pode se concluir que as técnicas utilizadas nesse trabalho não se aplicam exclusivamente aos empreendimentos antigos, mas também essenciais às novas obras. Nesse sentido, o domínio dessas técnicas de intervenção é fundamental não só para o profissional de engenharia que trabalha com construções antigas, mas como também àqueles que trabalham com novos empreendimentos.

Quanto aos ensaios, percebe-se que no Brasil há uma quantidade menor de ensaios regulamentados. Na visita técnica, por exemplo, levantou-se a hipótese de realizar o ensaio de finca pinos para avaliar uma peça suspeita, que foi descartado justamente pela falta de regulamentação. Há de se destacar ainda, a importância da utilização combinada desses ensaios. Isso porque eles técnicas que estimam os parâmetros de resistência e, ao serem analisados isoladamente, podem expressar uma situação distorcida da realidade.

5.2 Sugestões

Nesse trabalho, ao ser abordado o tema modificações na estrutura, limitou-se a tratar dos furos e aberturas nos elementos estruturais. Como dito, há diversas outras maneiras de alterar a mesma. Uma outra situação de modificação na estrutura é o acréscimo de elementos à mesma, quando deseja-se, por exemplo, aumentar o número de pavimento de uma edificação. Nesse caso, seriam necessários uma série de cuidados (como reforço dos pilares de pavimentos abaixo), que poderiam também ser objeto de estudo.

Por ser um dos pontos mais fundamentais no contexto das patologias, os diversos tipos de configuração de fissuras são um ponto que também pode ser melhor estudado. Assim, é possível detectar mais facilmente o problema e propor uma solução que irá proporcionar um reparo ou reforço mais eficaz. Por exemplo, se o problema da viga da FIGURA 26 fosse a resistência a flexão, muito provavelmente o reforço aplicado não teria um resultado eficaz, uma vez que ele tinha o objetivo de combater os esforços cisalhantes.

No que diz respeito às técnicas de tratamento, um ponto que não foi aprofundado no presente trabalho e poderia ser objeto de estudo, são os materiais usados em reforços e reparos. Isso porque, atualmente, há uma grande diversidade de argamassas, grutes e resinas, cada um desses materiais mais apropriados a uma determinada situação específica.

Pode-se dizer ainda que esse é um tema o qual dedica-se menos atenção do que de fato deveríamos dedicar. Os cursos de graduação em Engenharia Civil, por exemplo, não possuem disciplinas específicas para tratar das técnicas de investigação e de solução para esses problemas que aparecem com grande frequência dentro dos empreendimentos novos e antigos.

Referências Bibliográficas

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**, 2014.

_____. NBR 7584. **Concreto endurecido — Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão — Método de ensaio**, 2012.

_____. NBR 15955. **Ensaio não destrutivo — Ultrassom — Verificação dos instrumentos de ultrassom**, 2011.

OLIVEIRA, Daniel. **O Conceito de Qualidade Aliado às Patologias na Construção Civil**. Rio de Janeiro: UFRJ: Escola Politécnica, 2013.

GUIMARÃES, Luciana. **Retrofit e a modelagem de informações como ferramenta na análise de projetos**. Rio de Janeiro: UFRJ: Escola Politécnica, 2014.

POLITO, Giulliano. **Corrosão em estruturas de concreto armado: causas, mecanismos, prevenção e recuperação**. Belo Horizonte: UFMG, 2006

CHOQUEPUMA, Melquiades. **Utilização de métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de pontes de concreto**. São Paulo: USP, 2011.

SANTOS, Maurício **Deterioração das estruturas de concreto armado – estudo de caso**. Belo Horizonte: UFMG, 2012

OLIVARI, Giorgio. **Patologia em edificações**. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2003

SILVA, Erick. **Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2006

BRASIL, Rio de Janeiro. **Lei Estadual Nº 6400**, de 05 DE Março de 2013.

