

Identificação, análise e tratamento de fissuras inativas em estruturas de concreto

TRABALHO DE FORMATURA APRESENTADO À ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Orientador: Prof. Paulo Helene

Carlos M. Suguri Filho	5180602
Daniella M. Neuenschwander	5175398
Diego Lourenço Cartacho	5959652
Edillize L. Graballos	5606936
Paulo Henrique Campelo Bouéres	5175082

2009

Dedicamos este trabalho a todos os professores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e a nossos familiares, responsáveis diretos para o alcance de mais um de nossos objetivos.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	8
Capítulo 1: PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	10
1.1 Deformações excessivas.....	10
1.2 Corrosão de armadura	11
1.3 Eflorescências.....	13
1.4 Lixiviação.....	14
1.5 Reações álcali-agregado	16
Capítulo 2: FISSURAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO	19
2.1 Classificação das Fissuras	21
2.1.1 Fissuras Passivas - Inativas	21
2.1.2 Fissuras Ativas	21
2.2 Ensaios para Classificação de Fissuras em Estruturas de Concreto Armado....	22
2.3 Limites de Fissuras pela Norma Brasileira (NBR6118).....	28
2.4 Tipos e localizações das fissuras	29
2.5 Fissuras em Vigas.....	32
2.5.1 Fissuras de flexão em vigas.....	32
2.5.2 Fissuras de cisalhamento em vigas.....	35
2.5.3 Fissuras de flexão na parte superior de vigas	36
2.5.4 Fissuras de deslizamento das armaduras de vigas.....	36
2.5.5 Fissuras devido à torção de vigas	37
2.6 Fissuras em Pilares	39
2.6.1 Fissuras de assentamento plástico em pilares	42
2.6.2 Fissuras de pega em pilares	43
2.6.3 Fissuras de juntas de concretagem	44
2.6.4 Fissuras de compressão localizada ou flambagem das armaduras de pilares	45
2.6.5 Fissuras ou rupturas no topo de pilares curtos	46
2.7 Fissuras em Lajes	47
2.7.1 Fissuras de flexão em lajes.....	47
2.7.2 Fissuras de momento volventes em lajes	48
2.7.3 Fissuras de flexão em lajes em balanço	50
2.7.4 Fissuras de retração hidráulica e contração térmica em lajes.....	50
2.8 Fissuras em Paredes de Concreto	52
2.8.1 Fissuras de recalque em paredes de concreto.....	52
Capítulo 3: PROCEDIMENTOS DE REPARO DE FISSURAS INATIVAS	53
3.1 Materiais.....	53
3.1.1 Processo de Seleção de materiais	53
3.1.2 Características dos materiais para tratamento de fissuras inativas.....	55
3.2 Tratamento de fissuras inativas	61

3.2.1	Injeções de Fissuras.....	62
3.2.2	Procedimento de controle de injeções	65
3.2.3	Critério de medições e pagamentos.....	66
3.2.4	Métodos distintos de tratamento de fissuras	67
3.2.4.1	Método 1 – Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) em superfícies verticais ou inclinadas.	69
3.2.4.2	Método 2 - Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) passantes em superfícies horizontais.	70
3.2.4.3	Método 3 - Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) em superfícies horizontais superiores.	72
3.2.4.4	Método 4 - Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) em superfícies horizontais inferiores – Acesso pelas faces superior e inferior.	74
3.2.4.5	Método 5 - Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) em superfícies horizontais inferiores – Sem acesso pela face superior.	75
3.2.4.6	Método 6 - Reparo de fissuras inativas de grande abertura (superior a 1,0 mm) incidentes em uma ou mais faces incluindo a superior.....	75
3.2.4.7	Método 7 - Reparo de fissura inativa de grande abertura (superior a 1,0 mm) não incidente na face superior, mas em pelo menos uma face lateral.	76
3.2.4.8	Método 8 - Reparo de fissura inativa de grande abertura (superior a 1,0 mm) incidente apenas na face inferior – Acesso pela face superior.	77
3.2.4.9	Método 9 - Reparo de fissura inativa de grande abertura (superior a 1,0 mm) incidente apenas na face inferior – Sem acesso pela face superior.	77
3.2.4.10	Método 10 - Reparo de fissura inativa capilar (abertura inferior a 0,3 mm) e fissuras em mapa.....	78
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	82

Lista de Figuras

Figura 1. Corrosão por cloreto do pilar. (notas de aula- Helene, 2009)	11
Figura 2. Foto da cobertura com lixiviação e eflorescências do prédio da Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP.....	14
Figura 3. Gel resultante da reação álcali-agregado. (HASPARYK, DALMOLIN, MONTEIRO, 2006)	16
Figura 4. Blocos de fundação com fissuras em mapa causadas pela RAA. (FIGUERÔA; ANDRADE, 2007).....	17
Figura 5. Pilar de uma ponte com ELU comprometido pela RAA. (SANCHEZ <i>apud</i> HELENE, 2002).....	17
Figura 6. Tripé condicionante das RAA.....	18
Figura 7. Ensaio com gesso para analisar o tipo de fissura (notas de aula-Helene, 2009).	23
Figura 8. Fissurômetro (http://www.oz-diagnostico.pt).	24
Figura 9. Comparador de Fissura (http://www.oz-diagnostico.pt).	24
Figura 10. Medição de abertura de fissura (http://www.oz-diagnostico.pt).	24
Figura 11. Medidor ótico (http://www.oz-diagnostico.pt).	25
Figura 12. Medidor de tensão DEMEC (http://www.mastrand.com/demecsg.jpg).	26
Figura 13. Medição de profundidade de fissura (http://www.oz-diagnostico.pt).....	27
Figura 14. Tipos de Fissuras de acordo com o ACI (ACI 546R- Concrete Repair Guide)	29
Figura 15. Diversas localizações e características de fissuras em estruturas de concreto armado de acordo com o ACI (ACI 546R- Concrete Repair Guide).	30
Figura 16. Esforços numa viga isostática submetida à flexão. (THOMAZ, 1989)	32
Figura 17. Fissuração típica em viga subarmada solicitada à flexão. (THOMAZ, 1989)..	32
Figura 18. Fissuras de cisalhamento em viga solicitada à flexão. (THOMAZ, 1989).....	33
Figura 19. Ruptura por compressão do concreto de uma viga super armada solicitada à flexão. (THOMAZ, 1989)	33
Figura 20. Fissura de cisalhamento em viga alta, prevista no projeto como “parede de vedação”. (THOMAZ, 1989)	34
Figura 21. Manifestação típica de fissuras de flexão. (HELENE; PEREIRA, 2007)	35
Figura 22. Manifestação típica de fissuras devido às forças cortantes. (HELENE; PEREIRA, 2007).....	35
Figura 23. Fissuras na parte superior da viga. (HELENE; PEREIRA, 2007)	36
Figura 24. Manifestação típica de fissuras de flexão e deslizamento das armaduras. (HELENE; PEREIRA, 2007).....	36
Figura 25. Fissuras provocadas por torção. (THOMAZ, 1989)	37
Figura 26. Manifestação típica de fissuras devido à torção de vigas. (HELENE; PEREIRA, 2007).....	38
Figura 27. Trincas horizontais a meia altura de painel pré-moldado de concreto armado, submetido à flexocompressão. (THOMAZ, 1989).....	39

Figura 28. Fissuras inclinadas na cabeça do pilar provocadas por concentração de tensões. (THOMAZ, 1989)	40
Figura 29. Pilar fissurado devido à movimentação térmica das vigas de concreto armado. (THOMAZ, 1989)	41
Figura 30. Manifestação típica de fissuras de assentamento plástico. (HELENE; PEREIRA, 2007).....	42
Figura 31. Manifestação típica de fissuras de falsa pega. (HELENE; PEREIRA, 2007) ..	43
Figura 32. Manifestação típica de fissuras de juntas de concretagem. (HELENE; PEREIRA, 2007).....	44
Figura 33. Manifestação típica de fissuras de compressão localizada. (HELENE; PEREIRA, 2007).....	45
Figura 34. Manifestação típica de fissuras no topo de pilares curtos. (HELENE; PEREIRA, 2007).....	46
Figura 35. Fissura típica de lajes simplesmente apoiadas. (THOMAZ, 1989)	47
Figura 36. trincas na face superior da laje devidas à ausência de armadura negativa. (THOMAZ, 1989)	47
Figura 37. Manifestação típica de fissuras de flexão. (HELENE; PEREIRA, 2007)	48
Figura 38. Trincas inclinadas devido à torção da laje. (THOMAZ, 1989)	49
Figura 39. Manifestação típica de fissuras de momentos volventes. (HELENE; PEREIRA, 2007).....	49
Figura 40. Manifestação típica de fissuras de flexão em balanço. (HELENE; PEREIRA, 2007).....	50
Figura 41. Manifestação típica de fissuras de retração hidráulica e contração térmica. (HELENE; PEREIRA, 2007).....	51
Figura 42. Manifestação típica de fissuras de recalque em parede de concreto. (HELENE; PEREIRA, 2007).....	52
Figura 43. Esquema orientativo de tomada de decisão para escolha de materiais (ACI 546R- Concrete Repair Guide).....	54
Figura 44. Detalhe esquemático da fixação de bicos em muros. (HELENE; PEREIRA, 2007).....	63
Figura 45. Esquema de injeções em vigas e lajes. (HELENE; PEREIRA, 2007).....	63
Figura 46. Esquema de um misturador de paleta. (HELENE; PEREIRA, 2007)	64
Figura 47. Esquema de uma seringa (esquerda) e máquina de injeção (direita). (HELENE;PEREIRA, 2007).....	64
Figura 48. Bicos para injeção.	65
Figura 49. Modelo de tomada de decisão para injeção de fissuras baseado em Piancastelli (1997).	68

Lista de Tabelas

Tabela 1. Valores de abertura de fisuras para situações diferentes (NBR6118)	28
Tabela 2. Caracterização das fissuras relacionadas com a Figura 15(ACI 546R- Concrete Repair Guide)	31
Tabela 3. Diferentes condições de aplicação de resinas epóxicas.....	56
Tabela 4. Diferentes condições de aplicação de microcimento.....	57
Tabela 5. Diferentes condições de aplicação de resinas de poliuretano estrutural.....	58
Tabela 6. Diferentes aditivos combinados com resinas de poliuretano estrutural.	58
Tabela 7. Diferentes condições de aplicação de resinas de poliuretano flexíveis.	59
Tabela 8. Condição de aplicação de resina de poliuretano hidroativado.	60
Tabela 9. Diferentes condições de aplicação de injeções de gel de acrílico.	60

INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico da Engenharia Civil depende, na maioria das vezes, dos projetos de pesquisas acadêmicos nas Universidades de todo o mundo. O Brasil, apesar de ter forte tradição na construção de estruturas em concreto armado, não possui normas técnicas que padronizem a recuperação das mesmas. Tais fatos despertaram o interesse no desenvolvimento de um trabalho nessa área.

Existem hoje no Brasil, apenas normas que focam o desenvolvimento de bons projetos e em boas técnicas construtivas. Porém, ainda que bem projetadas e executadas, ficou evidente que as estruturas não são perenes já que, sem manutenção adequada, são passíveis de surgimento de “defeitos”. No caso específico, esses “defeitos” são chamados de manifestações patológicas em estruturas de concreto armado. Estas podem ser causadas por diversos motivos: profissionais não capacitados, materiais não adequados, falta de desenvolvimento tecnológico da Engenharia, entre outros.

Diante desse quadro de necessidades de intervenções em estruturas que apresentam manifestações patológicas, aliadas à falta de normas brasileiras para orientar a solução desses problemas, viu-se a oportunidade de estudar na Universidade procedimentos que atendessem essas necessidades.

No mundo, porém, existem diversas referências normativas que abordam os procedimentos de reparo de estruturas de concreto armado. Podem-se citar como exemplos a EN 1504-1:2005, norma européia de produtos e sistemas para proteção e reparo de estruturas de concreto, ratificada pelo CEN (Comitê Europeu de Normalização); a ACI 546R-96 (reaprovada em 2001), guia de reparo de estruturas de concreto vigente nos EUA e a BRE DME D53, guia para manutenção, reparo e monitoramento de estruturas de concreto armado do Reino Unido. Esses documentos servirão, à medida do possível, de suporte para o desenvolvimento deste trabalho.

Dada a quantidade de manifestações patológicas e grande diversidade de condições em que as estruturas podem se encontrar, o objetivo principal deste trabalho consiste em sugerir procedimentos de reparo de fissuras inativas, ou seja, fissuras que não se movimentam.

O trabalho foi desenvolvido segundo a seguinte estrutura: no Capítulo 1 as principais manifestações patológicas foram abordadas de forma sucinta, a fim de contextualizar o assunto principal do trabalho. O Capítulo 2 aborda as fissuras de uma forma geral, fornecendo ferramentas e informações que possibilitem a caracterização das fissuras encontradas em uma dada estrutura. Já no Capítulo 3 constam os procedimentos propostos para a efetiva execução do reparo das fissuras inativas, citando e caracterizando os materiais utilizados e detalhando as técnicas de execução. Com isso, esse capítulo é o de maior importância do trabalho, já que

apresenta o resultado da pesquisa feita pelo grupo diante do ponto de vista crítico de alunos de último ano de graduação em Engenharia Civil.

Capítulo 1: PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Este capítulo aborda de forma sucinta as principais manifestações patológicas em estruturas de concreto armado para contextualizar o leitor. Os demais capítulos são dedicados às fissuras. Assim, relata-se a seguir as manifestações patológicas: deformações excessivas, corrosão de armaduras, eflorescências, lixiviação e reações álcali-agregado.

1.1 Deformações excessivas

As deformações excessivas são uma das principais causas de manifestações patológicas em estruturas, (devido à fissuração excessiva ocasionada pelas deformações e posterior corrosão da armadura).

Segundo Ruiz (2007), as deformações geram quatro grupos de problemas claramente diferentes nas estruturas de concreto. Todos eles derivam do fato de que o cálculo realizado para os estados limites últimos e de serviço pode conduzir a uma estrutura satisfatória, mas não no caso do estado limite de serviço com deformação excessiva. A palavra excessiva deve ser interpretada com cuidado, pois em alguns casos trata-se de flechas excessivas do ponto de vista estrutural, mas em outros, ela se refere à possibilidade de que tais flechas, não excessivas para a estrutura, sejam-no para outros elementos não-estruturais da construção.

Os quatro grupos são:

- P.1: Flechas horizontais excessivas produzidas pela ação do vento, com risco para alvenarias e revestimentos;
- P.2: Flechas verticais excessivas que, sem risco para partes não-estruturais, produzem um efeito estético indesejável;
- P.3: Flechas verticais excessivas que, sem risco para partes não-estruturais e sem produzir efeito estético indesejável, dificultam a eliminação de água das coberturas;
- P.4: Flechas verticais excessivas em vigas e lajes com risco para alvenarias e revestimentos;

Erros frequentes são devidos a incoerências no cálculo de flechas que podem ter sido originados pela influência do módulo de elasticidade e do momento de inércia devido a erros de cálculo e devido aos limites de flechas adotados nas estruturas que podem conduzir a valores subestimados de flechas.