Referências Eletrônicas

Notas de aula sobre patologias do professor Guilherme Briogolini

<http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~guilherme/2_aula_concreto.pdf>. Acesso em 05 jan. 2015

História da engenharia

<http://www.snh2011.anpuh.org/resources/anais/14/1312926097_ARQUIVO_Historia_Construcao_Brasil.pdf>. Acesso em 27 dez. 2014

Ensaio de esclerometria

<<http://www.oz-diagnostico.pt/>>. Acesso em 08 jan. 2015

Aplicação de fibras de carbono em viga (Site 1)

<<https://www.youtube.com/watch?v=b4sVzPktjn0>>. Acesso em 15 fev. 2015

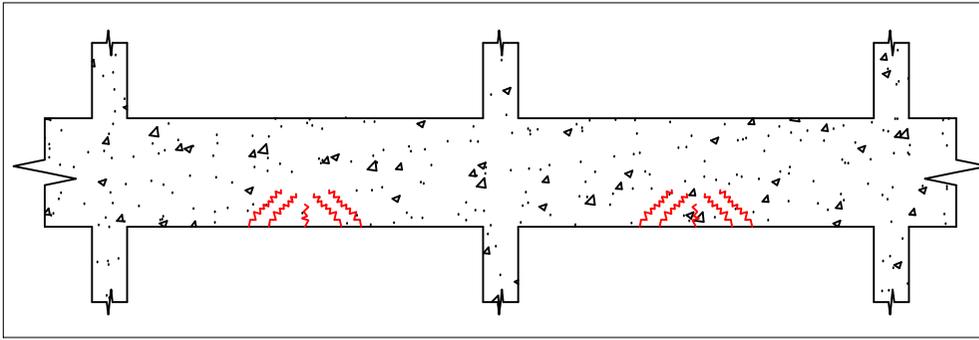
Técnica de grampeamento de Fissuras

<<https://www.youtube.com/watch?v=nPYgbF15bT8>>. Acesso em 20 fev. 2015

Injeção em fissuras

<https://www.youtube.com/watch?v=7_diXmKZp_8>. Acesso em 03 fev. 2015

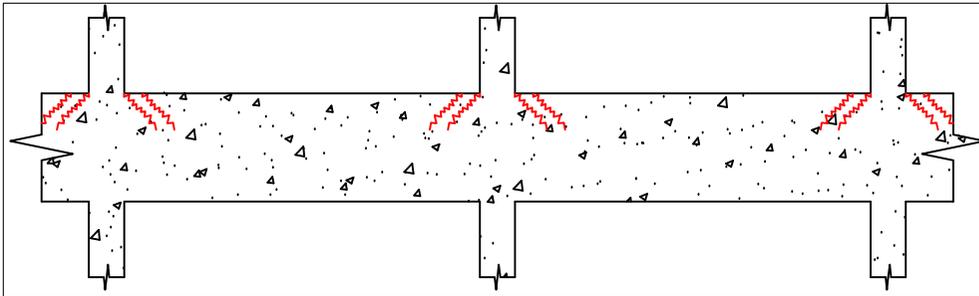
Anexo 1 - As fissuras e suas causas prováveis



A - Fissura por flexão em vigas

Causas Prováveis:

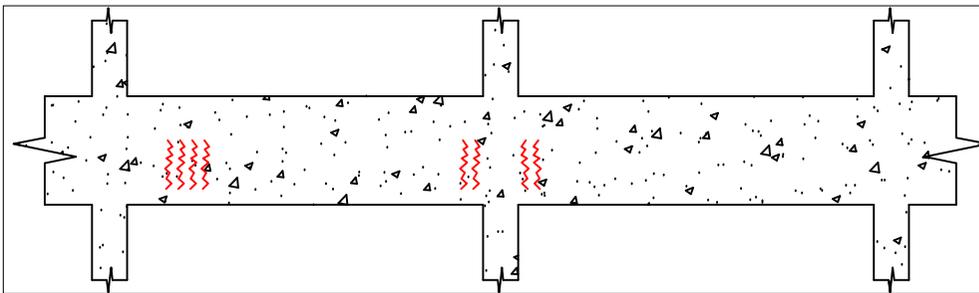
- 1 - Insuficiência de armadura longitudinal positiva
- 2 - Ancoragem insuficiente de armadura longitudinal positiva
- 3 - Sobrecargas acima do previsto