1.2 Corrosão de armadura

A corrosão da armadura em estruturas de concreto é a transformação de um metal em íon metálico pela sua interação química ou eletroquímica com o meio que ele se encontra, definição descrita por Panossian (1993).

A corrosão é um processo evolutivo. Em estágios avançados chega a comprometer a segurança estrutural (Figura 1), podendo resultar no colapso da estrutura afetada. A corrosão de armaduras pode gerar: fissuração, destacamento do concreto de cobrimento, redução da ligação armadura-concreto, redução da seção transversal do aço.

A corrosão metálica em meio aquoso é um fenômeno de caráter eletroquímico, isto é, supõe-se uma reação de oxidação e uma de redução a movimentação de elétrons através do metal, e a circulação de íons através do eletrólito, o que pressupõe a formação de um circuito fechado.

A corrosão consiste na formação de uma pilha ou célula eletroquímica composta por 4 elementos: ânodo, cátodo , eletrólito (solução condutora), condutor metálico.

As condições para que haja corrosão eletroquímica são: temperatura ambiente, metais diferentes, eletrólito, oxigênio, contato elétrico, aeração diferencial, concentração salina diferencial, energia diferencial.

Segundo Cascudo e Helene (1999), os produtos da corrosão (ferrugem) são uma gama variada de óxidos e hidróxidos de ferro que passam a ocupar, no interior do concreto, volumes de 3 a 10 vezes superiores ao volume original do aço da armadura, podendo causar tensões internas maiores do que 15 MPa.



Figura 1. Corrosão por cloreto do pilar. (notas de aula- Helene, 2009)

Apresentam-se a seguir os erros de projeto ou execução mais freqüentes que propiciam a corrosão de armaduras.

- Cobrimento com espessura e uniformidade inadequada

O cobrimento de concreto da armadura desempenha o papel de proteção física, pois impede a passagem de agentes agressivos, oxigênio e umidade, além de garantir o meio alcalino para que a armadura tenha a proteção química. Segundo Neville (1997), quanto maior a sua espessura, maior o intervalo de tempo até que a concentração de cloreto junto ao aço atinja o valor limite. O cobrimento também deve ter espessura homogênea e ser suficiente para resistir ao ambiente.

- Classe do concreto e relação água/cimento inadequados

A redução da relação água/cimento contribui para se obter um produto de maior compacidade e menor índice de vazios. Assim se obtém uma porosidade tal que se tenha o mínimo transporte de íons, gases e líquidos.

- Cura inadequada

“Quanto maior o tempo de cura e mais eficiente for o método de cura empregado, maior será o grau de hidratação do cimento, menor será a porosidade e a permeabilidade e, por consequência, menor será a carbonatação.” (FIGUEIREDO; PAZINI, 2005, p. 839)

- Tipo de cimento inadequado

É muito importante conhecermos a influência do tipo de cimento sobre a estrutura de poros da pasta de cimento e sobre a sua permeabilidade e resistividade. (NEVILLE, 1997)

A ocorrência de corrosão em estruturas de concreto se dá pela interação entre o concreto e o meio ambiente, portanto em ambientes muito agressivos o concreto deve ser de altíssima qualidade. A durabilidade da estrutura está ligada a qualidade do projeto. No caso da corrosão é muito importante que o projeto da estrutura evite a circulação de água através do concreto. As medidas tomadas na fase de projeto podem chegar até a resolver o problema de corrosão.

- Projeto que permite a circulação de água através do concreto

Transportes dos íons cloreto só ocorrem em presença de água: difusão, absorção capilar ou migração. O teor de umidade é o principal fator que controla a propagação da corrosão, pois fixa a disponibilidade de oxigênio a altas umidades relativas e resistividade elétrica do material a baixas umidades.

1.3 Eflorescências

Eflorescências são depósitos cristalinos de cor branca que surgem na superfície do revestimento, paredes e tetos, resultantes da migração e posterior evaporação de soluções aquosas salinizadas. Provocada quando águas puras com pouco ou nenhum íon de cálcio entram em contacto com a pasta de cimento Portland, elas podem hidrolisar ou dissolver os produtos contendo cálcio.

A lixiviação do hidróxido de cálcio do concreto, além da perda de resistência, provoca agressões estéticas, já que o produto lixiviado interage com o CO₂ presente no ar, daí resultando a precipitação de crostas brancas de carbonato de cálcio (eflorescência).

Em situações com ambientes constantemente molhados e com algum tipo de sais de difícil secagem, estes depósitos apresentam-se com uma “exsudação” na superfície, aparentando então a cor branca nas áreas revestidas por produtos com adição de cimento, comprometendo os aspectos relacionados à estética.

A eflorescência pode aparecer na superfície de produtos de concreto após dias, semanas ou mesmo meses após a conclusão do serviço de instalação dos produtos. A substância branca dá a impressão de que a cor das peças está desbotando e é mais fácil de observar em produtos de cores escuras. Quando o produto está molhado não se percebe o esbranquiçado, mas quando seca a eflorescência reaparece. Quando a umidade evapora, o esbranquiçado da eflorescência aparece. Esta é uma condição de todos os produtos de concreto e não afeta a integridade estrutural do produto. Há produtos de limpeza para remoção da eflorescência. Entretanto o procedimento recomendado é deixá-lo ser lavado e desaparecer o esbranquiçado ao longo do tempo.

Um dos erros mais frequentes é a não utilização de cimento CP IV (pozolânico) ou cimento tipo RS (resistente a sulfatos). Na dificuldade em adquirir os cimentos acima, deve-se utilizar o cimento CPIII, com baixo teor de hidróxido de cálcio.

A não realização de uma eficiente cura do concreto (baixa porosidade superficial) pode intensificar a manifestação de eflorescências nas argamassas, pois a cura se realizada de forma correta proporciona uma argamassa mais densa, impermeável e de menor porosidade capilar. A utilização de aditivos redutores de água auxilia para obter estas características da argamassa.

Não realizar uma boa drenagem sobre o sistema impermeável, a não utilização de geotêxtil ou uma camada drenante no traço 1:8 (cimento e areia) com 10 % de emulsão asfáltica, ou mesmo usando um geotêxtil proporciona o surgimento de eflorescências.

A prevenção da recorrência de novas eflorescências implica na necessidade de reduzir a absorção de água, o que pode ser realizado com o tratamento de trincas e fissuras e pinturas hidrofugantes.

1.4 Lixiviação

A lixiviação é um fenômeno de deterioração do concreto armado de origem química cujo sintoma é a dissolução de elementos e consequente decomposição química.

A degradação das estruturas de concreto armado se dá pela penetração de substâncias na forma de gases, vapores e líquidos através dos poros e fissuras. Esses, em especial a água, os responsáveis pelo fenômeno da lixiviação do concreto.

O fenômeno pode ocorrer por ação de águas puras, carbônicas agressivas e ácidas que dissolvem e carreiam os compostos hidratados da pasta de cimento. A sintomatologia básica é uma superfície arenosa sem a pasta superficial, com eflorescências de carbonato, com elevada retenção de fuligem e com risco de desenvolvimento de fungos e bactérias (Figura 2). Como consequência observa-se também uma redução do PH do extrato aquoso dos poros superficiais do concreto do componente estrutural com risco de despassivação da armadura. (HELENE, 1995)

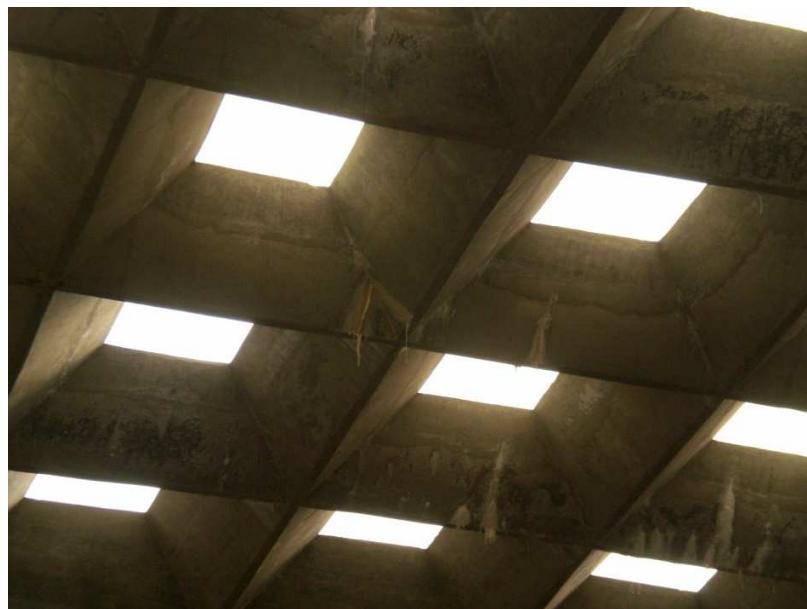


Figura 2. Foto da cobertura com lixiviação e eflorescências do prédio da Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP.

Apresentam-se a seguir os erros de projeto ou execução que propiciam a ocorrência de lixiviação.

- Utilização de um concreto inadequado

Isso pode ocorrer caso não se utilize cimentos com baixo teor de hidróxido de cálcio. A não utilização de aditivos redutores de água e uma cura ineficiente também podem resultar em um concreto com maior porosidade superficial, menos denso, com maior permeabilidade e maior porosidade capilar. Esse concreto, portanto, estaria muito mais suscetível a entrada de agentes agressivos e, com isso, se torna suscetível a lixiviação.

- Estado de fissuração maior do que o limite (característica vinculada à classe de agressividade do meio)

O concreto fissurado permite a entrada de agentes agressivos, portanto, para evitar a lixiviação é imprescindível que as fissuras da estrutura estejam nos limites estabelecidos em projeto;

- Falta ou desempenho precário da proteção superficial do concreto

Os elementos estruturais devem ter proteções compatíveis com as solicitações que lhe serão aplicadas. Peças de concreto aparente, sem proteções adequadas, sofrerão um desgaste maior do que o previsto, resultando em partes da estrutura com maior probabilidade de sofrerem lixiviação;

- Falta ou desempenho precário do sistema de impermeabilização ou drenagem

Sistemas deficientes que permitam que a água percole pelo concreto podem resultar na lixiviação das partes da estrutura desprotegidas.

1.5 Reações álcali-agregado

Essa breve descrição sobre as reações álcali-agregado foi inteiramente baseada no livro do IBRACON, e complementada com informações de uma palestra proferida na Escola Politécnica da USP, pelo Eng. Leandro Francisco Moretti Sanchez (2009).

As reações álcali-agregado são fenômenos enquadrados nas características do concreto endurecido, e fortemente relacionados com a durabilidade das estruturas de concreto (Figura 4 e Figura 5). Até pouco tempo atrás, as RAA eram fenômenos presentes apenas em obras hidráulicas de grande porte. Porém, os efeitos deletérios das RAA vêm sendo verificados em edificações mais próximas da sociedade, como confirmado, oito casos de fundações de prédios no Recife. (FIGUERÔA; ANDRADE, 2007)

A reação álcali-agregado (RAA) é um processo químico no qual alguns constituintes mineralógicos dos agregados reagem com hidróxidos alcalinos oriundos de materiais como: cimento, água de amassamento, agregados, materiais pozolânicos, agentes externos.

O produto da reação dos minérios com os hidróxidos dissolvidos nos poros do concreto é um gel higroscópico expansivo (Figura 3), sendo verificado através de anomalias nas estruturas como fissuras, movimentações diferenciais, “pipocamentos”, exsudação de gel e redução das resistências à tração e compressão.



Figura 3. Gel resultante da reação álcali-agregado. (HASPARYK, DALMOLIN, MONTEIRO, 2006)

Nesses anos de evolução da Engenharia civil, estudos acadêmicos com foco em patologias de estruturas de concreto, identificaram três tipos deletérios de RAA.

- Reação álcali-sílica (RAS)
- Reação álcali-silicato (RASS)
- Reação álcali-carbonato (RAC)



Figura 4. Blocos de fundação com fissuras em mapa causadas pela RAA. (FIGUERÔA; ANDRADE, 2007)



Figura 5. Pilar de uma ponte com ELU comprometido pela RAA. (SANCHEZ *apud* HELENE, 2002)

A ocorrência das RAA está baseada em um tripé, como mostra a Figura 6, onde nas extremidades notam-se importantes condicionantes desse fenômeno (agregado reativo, umidade e hidróxidos alcalinos).

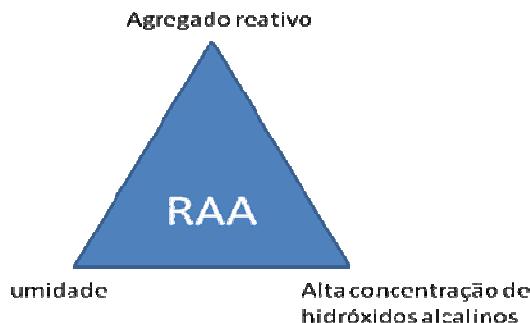


Figura 6. Tripé condicionante das RAA

Muitos autores pesquisaram a influência dos fatores acima, e nota-se que a manifestação das RAA está associada à má escolha de agregados para o concreto, concomitantemente com cimentos contendo hidróxidos alcalinos, formando uma estrutura em ambiente úmido. É muito complexo o estudo desse tema, pois suas manifestações ocorrem muito depois da execução da obra, além do conjunto de medidas de prevenção (ensaios) serem, na maioria das vezes, inexistente.

Capítulo 2: FISSURAS NAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Após uma visão sucinta das principais manifestações patológicas existentes nas estruturas de concreto armado, dedica-se este capítulo para caracterização do problema particularmente importante que é o de fissuras.

Objetivo principal desse trabalho, o estudo de fissuras é importante, pois essas constituem um aviso de eventual estado perigoso da estrutura, um possível comprometimento do desempenho da obra em serviço e o constrangimento psicológico exercido sobre seus usuários.

Visando garantir sustentabilidade a partir da maximização da vida útil das estruturas (sejam elas civis ou de infraestrutura), atitudes visando prevenir e tratar as fissuras de forma adequada são de extrema importância.

A fissuração é algo com que praticamente todas as estruturas terão que conviver, tanto é que, no projeto de dimensionamento de estruturas, tem-se o índice de fissuração aceitável. É só a partir desse ponto que a fissuração passa a atuar como um caminho de entrada de agentes agressivos à estrutura, acelerando o mecanismo de deterioração do concreto, da armadura ou da estrutura como um todo. Sendo assim, o conhecimento das origens das tensões excessivas que provocam estados inaceitáveis de fissuração é de fundamental importância para preveni-las ou combatê-las. Além disso, ao se estudar os mecanismos de agressão da estrutura, se pode constatar se o estado de fissuração aceitável hoje por norma é razoável, ou se devem revisar tais limites a fim de garantir a qualidade e a durabilidade de nossas estruturas de concreto armado.

Primeiramente, deve-se lembrar que, assim como toda manifestação patológica conhecida, a origem das fissuras pode estar no projeto, na execução, nos materiais, no uso ou no planejamento. Sendo assim, um projeto arquitetônico mal feito pode condenar a estrutura a ter problemas futuros, assim como uma execução sem controle adequado.

Portanto, apesar de partir-se muitas vezes de projetos incompatíveis ou mal detalhados, considerando-se ainda a interferência de todos os projetos das instalações, as falhas de planejamento, a carência de especificidades técnicas, a ausência de mão-de-obra bem treinada, a deficiência de fiscalização e, muitas vezes, as imposições políticas de prazos e preços, muito se pode fazer para minimizar o problema.

Tem-se a seguir os mecanismos de formação de fissuras, cuja compreensão é imprescindível para orientar decisões referentes à recuperação de componentes fissurados e/ou adoção de medidas preventivas, incluindo a elaboração de projetos, procedimentos e utilização materiais adequados.

- Movimentações provocadas por variações térmicas e de umidade;
- Atuação de sobrecargas não previstas ou concentração de tensões;
- Deformabilidade excessiva das estruturas;
- Recalques diferenciados das fundações;
- Retração do concreto;
- Alterações físico-químicas do concreto e do aço das armaduras.

As fissuras também podem ser oriundas de má utilização, da falta de manutenção ou de acidentes como incêndios, explosões, impactos de veículos, etc. Outras causas específicas que ainda podem ser citadas são as vibrações (como abalos sísmicos), as solicitações cíclicas (como o gelo e desgelo) e as degradações sofridas pelos materiais e componentes em função de seu envelhecimento natural.

Ainda neste capítulo, estão propostas formas de classificação de fissuras. Por várias vezes foi citado o termo fissura inativa. Portanto, serão detalhados os procedimentos experimentais para identificação das mesmas. Cada fissura tem características próprias e, sendo assim, um procedimento de recuperação mais adequado. Tal fato torna sua correta identificação imprescindível.

2.1 Classificação das Fissuras

As fissuras podem ser classificadas segundo o estado do concreto (plástico ou endurecido) no qual aparecem e de acordo com a atividade que exerce na estrutura, podendo ser ativa ou passiva (inativa).

Para desenvolvimento deste trabalho tomou-se como base a classificação referente à atividade da fissura e foram identificados os tipos de fissura tomando como base as suas origens.

2.1.1 Fissuras Passivas - Inativas

As fissuras são classificadas como passivas ou inativas quando se encontram estabilizadas, ou seja, apresentam sempre o mesmo comprimento (extensão) e abertura. São fissuras originadas por fatores que, ou já foram eliminados antes da correção, ou se extinguiram naturalmente como, por exemplo, as fissuras de retração plástica.

2.1.2 Fissuras Ativas

Essas fissuras são aquelas que apresentam movimento. Esse movimento pode fazer com que a fissura abra e feche, podendo ser definida, para tal, uma amplitude de abertura. Caso essa amplitude de abertura e a extensão da fissura permaneçam inalteradas ao longo do tempo essa fissura pode ser definida como ativa estacionária. Caso a abertura ou comprimento (extensão) da fissura apresentem crescimento ao longo do tempo, essa fissura é chamada de ativa progressiva. Essa última é o tipo mais perigoso, pois caracteriza um problema grave e crescente para a estrutura.

2.2 Ensaios para Classificação de Fissuras em Estruturas de Concreto Armado

Antes de qualquer reparo é necessário classificar o tipo de fissura para identificar se a mesma é ativa (estacionária ou progressiva) ou inativa, para assim selecionar o seu devido tratamento e reparo. Para classificar as fissuras e determinar a real situação da mesma será necessário realizar alguns testes.

O alvo de qualquer investigação e programas de testes é obter informações suficientes sobre estrutura para determinar o estado da estrutura e quais serão os passos necessários para recuperá-la quando necessário. Em alguns casos uma simples análise não é suficiente para determinar o comportamento desta estrutura, assim, nessas circunstâncias será necessário realizar uma gama de testes que serão explicados a seguir.

Durante uma investigação, diversos testes devem ser utilizados para fornecer informações das condições e prever o desempenho futuro. Estes testes realizados “in situ” podem ser destrutivos ou não-destrutivos. A seguir serão explicados os testes não-destrutivos que podem ser utilizados para classificar as fissuras e analisar o estado da estrutura.

As técnicas não destrutivas ou semi-destrutivas são disponíveis para avaliar as propriedades do concreto de formas diretas ou indiretas. O uso de dois ou mais ensaios podem reduzir incertezas na estimativa da força do concreto.

- Camada de Gesso

Um teste realizado para analisar se as fissuras são ativas ou passivas é a utilização de uma camada delgada de gesso sobre a mesma a fim de observar o comportamento da fissura (Figura 7). Se a fissura estiver trabalhando verifica-se o aparecimento de uma abertura na camada de gesso, assim classifica-se a fissura como ativa. A observação se dá por um período a definir, estando entre 1 a 4 semanas, sempre requerendo o uso do bom senso do engenheiro responsável da análise. Em regiões de grandes amplitudes térmicas, como no sul do Brasil, pode ser necessário um período maior de observação, ao passo que 1 a 4 semanas pode ser suficiente na região Nordeste. Se dentro deste intervalo não for identificado aberturas na camada de gesso classifica-se as fissuras como inativas.



Figura 7. Ensaio com gesso para analisar o tipo de fissura (notas de aula-Helene, 2009).

Existem aparelhos que permitem medir a referida variação (deflectómetros), utilizando meios mecânicos e elétricos. Estes são colocados sobre as fissuras e apoiados em “pastilhas” pré-fixadas nas bordas da fissura. Utiliza-se no mínimo 3 pastilhas situadas em forma de triângulo eqüilátero. As medidas que requerem um operador experiente podem “quantificar” o eventual movimento cíclico da fissura em caso de fissuras ativas e estacionárias.

- Fissurômetro

O fissurômetro (Figura 8) é um pequeno instrumento destinado a medir, de forma clara e econômica (Figura 10), o tamanho das aberturas que se verificam em um ponto da fissura existente na estrutura.

Podem utilizar-se mais dois instrumentos, o comparador de fissuras (Figura 9) e o medidor ótico de fissuras (Figura 11), que permitem quantificar, respectivamente, com menor ou maior rigor a abertura das fissuras e fendas, podendo ser utilizados para complementar os dados recolhidos com o fissurômetro, que apenas permite medir o movimento das fissuras, ou seja, a variação da abertura.

A utilização destes equipamentos dependerá do rigor pretendido no monitoramento e da variação da abertura das fissuras durante o período da monitoração.

O fissurômetro é constituído por duas partes, designadas por “A” e “B”, executadas em plástico flexível e transparente. A primeira, em forma de “T”, possui dois traços de referência em esquadria. A segunda, de forma retangular, possui um reticulado graduado em 0,5 mm, e é dotada de duas ranhuras nas quais a parte “A” vem introduzida, de forma que os traços de referência e o reticulado fiquem sobrepostos e centrados.

Para medir a abertura da fissura o fissurômetro deverá ser fixado ao elemento estrutural utilizando cola de contato, fita adesiva de dupla face, agrafos, pequenos pregos de aço ou mesmo parafusos com buchas, colocados em furos de pequeno diâmetro, de modo que as setas impressas nos extremos fiquem centradas com os traços atrás referidos e que o centro do reticulado coincida com a fissura. Posiciona-se o fissurômetro, segundo a direção mais próxima da normal à fissura.

Dada a concepção do fissurômetro, é possível medir com ele duas componentes de deslocamento (segundo as direções: longitudinal e transversal), e uma componente de rotação (em torno dum eixo perpendicular ao plano do instrumento).



Figura 8. Fissurômetro (<http://www.oz-diagnostico.pt>).

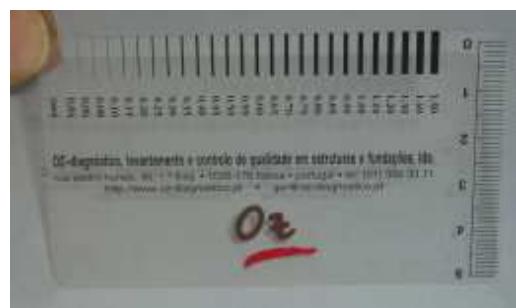


Figura 9. Comparador de Fissura (<http://www.oz-diagnostico.pt>).



Figura 10. Medição de abertura de fissura (<http://www.oz-diagnostico.pt>).



Figura 11. Medidor ótico (<http://www.oz-diagnostico.pt>).

- Medidor de tensão

As movimentações podem ser mensuradas mais precisamente utilizando o medidor de tensões mecânicas desmontáveis (DEMEC) desenvolvido na Associação Britânica de Cimento e Concreto (BCCA - British Cement and Concrete Association) que permite medições de tensão a serem feitos em diferentes partes de uma estrutura utilizando um único instrumento (Figura 12).

O DEMEC consiste em um mostrador digital, ligada a uma barra Invar. Um ponto fixo cônico é montado em uma extremidade da barra, e um ponto móvel cônico é montado sobre uma faca pivô na extremidade oposta. O movimento oscilante desta segunda cônicá é medido pelo instrumento de medição.

A barra fixa é usada para posicionar o aparelho através de discos de aço pré-perfurados inoxidável que estão ligados à estrutura usando um adesivo adequado.

Cada vez que a leitura tem de ser tomada, os pontos cônicos do medidor são inseridos nos furos dos discos e da leitura no indicador de discagem para observação. Desta forma, as mudanças na estrutura de tensão são convertidas em uma mudança na leitura do indicador de discagem.

O medidor foi concebido para que apenas pequenas mudanças na temperatura ambiente gerem correções necessárias para a medição, e uma barra de referência Invar está prevista para este fim.

Para simplificar a análise dos resultados, um programa de software que irá rodar em computador está disponível. Este programa possui pequenas instruções sobre como inserir os dados e, em seguida, calcula as mudanças de tensão.

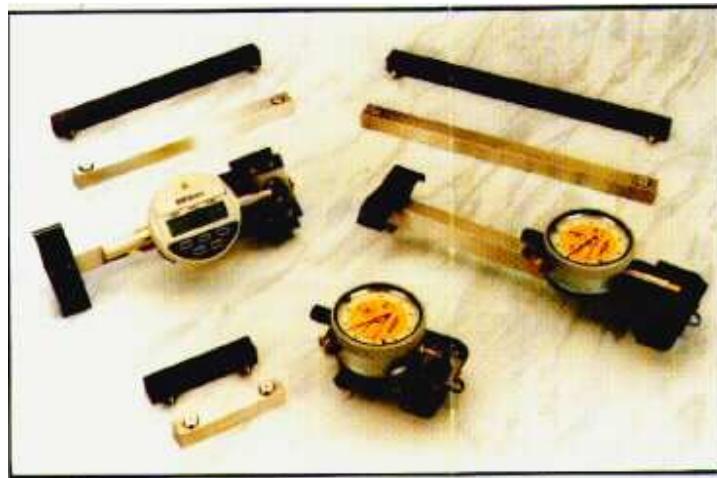


Figura 12. Medidor de tensão DEMEC (<http://www.mastrand.com/demecsg.jpg>).

- Impacto Eco

Na técnica "impacto-eco", uma perturbação elástica transitória é introduzida no elemento em estudo, através de um impacto mecânico na sua superfície. Esta perturbação propaga-se através do elemento sob a forma de ondas.

As ondas propagam-se no material através de frentes esféricas, sendo refletidas pelos contornos do elemento em estudo ou por descontinuidades existentes no seu interior (diferenças de impedância acústica). Um transdutor localizado perto do ponto de impacto monitora os deslocamentos da superfície do elemento provocados pela chegada das ondas refletidas. Estabelece, por consequência, no local em estudo, uma ressonância transitória resultante das múltiplas ondas refletidas entre a superfície livre e as descontinuidades ou contornos.

Utilizando dois transdutores realiza-se a medição da profundidade de fissuras (Figura 13) desde que perpendiculares à superfície, sendo neste caso medido o atraso do sinal captado pelos dois transdutores, diretamente relacionado com a profundidade da fissura. Finalmente, a técnica pode ser ainda utilizada para controlar a qualidade de trabalhos de reparação de elementos estruturais envolvendo a aplicação de materiais de reparação.



Figura 13. Medição de profundidade de fissura (<http://www.oz-diagnostico.pt>).

O impacto na superfície é produzido por meio de uma haste metálica com uma esfera na extremidade, podendo ser utilizadas outras esferas com diâmetros diferentes, consoante as características do elemento em estudo. O receptor é um transdutor de deslocamento contendo uma pequena ponta cônica piezoeléctrica. Estes dois dispositivos estão incluídos na mesma unidade, que se coloca sobre sucessivos pontos da superfície do elemento em estudo.

A segunda unidade é um computador portátil, cujo software consiste em um analisador para registrar as ondas de deslocamento e calcular os espectros de amplitude, bem como outros parâmetros, conforme o estudo em vista.

2.3 Limites de Fissuras pela Norma Brasileira (NBR6118)

A NBR 6118 (Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento) faz uma distinção de limites máximos de fissuras (W_k) de acordo com a classe de agressividade da estrutura, com o tipo de concreto (simples, armado ou protendido) e com a combinação de ações em serviço. Esses valores foram extraídos da Norma e relacionados na tabela 1.

Tabela 1. Valores de abertura de fisuras para situações diferentes (NBR6118).

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto Simples	CAA I a CAA IV	Não há	--
Concreto Armado	CAA I	$ELS-W w_k \leq 0,4 \text{ mm}$	Combinação freqüente
	CAA II a CAA III	$ELS-W w_k \leq 0,3 \text{ mm}$	
	CAA IV	$ELS-W w_k \leq 0,2 \text{ mm}$	
Concreto protendido Nível 1 (Protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA III e IV	$ELS-W w_k \leq 0,2 \text{ mm}$	Combinação freqüente
Concreto protendido Nível 2 (Protensão limita)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELF-S	Combinação freqüente
		ELS-D ¹⁾	Combinação quase-permanente
Concreto protendido Nível 3 (Protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELF-S	Combinação rara
		ELS-D ¹⁾	Combinação freqüente

Sendo, para concreto armado:

Estado Limite de deformações excessivas (ELS-DEF)

Estado Limite de abertura de fissuras (ELS-W)

Estado Limite de vibrações excessivas (ELS-VE)

E para concreto protendido:

Estado Limite de abertura e formação de fissuras (ELS-W e ELS-F)

Estado Limite de deformações excessivas (ELS-DEF)

Estado Limite de descompressão (ELS-D)

Para as classes de agressividade ambiental CAA III e IV exige-se que as cordoalhas não aderentes tenham proteção especial na região de suas ancoragens.