B - Fissura por flexão em vigas

Causas Prováveis:

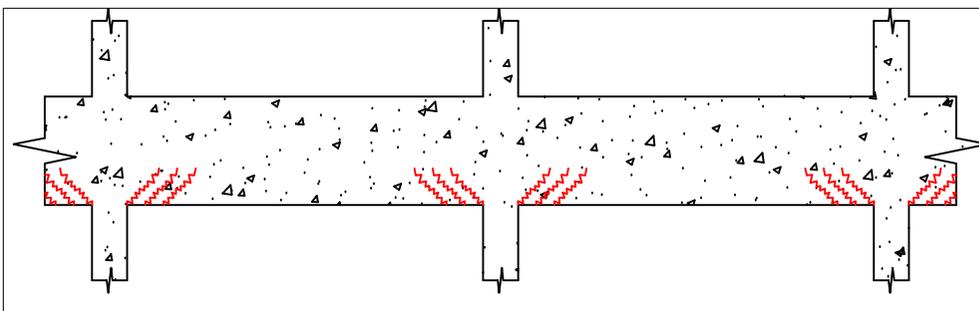
- 1 - Insuficiência de armadura longitudinal negativa
- 2 - Ancoragem insuficiente de armadura longitudinal negativa
- 3 - Sobrecargas acima do previsto



C - Fissura por flexão em vigas

Causas Prováveis:

- 1 - Deslizamento da armadura longitudinal por falta de aderência
- 2 - Ancoragem insuficiente de armadura
- 3 - Sobrecargas acima do previsto
- 4 - Concreto de resistência inadequada

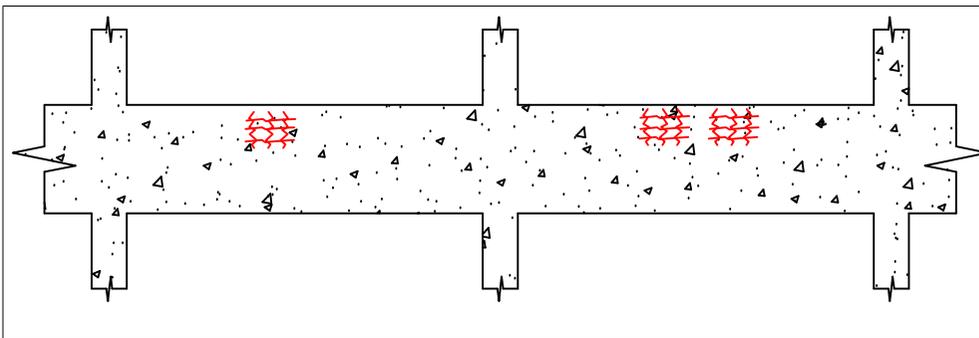


D - Fissura por cisalhamento em vigas

Causas Prováveis:

- 1 - Insuficiência de armadura transversal (estribos);
- 2 - Concreto de baixa resistência;
- 3 - Sobrecargas acima do previsto;
- 4 - Estribos mal posicionados

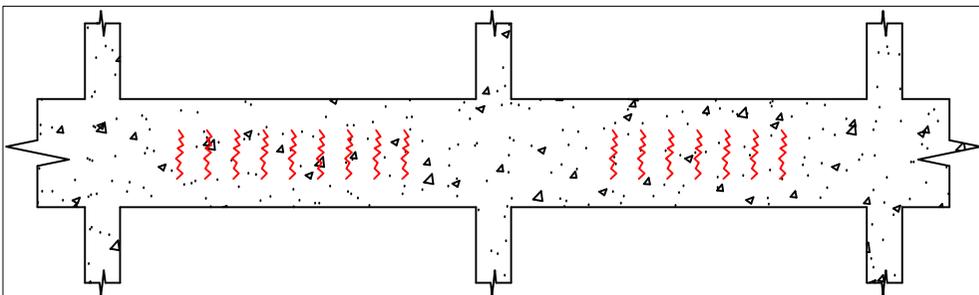
Anexo 1 - As fissuras e suas causas prováveis