2.4 Tipos e localizações das fissuras

Após serem abordados os métodos de ensaio e as formas de classificação, serão mostrados todos os tipos de fissuras existentes em estruturas de concreto armado. As mesmas ocorrem em diversos estágios da produção da estrutura e podem ter diversas causas para sua origem, conforme mostra a Figura 14 abaixo:

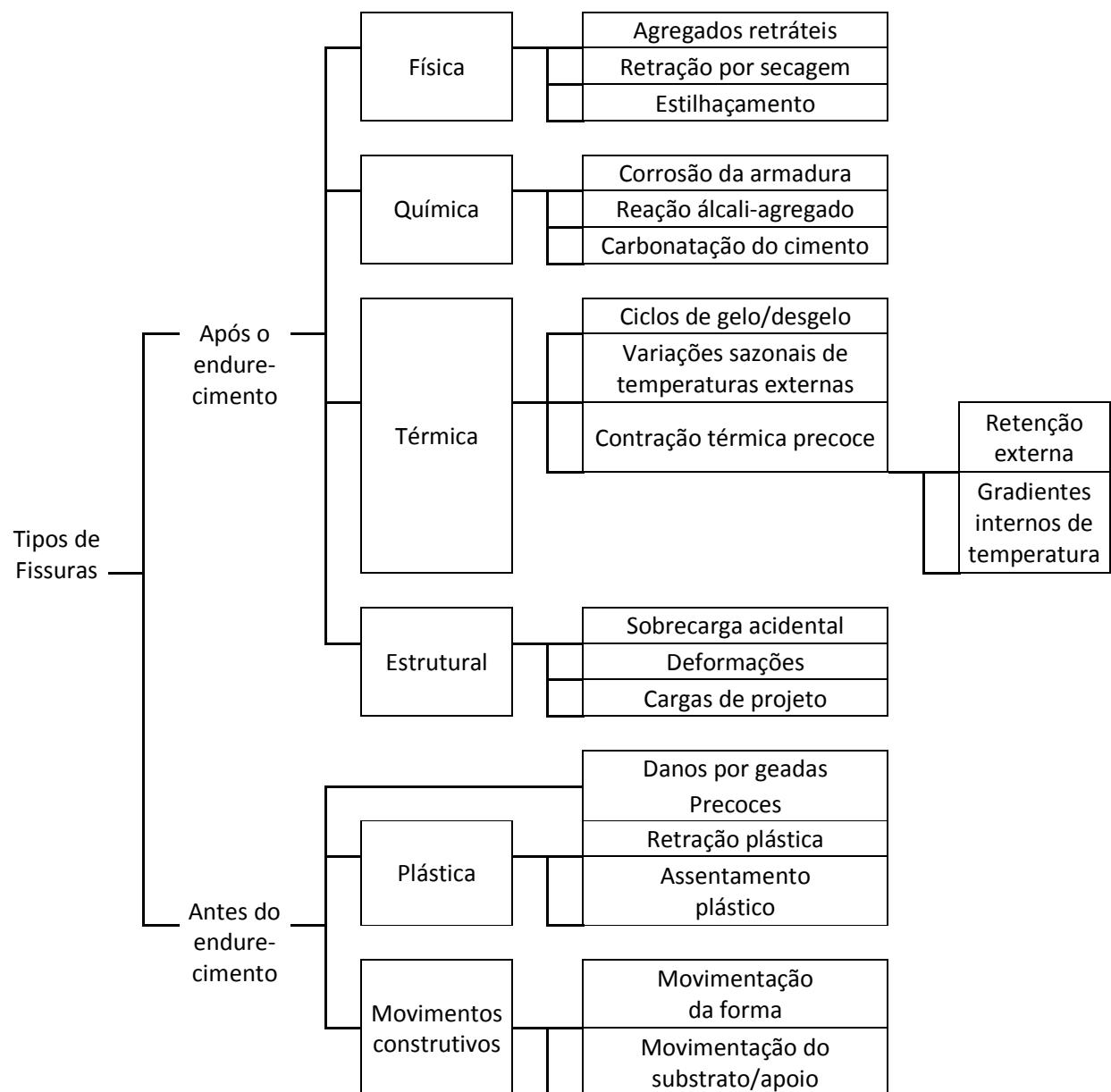


Figura 14. Tipos de Fissuras de acordo com o ACI (ACI 546R- Concrete Repair Guide)

As fissuras podem ser encontradas em diversas partes da estrutura. Sua localização fornece informações muito importantes para sua caracterização. Abaixo, tem-se a Figura 15 que ilustra tal fato:

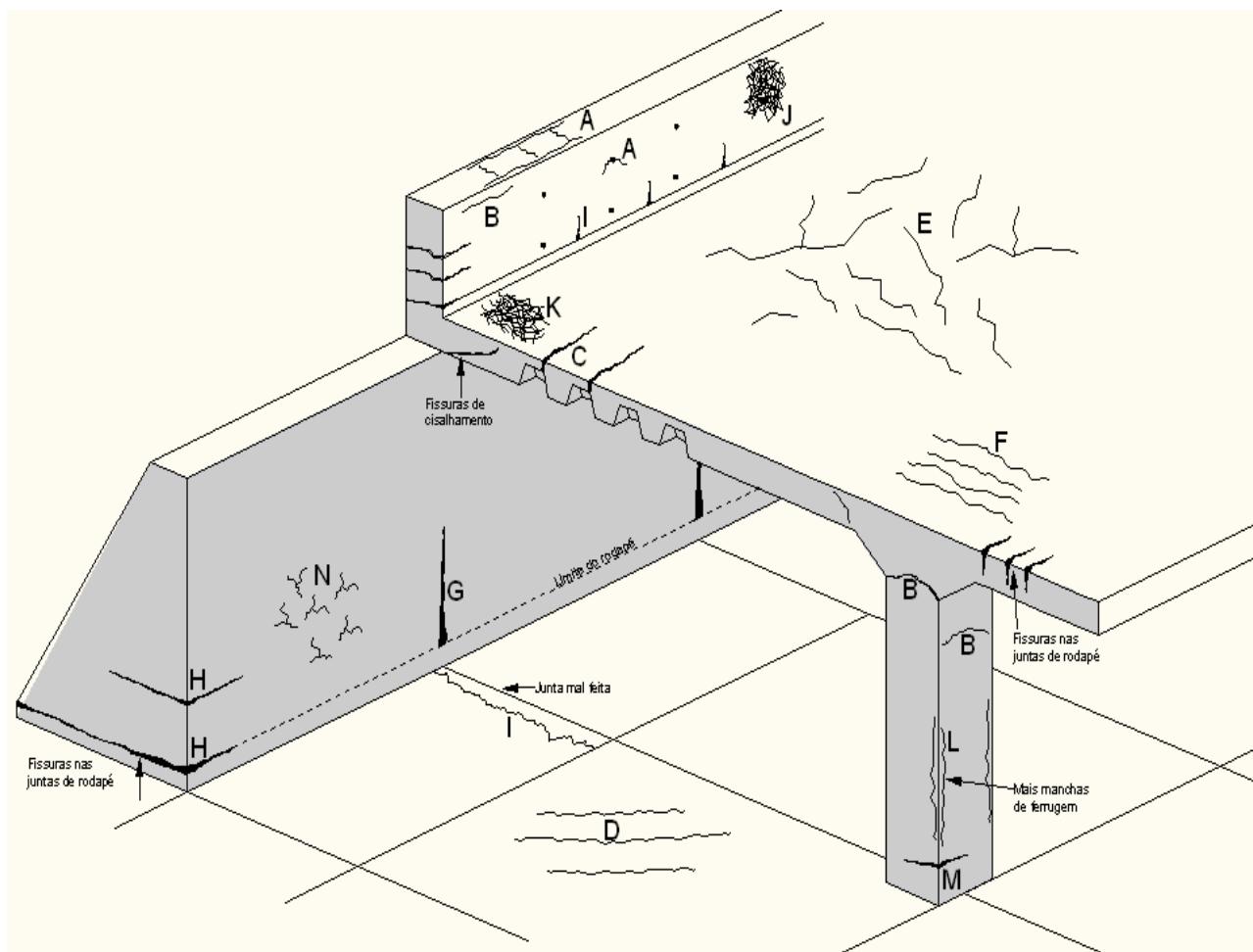


Figura 15. Diversas localizações e características de fissuras em estruturas de concreto armado de acordo com o ACI (ACI 546R- Concrete Repair Guide).

Na Figura 15, as letras indicam diferentes tipos de fissuras com diferentes causas. A caracterização das mesmas é feita na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização das fissuras relacionadas com a Figura 15(ACI 546R- Concrete Repair Guide)

Tipo de Fissura	Letra	Subdivisão	Localização mais comum	Causa Primária (excluindo retenção)	Causas/fatores secundários	Prevenção (assumindo que o projeto básico não pode ser alterado) em todos os casos reduzir a retenção	Tempo para o aparecimento
Assentamento plástico	A	Armadura excessiva	Seções profundas	Exsudação	Condições de cura rápida e precoce	Reducir o vazamento da nata (entrada de ar) ou evitar vibrar excessivamente o concreto	De 10 minutos a 3 horas
	B	Arqueamento	Topo de pilares				
	C	Mudança de profundidade	Lajes de borda e nervuradas				
Retração plástica	D	Diagonal	Estradas e lajes	Cura rápida e precoce	Baixa taxa de nata de cimento	Melhorar a cura instantânea	De 30 minutos a 6 horas
	E	Aleatória	Lajes de concreto armado				
	F	Armadura excessiva	Lajes de concreto armado	Idem, além da armadura próxima à superfície			
Contração térmica precoce	G	Retenção externa	Muros espessos	Excesso de calor de hidratação	Rápido resfriamento	Reducir o calor e/ou insolação	De 1 a 2 dias ou 3 semanas
	H	Retenção interna	Lajes espessas	Gradientes de calor excessivos			
Contração térmica por secagem de longa duração	I		Lajes ou muros finos	Juntas inefficientes	Retração excessiva e cura inefficiente	Reducir relação água-cimento Melhorar a cura	Várias semanas ou meses
Estilhaçamento (Fissuras em mapa)	J	Contra a forma	Peças de difícil acesso do concreto	Forma impermeável	Exsudação e/ou cura inefficiente	Melhora a cura e o acabamento	De 1 a 7 dias. Algumas vezes, muito mais tarde
	K	Concreto de superfície	Lajes	Super adensamento			
Corrosão da armadura	L	Natural	Pilares e vigas	Falta de cobertura	Concreto de baixa qualidade	Eliminar as causas listadas	Mais de 2 anos
	M	Cloreto de cálcio	Concreto pré-fabricado	Excesso de cloreto de cálcio			
Reação álcali-agregado	N		(Locais úmidos)	Agregado reativo mais cimento com alto teor de álcalis		Eliminar as causas listadas	Mais de 5 anos

A seguir, serão ilustradas manifestações típicas de fissuras de forma mais específica e detalhada. Separadas por partes da estrutura em que podem ocorrer, será feita uma abordagem rápida da respectiva fissura, quando cabível, e feito seu diagnóstico mais provável.

Deve se lembrar mais uma vez que o objetivo de estudo deste trabalho são as fissuras inativas, portanto, mesmo que mostradas nesse item todos os tipos existentes, será dado enfoque específico nas inativas.

2.5 Fissuras em Vigas

Apresentam-se neste tópico as configurações típicas de fissuras encontradas em vigas. Essa caracterização visa facilitar a identificação da origem das mesmas quando encontradas no referido elemento estrutural.

2.5.1 Fissuras de flexão em vigas

Os esforços numa viga isostática submetida à flexão, segundo Thomaz (1989), desenvolvem-se conforme Figura 16:

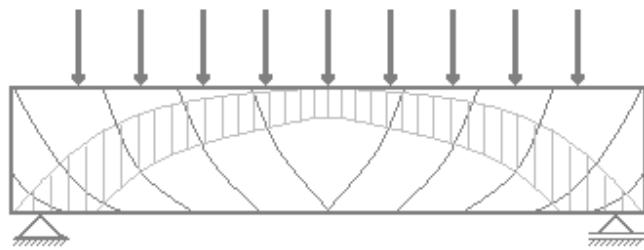


Figura 16. Esforços numa viga isostática submetida à flexão. (THOMAZ, 1989)

As fissuras ocorrem perpendicularmente às trajetórias dos esforços principais de tração. São praticamente verticais no terço médio do vão e apresentam aberturas maiores em direção à face inferior da viga onde estão as fibras mais tracionadas. Junto aos apoios as fissuras inclinam-se aproximadamente a 45° com a horizontal, devido à influência dos esforços cortantes como na Figura 17. Nas vigas altas esta inclinação tende a ser da ordem de 60° .

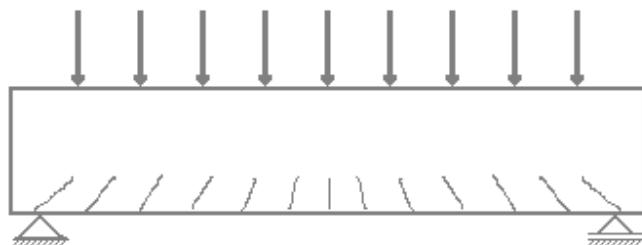


Figura 17. Fissuração típica em viga subarmada solicitada à flexão. (THOMAZ, 1989)

A localização, número, extensão e abertura das fissuras dependem das características geométricas da peça, das propriedades físicas e mecânicas dos materiais que a constituem e do estágio de solicitação da carga. No caso de vigas deficientemente armadas ao cisalhamento ou

mesmo no caso de ancoragem deficiente das armaduras, podem surgir inicialmente apenas fissuras inclinadas nas proximidades do apoio, como exemplifica a Figura 18.

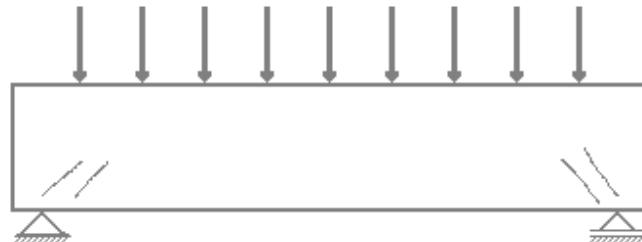


Figura 18. Fissuras de cisalhamento em viga solicitada à flexão. (THOMAZ, 1989)

No caso de vigas superarmadas, ou confeccionadas com concreto de baixa resistência, podem surgir trincas na zona comprimida da viga, com caráter de esmagamento do concreto (Figura 19).

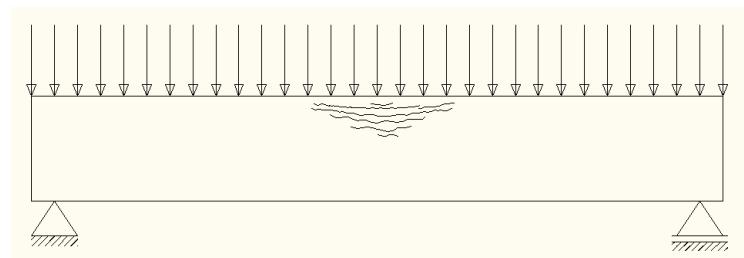


Figura 19. Ruptura por compressão do concreto de uma viga super armada solicitada à flexão. (THOMAZ, 1989)

Nas estruturas correntes de concreto armado, as fissuras presentes nas bordas tracionadas de vigas fletidas são em geral imperceptíveis a olho nu. Em alguns casos, contudo, estas podem até mesmos ser fotografadas à distância, sendo tais situações anormais causadas mais comumente por falhas na construção da viga (erro na bitola ou no número de barras de aço), mau uso da obra (aplicação de sobrecarga não prevista em projeto), descimbramento e/ou carregamento precoce da estrutura.

As fissuras também poderão ser introduzidas por erros de concepção estrutural, isto é, o comportamento real da estrutura difere daquele idealizado no projeto. Por exemplo, numa estrutura “pilar-laje” foram projetadas para as fachadas paredes de vedação em concreto armado com 7 cm de espessura, com armaduras ancoradas nas lajes. Como as lajes não foram devidamente “avisadas” de que não poderiam descarregar suas cargas nas “paredes de vedação”, estas acabam na realidade trabalhando como vigas altas (sem que estivessem dimensionadas para essa situação), surgindo fissuras de flexão e de cisalhamento (Figura 20).

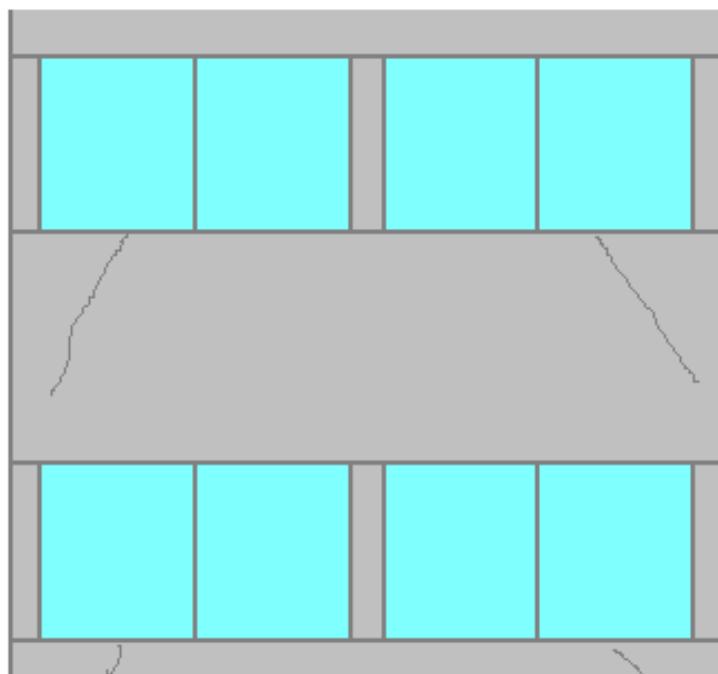


Figura 20. Fissura de cisalhamento em viga alta, prevista no projeto como “parede de vedação”.
(THOMAZ, 1989)

Com isso, é possível caracterizar as fissuras de flexão em vigas de acordo com a seguinte:

Manifestação Típica

Fissuras e flechas nas superfícies tracionadas de vigas e lajes (Figura 21).

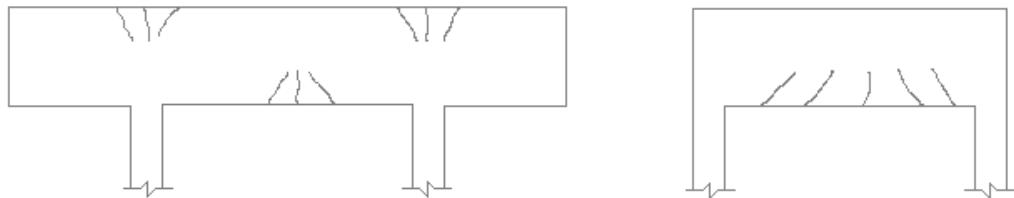


Figura 21. Manifestação típica de fissuras de flexão. (HELENE; PEREIRA, 2007)

Diagnóstico mais provável

- Projeto estrutural inadequado. Vigas subarmadas.

2.5.2 Fissuras de cisalhamento em vigas

Manifestação Típica

Fissuras inclinadas próximas dos apoios (Figura 22).



Figura 22. Manifestação típica de fissuras devido às forças cortantes. (HELENE; PEREIRA, 2007)

Diagnóstico mais provável

- Projeto estrutural inadequado. Vigas subarmadas.

2.5.3 Fissuras de flexão na parte superior de vigas

Manifestação Típica

Fissuras na superfície superior de vigas e lajes (Figura 23).

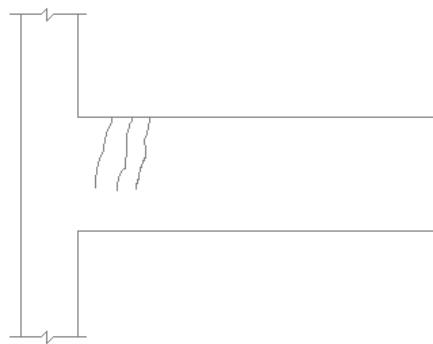


Figura 23. Fissuras na parte superior da viga. (HELENE; PEREIRA, 2007)

Diagnóstico mais provável

- Fixação insuficiente da armadura de reforço;
- Armadura mal posicionada no projeto ou na execução;
- Sobrecargas não previstas;
- Armadura insuficiente.

2.5.4 Fissuras de deslizamento das armaduras de vigas

Manifestação Típica

Fissuras alinhadas com a armadura principal e estribos (Figura 24).

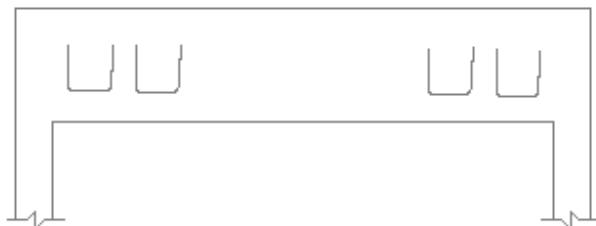


Figura 24. Manifestação típica de fissuras de flexão e deslizamento das armaduras. (HELENE; PEREIRA, 2007)

Diagnóstico mais provável

- Sobrecargas não previstas;
- Má aderência da armadura com o concreto;
- Concreto de resistência inadequada;
- Fixação insuficiente da armadura.

2.5.5 Fissuras devido à torção de vigas

Segundo Thomaz (1989), as trincas de torção podem aparecer em vigas de borda junto aos cantos das construções, por excessiva deformabilidade de lajes ou vigas que lhe são transversais, por atuação de cargas excêntricas ou por recalques diferenciais das fundações. Podem ocorrer também em vigas nas quais se engastam marquises e que não estejam convenientemente armadas à torção.

Esse tipo de trinca raramente se manifesta nas estruturas de concreto armado; constitui, entretanto, um tipo característico: as fissuras inclinam-se aproximadamente a 45° e aparecem nas duas superfícies laterais das vigas, segundo reta reversa como mostra a Figura 25.

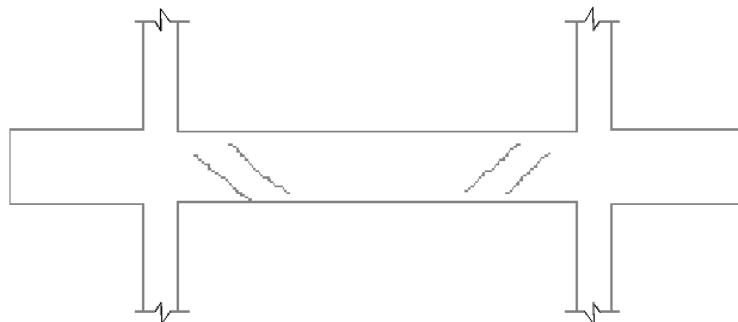


Figura 25. Fissuras provocadas por torção. (THOMAZ, 1989)

Com isso, é possível caracterizar esse tipo de fissura de acordo com a seguinte:

Manifestação Típica

Fissuras inclinadas e com inclinação diferente (reversa) em cada uma das faces opostas das vigas (Figura 26).

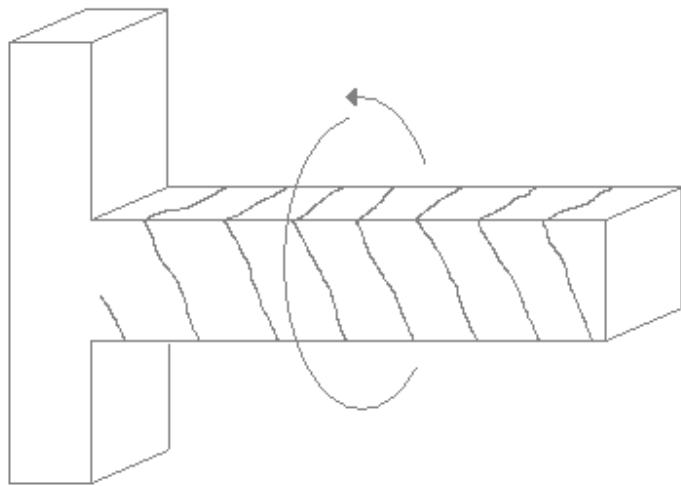


Figura 26. Manifestação típica de fissuras devido à torção de vigas. (HELENE; PEREIRA, 2007)

Diagnóstico mais provável

- Sobrecargas não previstas;
- Armadura insuficiente;
- Armadura mal posicionada no desenho ou na execução;
- Os esforços de torção não foram considerados no projeto.

2.6 Fissuras em Pilares

Apresentam-se nesse tópico as configurações típicas de fissuras encontradas em pilares. Esta caracterização visa facilitar a identificação da origem das mesmas quando encontradas no referido elemento estrutural. Antes disso, porém, devido à grande variabilidade de eventos que podem ocorrer nesse elemento estrutural em específico, serão feitas algumas considerações.

Segundo Thomaz (1989), são bastante raros os casos de trincas em pilares; normalmente essas peças trabalham com taxas de solicitação que representam apenas pequenas parcelas de suas cargas resistentes. Pela ocorrência de falhas construtivas, contudo, podem ocorrer trincas de esmagamento do concreto, sobretudo nos pés dos pilares; nesse caso, os pilares deverão ser imediatamente reforçados já que a estabilidade da estrutura está comprometida.

Podem manifestar-se também nos corpos dos pilares fissuras horizontais ou ligeiramente inclinadas. Elas são suscetíveis de ocorrer quando os pilares são solicitados à flexocompressão ou, num caso bem mais grave, podem ser indicativas da ocorrência de flambagem. Na construção com componentes pré-moldados (Figura 27), as solicitações de flexocompressão podem ser provocadas inclusive por deficiência de montagem da estrutura (desaprumbos, desalinhamentos etc.).

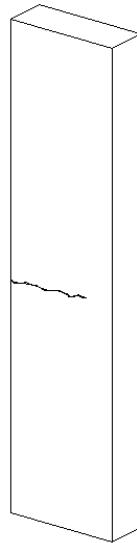


Figura 27. Trincas horizontais a meia altura de painel pré-moldado de concreto armado, submetido à flexocompressão. (THOMAZ, 1989)

Já não tão raras são as ocorrências de fissuras ou lascamentos nas cabeças de pilares pré-moldados (Figura 28), resultantes da concentração de tensões normais e tangenciais nessa região do pilar, no caso da inexistência de aparelho de apoio ou mesmo de sua parcial ineficácia; esse fenômeno foi devidamente considerado na preparação do projeto da norma brasileira sobre

estruturas de concreto pré-moldado, prevendo-se adição de uma armadura transversal complementar na cabeça do pilar, em função inclusive do tipo de aparelho de apoio adotado.

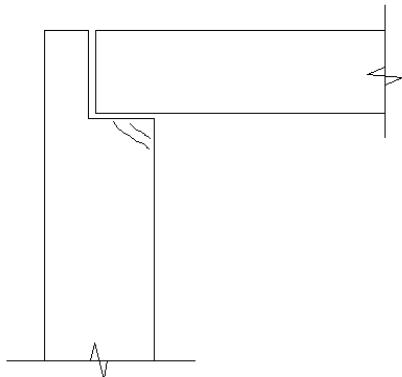


Figura 28. Fissuras inclinadas na cabeça do pilar provocadas por concentração de tensões.
(THOMAZ, 1989)

Outra consideração a ser feita é a de que o arcabouço estrutural da edificação estará sujeito a movimentações térmicas, principalmente em estruturas de concreto aparente. Deve-se salientar que, devido à insolação direta, as temperaturas nas faces expostas das peças de concreto poderão atingir, segundo Serdaly (1971), valores da ordem de até 80°C.

Essas movimentações raramente causam dano à estrutura em si; normalmente as regiões mais solicitadas são os encontros entre vigas, onde podem surgir fissuras internas às peças de concreto, e por isso mesmo, não detectáveis. A movimentação térmica das vigas pode provocar, contudo, fissuração aparente em pilares; este fato pode ocorrer principalmente quando a estrutura não possui juntas de dilatação ou quando as mesmas foram mal projetadas. Segundo Fabiani (1975), a dilatação térmica de vigas pode provocar nas extremidades dos pilares fissuras ligeiramente inclinada, conforme representado na Figura 29.

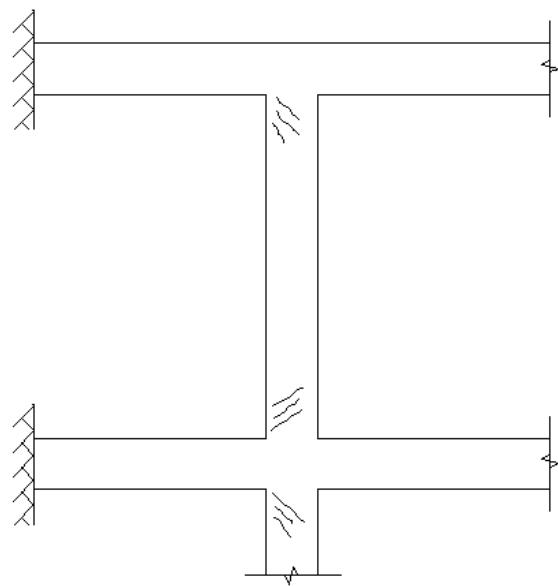


Figura 29. Pilar fissurado devido à movimentação térmica das vigas de concreto armado.
(THOMAZ, 1989)

2.6.1 Fissuras de assentamento plástico em pilares

Manifestação típica

Essas fissuras têm configuração horizontal e aparecem no topo de pilares, conforme ilustrado na Figura 30.

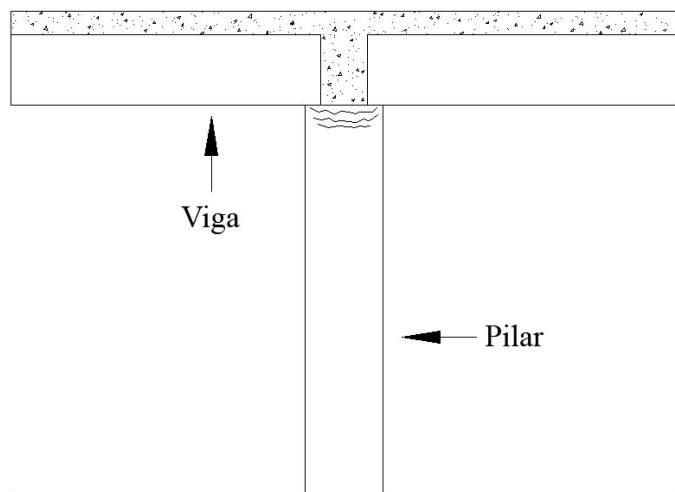


Figura 30. Manifestação típica de fissuras de assentamento plástico. (HELENE; PEREIRA, 2007)

Diagnóstico mais provável

- Concretagem simultânea dos pilares, vigas e lajes;
- Mau adensamento do concreto;
- Concreto muito fluido;
- Fôrmas não estanques.

2.6.2 Fissuras de pega em pilares

Manifestação típica

Essas fissuras surgem em todas as direções e em todo o pilar, conforme ilustrado na Figura 31.