E - Fissura por esmagamento em vigas

Causas Prováveis:

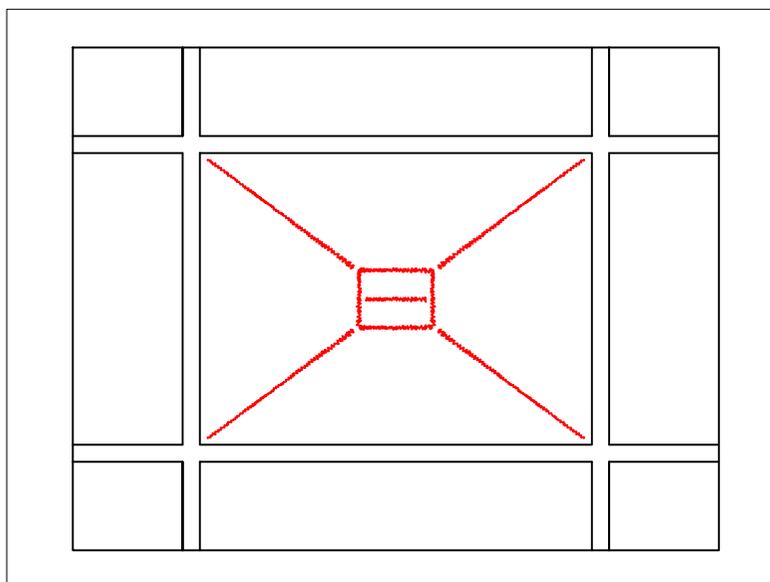
- 1 - Insuficiência de armadura longitudinal positiva
- 2 - Ancoragem insuficiente de armadura longitudinal positiva
- 3 - Sobrecargas acima do previsto



F - Fissura por retração em vigas

Causas Prováveis:

- 1 - Insuficiência de armadura longitudinal positiva
- 2 - Ancoragem insuficiente de armadura longitudinal positiva
- 3 - Sobrecargas acima do previsto

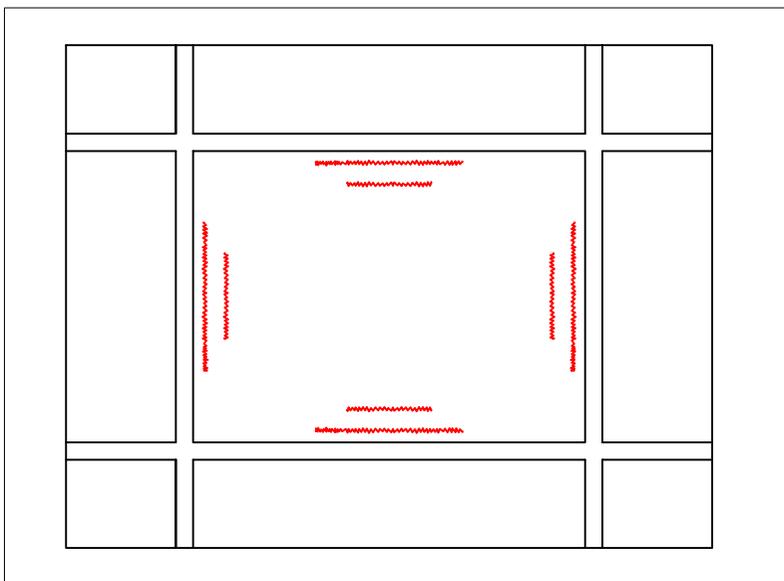


G - Fissuras na parte inferior da laje

Causas Prováveis:

- 1 - Insuficiência de armadura positiva
- 2 - Ancoragem insuficiente de armadura
- 3 - Sobrecargas acima do previsto

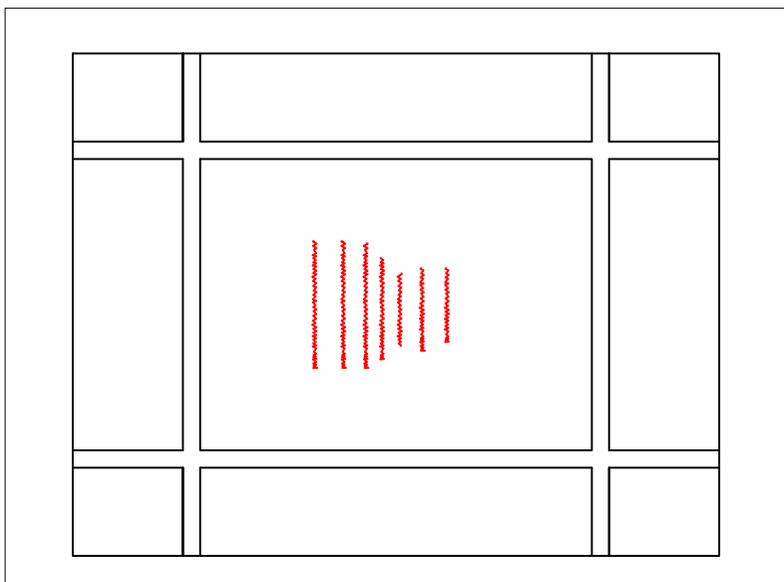
Anexo 1 - As fissuras e suas causas prováveis



H - Fissura na parte inferior da laje

Causas Prováveis:

- 1 - Espessura do concreto insuficiente
- 2 - Sobrecargas acima do previsto

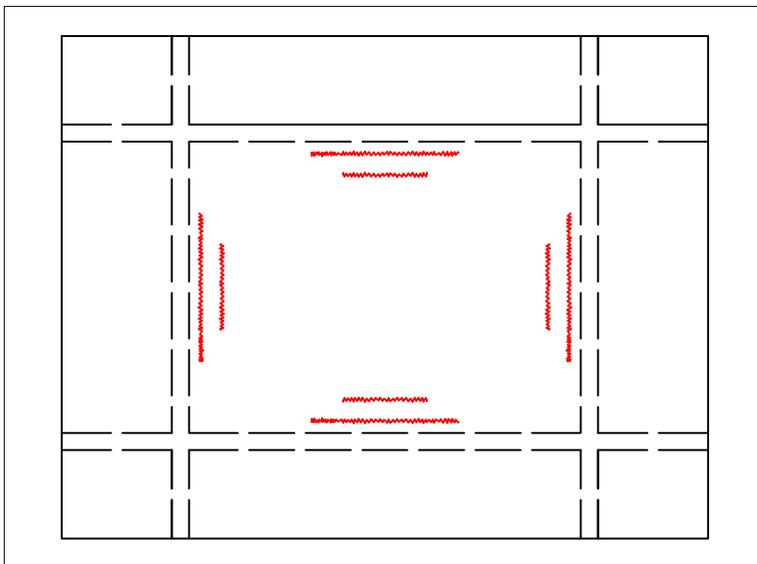


I - Fissura na parte inferior da laje

Causas Prováveis:

- 1 - Cura ineficiente
- 2 - Excesso de calor de hidratação
- 3 - Cimento muito fino
- 4 - Granulometria dos agregados fora da especificação

Anexo 1 - As fissuras e suas causas prováveis

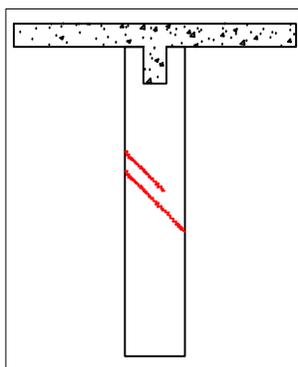


J - Fissura na parte inferior da laje

Causas Prováveis:

- 1 - Insuficiência de armadura negativa
- 2 - Armadura mal posicionada
- 3 - Sobrecargas acima do previsto

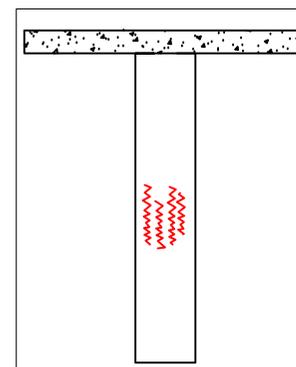
K - Fissura em pilar



Causas:

- 1 - Recalque de fundação
- 2 - Carga superior à prevista
- 3 - Concreto de resistência inadequada

L - Fissura em pilar

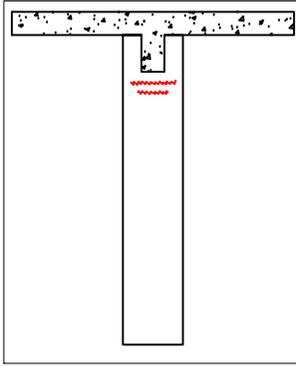


Causas:

- 1 - Insuficiência de estribo

Anexo 1 - As fissuras e suas causas prováveis

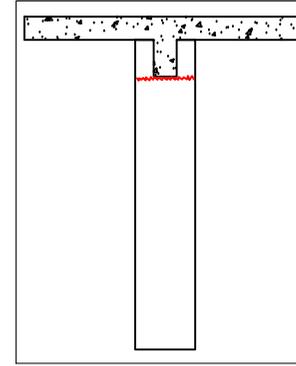
M - Fissura em pilar



Causas Prováveis:

- 1 - Adensamento do concreto inadequado
- 2 - Concreto muito fluido

N - Fissura na parte inferior da laje



Causas Prováveis:

- 1 - Junta de concretagem antes das vigas (pilar concretado antes das vigas)
- 2 - Topo do pilar com excesso de nata de cimento ou sujeira

Anexo 3 – Tabela para o ensaio Finca pinos

COMPRIMENTO EXPOSTO (MM)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPA)			PRIMENTO EXPOSTO (MM)	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPA)		
	$f_{cm\acute{a}x}$	*	f_{cmin}		$f_{cm\acute{a}x}$	*	f_{cmin}
50	46,0	37,5	29,0	30	27,0	23,0	19,0
49	45,5	37,0	28,5	29	26,5	22,5	18,5
48	45,0	36,5	28,0	28	25,8	21,5	18,0
47	43,5	35,5	27,5	27	23,5	20,5	17,5
46	43,0	35,0	27,0	26	23,0	20,0	17,0
45	41,5	34,0	26,5	25	22,5	19,5	16,5
44	41,0	33,5	26,0	24	21,0	18,5	16,0
43	39,5	32,5	25,5	23	20,5	18,0	15,5
42	38,0	31,5	25,0	22	19,0	17,0	15,0
41	37,5	31,0	24,5	21	18,5	16,5	14,5
40	36,0	30,0	24,0	20	17,0	15,5	14,0
39	35,5	29,5	23,5	19	16,5	15,0	13,5
38	34,0	28,5	23,0	18	16,0	14,5	13,0
37	33,5	28,0	22,5	17	14,5	13,5	12,5
36	33,0	27,5	22,0	16	13,0	12,5	12,0
35	31,5	26,5	21,5	15	12,5	12,0	11,5
34	30,0	25,5	21,0	14	12,0	11,5	11,0
33	29,5	25,0	20,5	13	11,5	10,5	9,5
32	29,0	24,5	20,0	12	11,0	10,0	9,0
31	27,5	23,5	19,5	11	9,5	9,0	8,5
				10	9,0	8,5	8,0