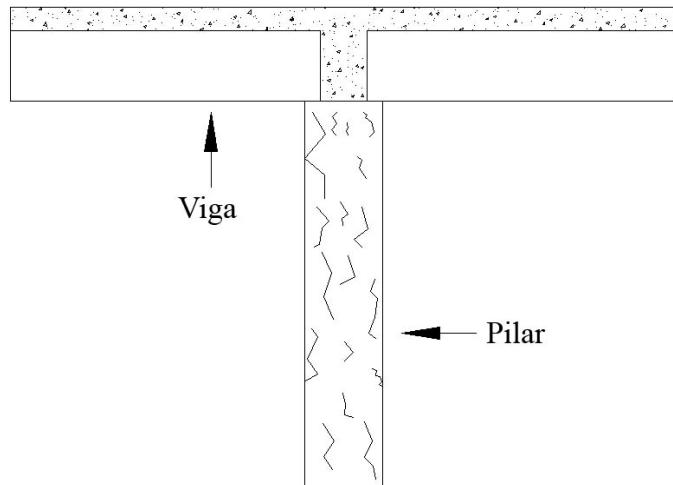


Figura 31. Manifestação típica de fissuras de falsa pega. (HELENE; PEREIRA, 2007)

Diagnóstico mais provável

- Cimento com excesso de anidrita (gesso anidro);
- Atraso no lançamento do concreto;
- Calor excessivo e umidade relativa baixa.

2.6.3 Fissuras de juntas de concretagem

Manifestação típica

Fissuras na interface da viga com o pilar. Por terem sido executadas em diferentes etapas de concretagem, o novo concreto não adere bem à parte já endurecida, concretada anteriormente. Sua configuração típica é ilustrada pela Figura 32.

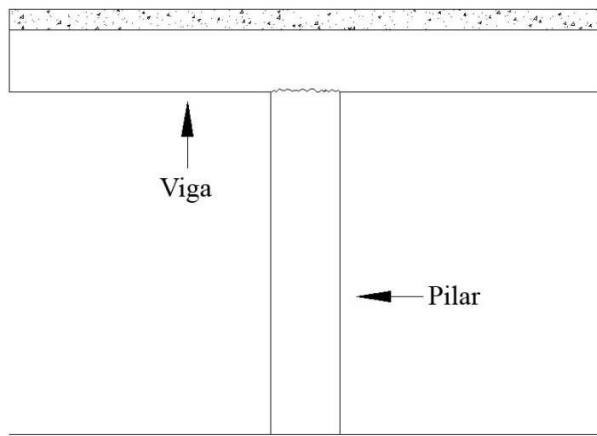


Figura 32. Manifestação típica de fissuras de juntas de concretagem. (HELENE; PEREIRA, 2007)

Diagnóstico mais provável

- Cabeça do pilar com excesso de nata de cimento (devido à exsudação) ou superfícies sujas de pó ou resíduos de madeira ou papel.

2.6.4 Fissuras de compressão localizada ou flambagem das armaduras de pilares

Manifestação típica

Fissuras na cabeça de pilares ou em suas partes, como ilustrada na Figura 33.

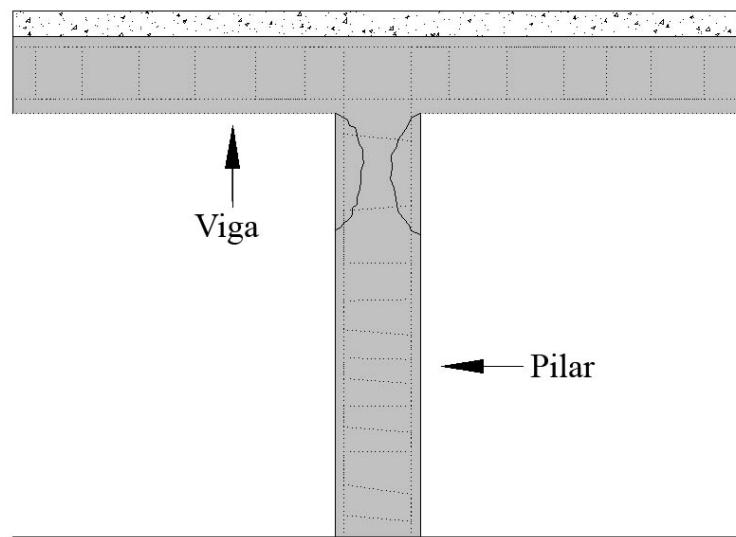


Figura 33. Manifestação típica de fissuras de compressão localizada. (HELENE; PEREIRA, 2007)

Diagnóstico mais provável

- Má colocação ou insuficiência de estribos;
- Carga superior à prevista;
- Concreto com resistência inadequada;
- Mau adensamento do concreto.

2.6.5 Fissuras ou rupturas no topo de pilares curtos

Manifestação típica

Essas fissuras são de solicitações cortantes na cabeça dos pilares curtos, que ocorrem, em geral, por movimentações térmicas. A configuração típica dessas fissuras pode ser observada na Figura 34.

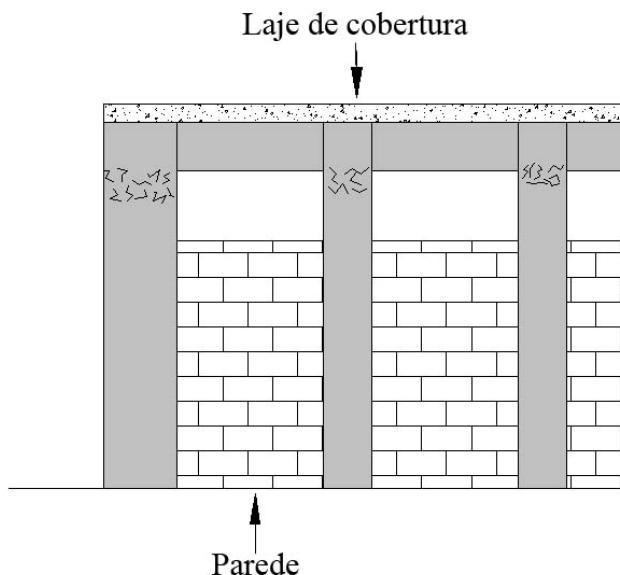


Figura 34. Manifestação típica de fissuras no topo de pilares curtos. (HELENE; PEREIRA, 2007)

Diagnóstico mais provável

- As paredes podem ser fortes restrições aos pilares, os quais não suportam as movimentações térmicas e hidráulicas da estrutura.

2.7 Fissuras em Lajes

Apresentam-se neste tópico as configurações típicas de fissuras encontradas em lajes. Essa caracterização visa facilitar a identificação da origem das mesmas quando encontradas no referido elemento estrutural.

2.7.1 Fissuras de flexão em lajes

Segundo Thomaz (1989), para flexão em lajes, o aspecto das fissuras varia conforme as condições de contorno da laje (apoio livre ou engastado), a relação entre comprimento e largura, o tipo de armadura e a natureza e a intensidade da solicitação.

Para lajes maciças com grandes vãos, os momentos volventes que se desenvolvem nas proximidades dos cantos da laje podem produzir fissuras inclinadas, constituindo com esses cantos triângulos aproximadamente isósceles. A Figura 35 mostra o aspecto típico do fissuramento na ruptura de uma laje simplesmente apoiada, armada em cruz e submetida a carregamento uniformemente distribuído.

Outro tipo de trinca pode surgir quando não existe armadura negativa entre painéis de lajes construtivamente contínuas, porém projetadas como simplesmente apoiadas; as trincas surgem na face superior da laje, acompanhando aproximadamente o seu contorno (Figura 36).

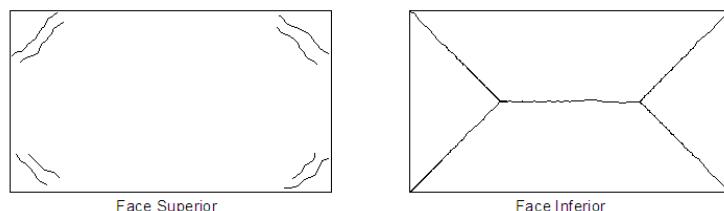


Figura 35. Fissura típica de lajes simplesmente apoiadas. (THOMAZ, 1989)

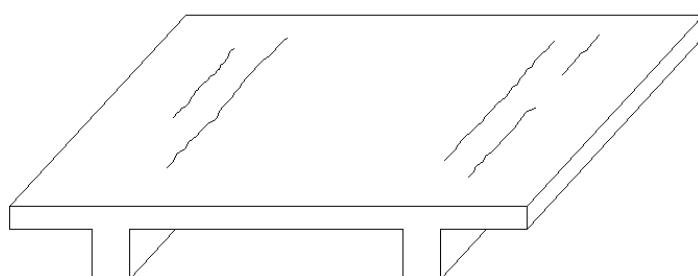


Figura 36. trincas na face superior da laje devidas à ausência de armadura negativa. (THOMAZ, 1989)

Com isso, tais fissuras podem ser caracterizadas de acordo com a seguinte:

Manifestação típica

Fissuras a 45° e no centro da laje em caso de lajes simétricas, conforme ilustração da Figura 37.

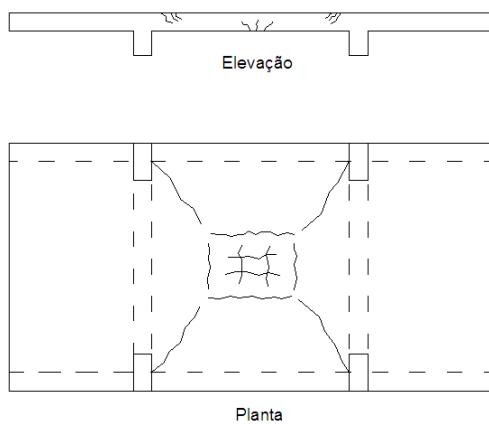


Figura 37. Manifestação típica de fissuras de flexão. (HELENE; PEREIRA, 2007)

Diagnóstico mais provável

- Armadura insuficiente ou mal posicionada;
- Comprimento de ancoragem insuficiente;
- Desforma precoce;
- Sobrecargas não previstas.

2.7.2 Fissuras de momento volventes em lajes

Segundo Thomaz (1989), por recalques diferenciados das fundações ou por deformabilidade da estrutura, as lajes podem ser submetidas a solicitações de torção muito mais significativas do que aquelas que se desenvolvem nas lajes fletidas; as trincas nesses casos apresentam-se inclinadas em relação aos bordos da laje (Figura 38).

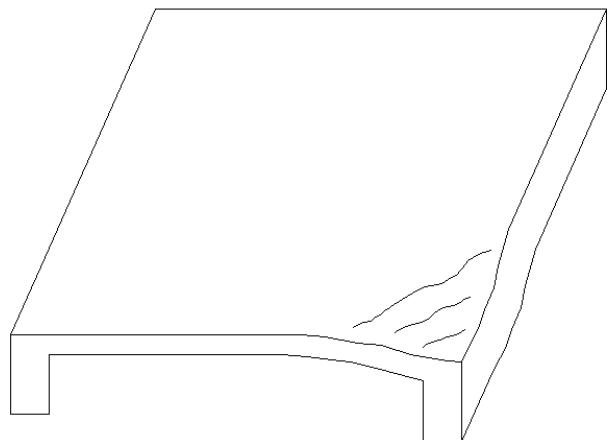
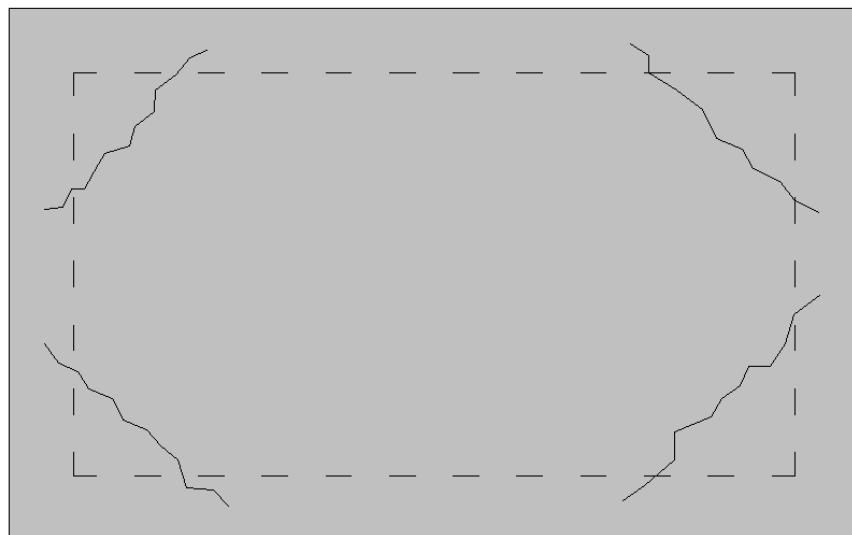


Figura 38. Trincas inclinadas devido à torção da laje. (THOMAZ, 1989)

Com isso, tais fissuras ocorrem de acordo com a seguinte:

Manifestação típica

Nesse caso, surgem fissuras a 45° nos cantos das lajes, conforme a Figura 39.



Parte superior de lajes apoiadas

Figura 39. Manifestação típica de fissuras de momentos volventes. (HELENE; PEREIRA, 2007)

Diagnóstico mais provável

- Armadura de canto insuficiente;
- Proteção térmica insuficiente.

2.7.3 Fissuras de flexão em lajes em balanço

Manifestação típica

As fissuras são verificadas na parte superior da laje próximas ao engaste, na seção mais solicitada, conforme a Figura 40.

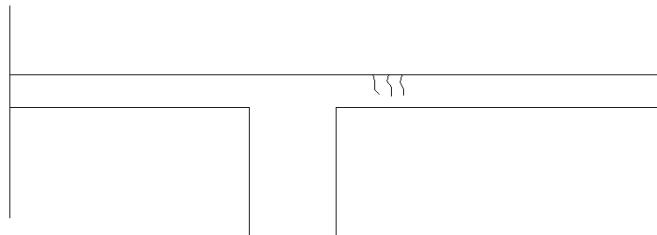


Figura 40. Manifestação típica de fissuras de flexão em balanço. (HELENE; PEREIRA, 2007)

Diagnóstico mais provável

- Armadura insuficiente ou mal posicionada;
- Comprimento de ancoragem insuficiente;
- Desforma precoce;
- Sobrecargas não previstas.

2.7.4 Fissuras de retração hidráulica e contração térmica em lajes

Manifestação típica

Essas fissuras podem aparecer de duas maneiras: ou paralelas seguindo orientação da menor direção ou espalhadas por toda a laje em todas as direções. A Figura 41 ilustra as configurações típicas dos dois casos.

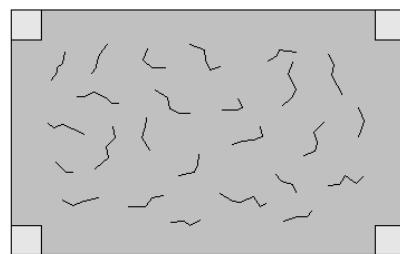
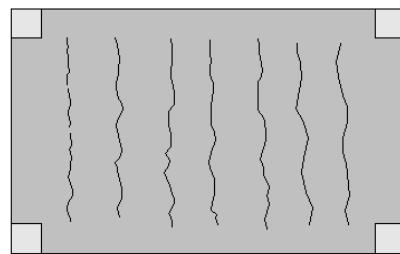


Figura 41. Manifestação típica de fissuras de retração hidráulica e contração térmica. (HELENE; PEREIRA, 2007)

Diagnóstico mais provável

- Cura insuficiente;
- Proteção térmica ineficiente;
- Excesso de calor de hidratação;
- Excesso de água de amassamento.

2.8 Fissuras em Paredes de Concreto

Nesse tópico serão apresentadas todas as configurações típicas de fissuras encontradas em paredes de concreto. Essa caracterização visa facilitar a identificação da origem das mesmas quando encontradas no referido elemento estrutural. Vale lembrar que conhecer a origem da fissura é de fundamental importância para tratá-la de forma correta.

2.8.1 Fissuras de recalque em paredes de concreto

Manifestação típica

As fissuras se formam de forma angulada em paredes de concreto. Ocorrem em decorrência de recalques diferenciais acentuados. Sua configuração típica é ilustrada na Figura 42.

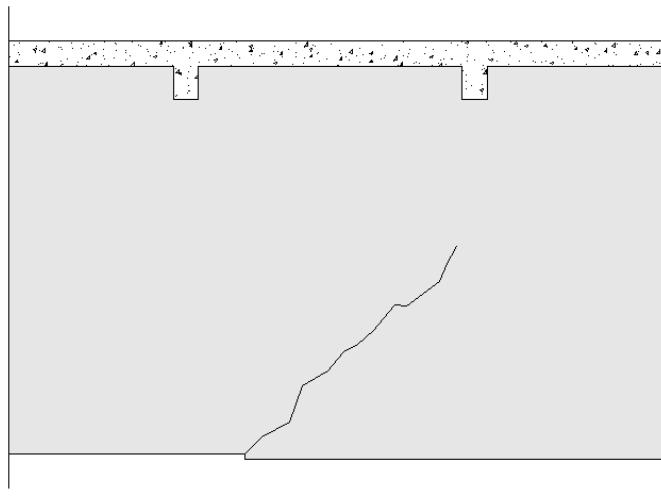


Figura 42. Manifestação típica de fissuras de recalque em parede de concreto. (HELENE; PEREIRA, 2007)

Diagnóstico mais provável

- Recalque das fundações ou dos apoios;
- Armadura insuficiente;
- Armadura mal posicionada no projeto ou na execução.

Capítulo 3: PROCEDIMENTOS DE REPARO DE FISSURAS INATIVAS

Neste capítulo serão abordado métodos de tratamentos de fissuras inativas em estruturas de concreto armado. Para tanto, iniciou-se a pesquisa com os materiais mais empregados para tal fim, passando por um modelo de escolha de materiais e suas principais características. Observou-se que os tratamentos por injeções são os mais eficientes e recomendados para as fissuras. No caso de as fissuras se apresentarem em forma de mapas com profundidades muito pequenas sugere-se um tratamento superficial.

Após a descrição das características dos materiais, o presente capítulo apresenta o tratamento de fissuras inativas, com o processo de injeções (componentes, cuidados, controle, medições).

Finalizando propõe-se dez métodos distintos de tratamento de fissuras inativas, de acordo com diferentes condições, incluindo outro roteiro de decisão que orienta qual método usar diante de um cenário.

3.1 Materiais

3.1.1 Processo de Seleção de materiais

Existe uma grande variedade de materiais de reparo para estruturas de concreto. Esta grande gama possibilita combinar as propriedades do material com a demanda do reparo, mas também aumentam as chances da escolha de um material inapropriado.

As propriedades mais importantes que devem ser consideradas na escolha do material de reparo são: estabilidade dimensional, coeficiente de expansão térmica, módulo de elasticidade, permeabilidade e viscosidade.

A seleção do material apropriado é um requisito para obtenção de reparos duráveis. A melhor escolha para compatibilizar as propriedades do material de reparo com as propriedades da base de concreto é o cimento Portland ou outras composições cimentícias. Fatores como condições de trabalho restritas, requisitos de ganho de força rápida ou resistência ao ataque químico, geralmente requerem o uso de outros materiais.

A seleção final do material ou combinação de materiais deve considerar a facilidade de aplicação, custo e disponibilidade de mão de obra especializada e equipamentos. Em geral na hora da escolha, o profissional deve considerar três fatores: condições do reparo, propriedades do

material de reparo e o conhecimento e equipamentos necessários para realizar o trabalho. A Figura 43 esquematiza o processo de seleção de escolha de materiais.

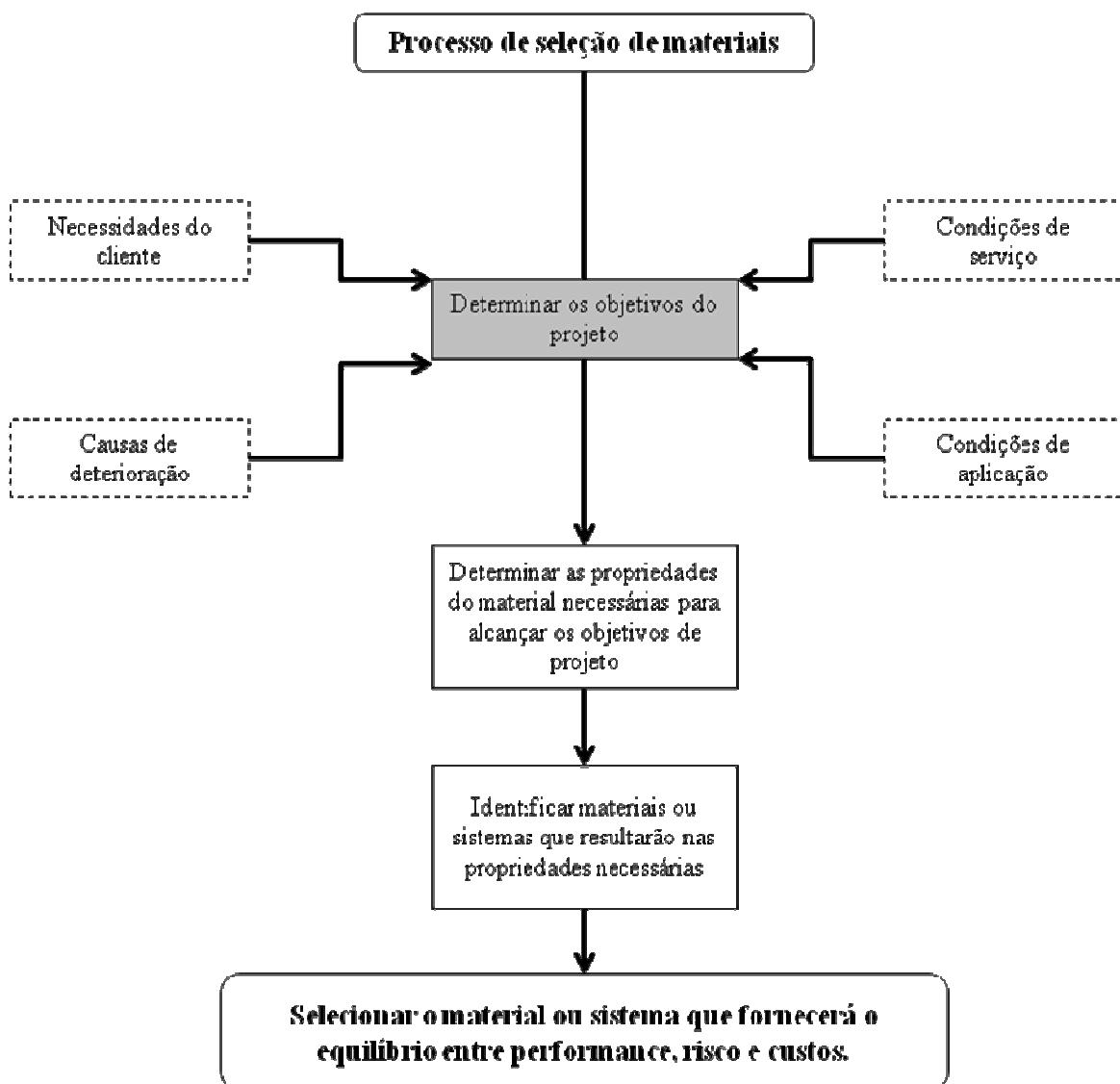


Figura 43. Esquema orientativo de tomada de decisão para escolha de materiais (ACI 546R-Concrete Repair Guide).

As primeiras etapas do estudo (retângulos tracejados) determinam o cenário o qual se encontra a estrutura, tanto num período anterior à recuperação, quanto no período de utilização, após a intervenção.

1-Causas da deterioração: Nessa etapa são estudadas as prováveis causas das fissuras, assim como suas características.

2-Necessidades do cliente: É necessária uma visão global do projeto, de modo a compreender e fornecer aos clientes alternativas quanto à vida útil, aparência, utilização da estrutura, modos de reabilitação e custos.

3-Condições de serviço: O objetivo dessa etapa é entender o ambiente no qual a estrutura está inserida. São considerados fatores climáticos, agressividades químicas e necessidades ambientais.

4-Condições de aplicação: Previsões climáticas, acessibilidade do local, cronograma e condições de operação da estrutura são analisados nessa etapa.

A caracterização descrita nos quatro itens mencionados acima é indicada pelo manual de Reparação de concreto do ACI como um checklist, onde são preenchidos formulários que mapeiam a estrutura.

Em seguida, o processo entra numa fase de verificação das propriedades necessárias, que material escolhido terá que fornecer, de acordo com o mapeamento anterior.

Posteriormente, é levantada a gama de materiais que atendem as propriedades exigidas pela estrutura e o ambiente, e alternativas são propostas.

Finalmente é escolhido o material e o procedimento adequado à situação, de forma a equilibrar desempenho, riscos e custos.

3.1.2 Características dos materiais para tratamento de fissuras inativas

Para enquadrar as pesquisas no escopo desse trabalho (tratamento de fissuras inativas) utilizou-se a Norma Européia EN1504-"Produtos e sistemas para proteção e reparos em estruturas de concreto", mais precisamente na Parte 5-"Injeção em concreto", obtendo conceitos importantes sobre sistemas de injeção.

- Injeções de Resinas Epoxídicas

A injeção de resinas de epóxi é destinada às estruturas que apresentam um problema estrutural e trincas secas, cuja principal finalidade é a recuperação da correta e eficiente distribuição das forças dinâmicas, e a consequente proteção da armadura contra a corrosão, recuperando a condição de rigidez e estática da estrutura. As resinas de epóxi apresentam

propriedades mecânicas superiores às de quaisquer outras resinas e até mesmo do que o concreto (ver Tabela 3).

As resinas epoxídicas para injeção de fissuras apresentam baixa viscosidade e isentas de solvente. Suas principais características são:

- a. Sistema de injeção: tratamento estrutural
- b. Rígidas: destinadas às fissuras passivas (inativas)
- c. Altas resistências mecânicas: à compressão, à tração e cisalhamento;
- d. Baixa viscosidade: penetram em fissuras $\geq 0,1\text{mm}$
- e. Isentas de solvente: tem estabilidade volumétrica após a cura
- f. Excelente aderência ao substrato de concreto: hoje há resina para fissura com umidade
- g. Grande durabilidade: superam 100 anos em estruturas de concreto

Tabela 3. Diferentes condições de aplicação de resinas epóxicas.

Produto	Condições da fissura	Abertura da fissura (mm)	Viscosidade	Pot life a 20°C e 50% UR
Resina epóxi A	Seca	> 0,2 mm	180 mPa.s	45 minutos
Resina epóxi B	Seca	> 0,1 mm	95 mPa.s	50 minutos
Resina epóxi C	Úmida e seca	> 0,2 mm	320 mPa.s	45 minutos

- Injeções de microcimento

Os microcimentos ganham mercado através de pesquisas com modificações com partículas finas, materiais orgânicos, e aditivos. Essas modificações permitem substâncias com viscosidade reduzida, e consequentemente, uma maior penetrabilidade em fissuras de concreto. As principais características são:

- a. Sistema de injeção: tratamento estrutural
- b. Rígidos: devem ser aplicadas em fissuras passivas
- c. Altas resistências mecânicas à compressão
- d. Módulo de deformação é compatível com o do concreto
- e. Baixa viscosidade: penetram em fissuras $> 0,2\text{ mm}$
- f. Excelente aderência ao substrato de concreto mesmo com umidade
- g. Grande durabilidade
- h. Promovem uma proteção alcalina às armaduras

A Tabela 4 representa a variabilidade de injeções de microcimento no mercado.

Tabela 4. Diferentes condições de aplicação de microcimento

Produto	Condições da fissura	Abertura da fissura (mm)	Resistência à compressão (28 d)	Pot life a 20°C e 50% UR
Microcimento A	Úmida ou seca	> 0,5 mm	45 MPa	30 minutos
Microcimento B	Úmida ou seca	> 0,2 mm	42 MPa	60 minutos

- Injeções de Resinas de Poliuretano Estrutural

As resinas de poliuretano rígido para injeção em fissuras, mesmo em presença de água ou submersas, devem apresentar baixa viscosidade, serem isentas de solvente e apresentarem alto desempenho para o tratamento estrutural. As principais características são:

- a. Sistema de injeção: tratamento estrutural
- b. Rígidas: devem ser aplicadas em fissuras passivas
- c. Altas resistências mecânicas à compressão, à tração e cisalhamento
- d. Baixa viscosidade: penetram em fissuras $\geq 0,2$ mm
- e. Isentas de solvente: tem estabilidade volumétrica após a cura
- f. Expande ao entrar em contato com a água
- g. Excelente aderência ao substrato de concreto mesmo estando úmido
- h. Grande durabilidade: superam 100 anos em estruturas de concreto
- i. Disponível em versão para aplicação subaquática.

A Tabela 5 e Tabela 6 representam, respectivamente, a variabilidade de Injeções de Resinas de Poliuretano Estrutural no mercado e possíveis aditivos.

Tabela 5. Diferentes condições de aplicação de resinas de poliuretano estrutural.

Produto	Condições da fissura	Abertura da fissura (mm)	Viscosidade (mPa.s)	Pot life a 20°C e 50% UR
Poliuretano estrutural A	Úmida	>0,2 mm	200 ± 50	30 segundos
Poliuretano estrutural B	Úmida	>0,2 mm	200 ± 50	10 min
Poliuretano estrutural C	Úmida	>0,2 mm	200 ± 50	45 min
Poliuretano estrutural D	Submersa	>0,2 mm	230	43 segundos

Tabela 6. Diferentes aditivos combinados com resinas de poliuretano estrutural.

Aditivo	Dosagem (%)	Resina	Pot Life	Formação de espuma após adição
Aditivo A	0,5 a 2,0 %	Poliuretano estrutural D	10 a 28s	Sim
Aditivo B	6%	Poliuretano estrutural D	9s	Não
Aditivo C	2 a 6%	Poliuretano estrutural	30s	Não
	2 a 6%	A,B,C	10 min	Não

- Injeções de Resinas de Poliuretano flexível

Mesmo que não recomendado, relata-se como um opção, as resinas de poliuretano para injeção de fissuras devem apresentar baixa viscosidade e serem isentas de solvente. As principais características são:

- a. Sistema de injeção: selamento
- b. Flexibilidade: podem ser aplicadas em fissuras passivas e ativas
- c. Baixa viscosidade: penetram em fissuras > 0,1 mm
- d. Isentas de solvente: tem estabilidade volumétrica após a cura
- e. Excelente aderência ao substrato de concreto, mesmo com a presença de água
- f. Grande durabilidade: superam 100 anos em estruturas de concreto

A Tabela 7 representa a variabilidade de injeções de resinas de poliuretano flexíveis no mercado.

Tabela 7. Diferentes condições de aplicação de resinas de poliuretano flexíveis.

Produto	Condições da fissura	Abertura da fissura (mm)	Resistência à compressão (28 d)	Pot life a 20°C e 50% UR
Poliuretano flexível A	Úmida ou Seca	> 0,1 mm	100	100 minutos
Poliuretano flexível B	Úmida ou seca	> 0,1 mm	80	35 minutos

- Injeções de Resinas de Poliuretano Hidroativado e Poliuretano Flexível

As resinas de poliuretano para injeção de fissuras devem apresentar baixa viscosidade e isentas de solvente. Para reduzir temporariamente o fluxo d'água sob pressão, as espumas de poliuretano devem ser injetadas antes da injeção do gel de poliuretano, as quais têm um curto tempo de reação ao entrar em contato com a água, formando uma espuma de células abertas, com grande aumento de volume.

As principais características são:

- a. Sistema de injeção: impermeabilização
- b. Flexibilidade: podem ser aplicadas em fissuras passivas e ativas
- c. Baixa viscosidade: penetram em fissuras > 0,1 mm
- d. Isentas de solvente: tem estabilidade volumétrica após a cura
- e. Excelente aderência ao substrato de concreto, mesmo com fluxo d'água
- f. Grande durabilidade: superam 100 anos em estruturas de concreto

A Tabela 8 representa Injeção de Resinas de Poliuretano Hidroativado.

Tabela 8. Condição de aplicação de resina de poliuretano hidroativado.

Produto	Condições da fissura	Abertura da fissura (mm)	Viscosidade (mPa.s)	Pot life a 20°C e 50% UR
Poliuretano hidroativado expansivo	Fluxo d'água	> 0,2 mm	400	6 a 8 horas

- Injeções de Gel de Acrílico

O gel acrílico deve apresentar baixa viscosidade para a boa injetabilidade, controle de reação para se espalhar por detrás da estrutura e percolar na interface rocha /concreto e solo/concreto. As principais características são:

- a. Sistema de injeção: impermeabilização
- b. Flexibilidade: podem ser aplicadas atrás da estrutura para formar uma membrana impermeabilizante
- c. Baixa viscosidade: percolam com extrema facilidade no solo
- d. Hidroestruturada: podem ser aplicadas mesmo contra fluxo d'água.
- e. Excelente aderência ao substrato de concreto, mesmo com fluxo d'água
- f. Grande durabilidade: superam 100 anos em estruturas de concreto

A

Tabela 9 representa a variabilidade de Injeções de gel de acrílico mercado.

Tabela 9. Diferentes condições de aplicação de injeções de gel de acrílico.

Produto	Condições da fissura	Abertura da fissura (mm)	Viscosidade (mPa.s)	Pot life a 20°C e 50% UR
Gel de Acrílico A	Fluxo d'água	> 0,1 mm	5	9 a 73 seg
Gel de Acrílico B	Fluxo d'água	> 0,1 mm	30	19 a 140 seg

3.2 Tratamento de fissuras inativas

O reparo de fissuras inativas geralmente implica na restauração da monoliticidade do concreto. Consiste, portanto, na aplicação de produtos (adesivos) capazes de promover a aderência entre os concretos de suas duas faces. A aplicação dos adesivos pode ser feita por gravidade ou por injeção sob pressão (ar comprimido), conforme o caso.

As fissuras capilares (com aberturas inferiores a 0,3 mm) não podem ser tratadas através de injeção de resina epoxídica, porque seria necessária uma resina com fluidez bem maior do que as existentes no mercado. Fissuras com abertura igual ou menor do que 0,1 mm, teoricamente, não precisam ser tratadas, por não significarem risco à durabilidade do concreto ou das armaduras. O mesmo acontece com as que apresentam abertura menor ou igual a 0,2 mm, desde que o elemento estrutural não esteja em meio fortemente agressivo.

Quando o tratamento for julgado necessário ou conveniente, ele pode ser executado utilizando-se produtos que reajam com os subprodutos de hidratação do cimento (Ex.: Xypex Concentrado - MC-Bauchemie). Na reação, são formados cristais insolúveis que preenchem o vazio criado pela fissura, colmatando-a.

As fissuras de Pequena Abertura (0,3 a 1,0 mm) são, geralmente, reparadas através da injeção de resinas epoxídicas de grande fluidez (ex.: Sikadur 52), por gravidade ou por injeção sob pressão.

No caso de fissuras de grande abertura (abertura superior a 1 mm), a escolha do material de reparo é feita com base na abertura mínima da fissura e de sua posição em relação à estrutura. São, normalmente, utilizados:

- a) resina de base epoxídica de elevada fluidez (ex.: Sikadur 52) pura ou misturada com areia sintética de grande finura. A mistura garante redução de custos e previne problemas de expansão e retração térmicas, sendo que a relação areia/resina é, também, definida em função da abertura da fissura;
- b) resinas epoxídica de média fluidez (Ex.: Sikadur 32);
- c) argamassas, aditivadas com agentes compensadores de retração;
- d) argamassas “grout” de base mineral ou epoxídica.

3.2.1 Injeções de Fissuras

Esse item descreve sucintamente pontos gerais nos procedimentos de fissuras inativas. Detalhes mais precisos, de acordo com necessidades especiais, serão descritos nos itens subsequentes.

- Preparo da fissura

- A fissura deve estar seca e limpa.

- Previamente pode ser limpa com água misturada com detergente introduzida na fissura sob pressão.

- Depois de limpa, deve ser seco com o auxílio de ar comprimido, injetado a quente para assegurar a perfeita secagem da fissura.

- Há situações onde o mais fácil e adequado pode ser simplesmente aplicar o produto (argamassa de micro-cimento ou resinas) generosamente na superfície da fissura. Muitas vezes os produtos, se realmente são de baixa viscosidade, entram por absorção capilar nas fissuras sem necessidade de equipamento de pressão.

- Sempre que o processo é feito sob pressão, previamente há necessidade de aplicar um selo superficial e fixar os pontos de injeção.

- Voltar a injetar ar comprimido quente através dos bicos antes de começar a injetar as misturas de argamassa ou resinas.

- Fixação de bicos de injeção e selo superficial

- Colocar os bicos na superfície, junto à fissura (Figura 44). Se for passante, colocar por ambos os lados.

- Selar a fissura superficialmente por toda sua extensão.

- Verificar, mediante ar comprimido, a comunicação entre os bicos.

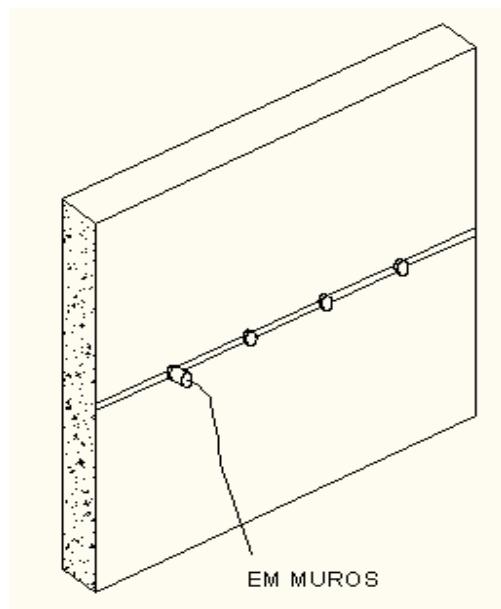


Figura 44. Detalhe esquemático da fixação de bicos em muros. (HELENE; PEREIRA, 2007)

- Aplicação do material de reparo

Injeções por gravidade e absorção capilar (Figura 45).

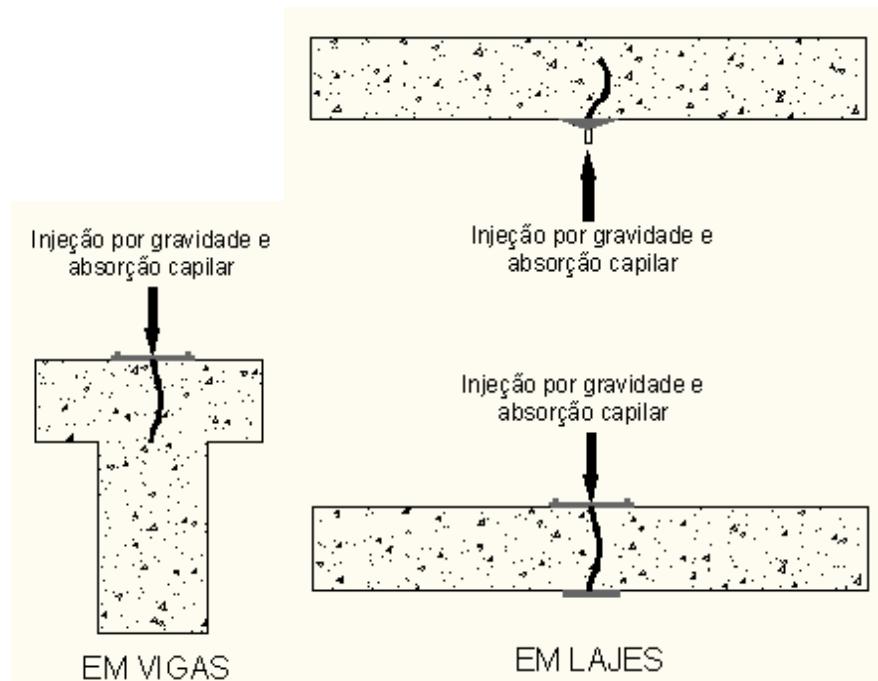


Figura 45. Esquema de injeções em vigas e lajes. (HELENE; PEREIRA, 2007)

- .Pressão de injeção

A pressão de injeção deve ser menor que $(1/3) f_{ck}$. A pressão usual de injeção é de 0,5 a 1,0 Mpa (5 a 10 atm).

- Acabamento

Logo que se tenha a cura do material injetado, se retira o selo com disco e se efetua o acabamento desejado.

- Equipamentos e Ferramentas

- Brocas de paleta de baixa revolução (Figura 46);



Figura 46. Esquema de um misturador de paleta. (HELENE; PEREIRA, 2007)

- Equipamento de injeção, pistola manual ou seringa (Figura 47);

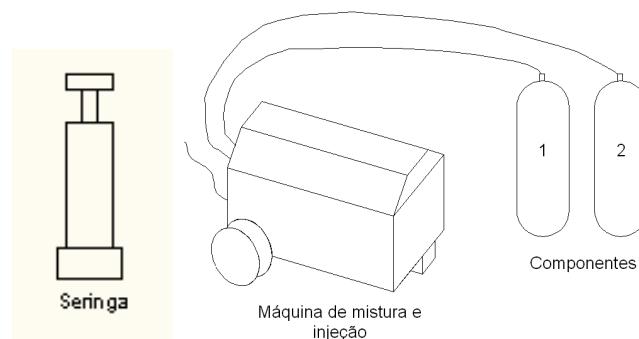


Figura 47. Esquema de uma seringa (esquerda) e máquina de injeção (direita). (HELENE; PEREIRA, 2007)

- Bicos para injeção (Figura 48);



Figura 48. Bicos para injeção.

- Sistema de ar comprimido;
- Misturador coloidal.

3.2.2 Procedimento de controle de injeções

A seguir sugere-se um passo a passo com procedimentos de controle do procedimento de injeção em estruturas de concreto. Esse item do trabalho visa assegurar uma qualidade de execução compatível com os cuidados previamente tomados nos itens anteriores (diagnóstico, seleção de materiais, métodos de aplicação de injeções), que muitas vezes é negligenciado.

- Verificação do material
 - verificar se descrição do produto corresponde à especificada em projeto;
 - verificar se a embalagem se encontra lacrada e o produto dentro do prazo de validade especificado pelo fabricante.

- Controle do Preparo

- os produtos bi-componentes são fornecidos pelo fabricante em embalagens com as medidas exatas para sua mistura;
- sempre deve ser preparado o produto com a utilização total do conteúdo dos dois componentes;
- verificar se não existe sobra, seja do componente A seja do B, nas embalagens;
- verificar se a mistura, após a agitação, encontra-se perfeitamente homogênea e uniforme;
- verificar se o tempo limite de aplicação, open time, pot life, definido pelo fabricante, não foi excedido antes da aplicação da mistura preparada.

- Controle de injeção

- verificar se a pressão da injeção é a adequada para o material injetado;
- verificar se as fissuras foram completamente preenchidas pela injeção;
- verificar se a área tratada encontra-se homogênea, com bom acabamento e sem apresentar fissuras abertas.

A aceitação consiste na aprovação de cada item de controle sugerido acima, seguindo a mesma ordem descrita.

3.2.3 Critério de medições e pagamentos

- Para quantificar os serviços executados deve ser determinado o comprimento real das fissuras recuperadas em metros lineares (m);
- No caso de dificuldade para um levantamento rigoroso da real extensão das fissuras, a fiscalização pode estimar a quantidade de fissuras existentes em 1 (um) m² e determinar o valor total da área tratada, chegando-se assim, com razoável aproximação, à quantidade determinada para remuneração do serviço de injeção,
- Por metro quadrado (m²) para tratamento em regiões micro-fissuradas.

O serviço deve ser recebido e medido da forma descrita e pago conforme os respectivos preços unitários contratuais, no qual estarão inclusos: fornecimento do material, mão de obra com encargos sociais, BDI, depreciação da central de injeção necessária à execução dos serviços de

injeção descritos neste capítulo, ferramentas e equipamentos necessários à completa execução do serviço.

3.2.4 Métodos distintos de tratamento de fissuras

Nessa etapa serão descritos de uma forma mais sistemática os diversos tipos de procedimentos existentes para correção de fissuras inativas de acordo com necessidades específicas. A Figura 49 é uma forma prática de tomada de decisão, que relaciona as características da fissura com o método de injeção a ser utilizado. Esses métodos serão descritos detalhadamente a seguir e foram nomeados como:

Método 1: Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) em superfícies verticais ou inclinadas.

Método 2: Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) passantes em superfícies horizontais.

Método 3: Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) em superfícies horizontais superiores.

Método 4: Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) em superfícies horizontais inferiores – Acesso pelas faces superior e inferior.

Método 5: Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) em superfícies horizontais inferiores – Sem acesso pela face superior.

Método 6: Reparo de fissuras inativas de grande abertura (superior a 1,0 mm) incidentes em uma ou mais faces incluindo a superior

Método 7: Reparo de fissura inativa de grande abertura (superior a 1,0 mm) não incidente na face superior mas em pelo menos uma face lateral.

Método 8: Reparo de fissura inativa de grande abertura (superior a 1,0 mm) incidente apenas na face inferior – Acesso pela face superior.

Método 9: Reparo de fissura inativa de grande abertura (superior a 1,0 mm) incidente apenas na face inferior – Sem acesso pela face superior.

Método 10: Reparo de fissura inativa capilar (abertura inferior a 0,3 mm) e fissuras em mapa.

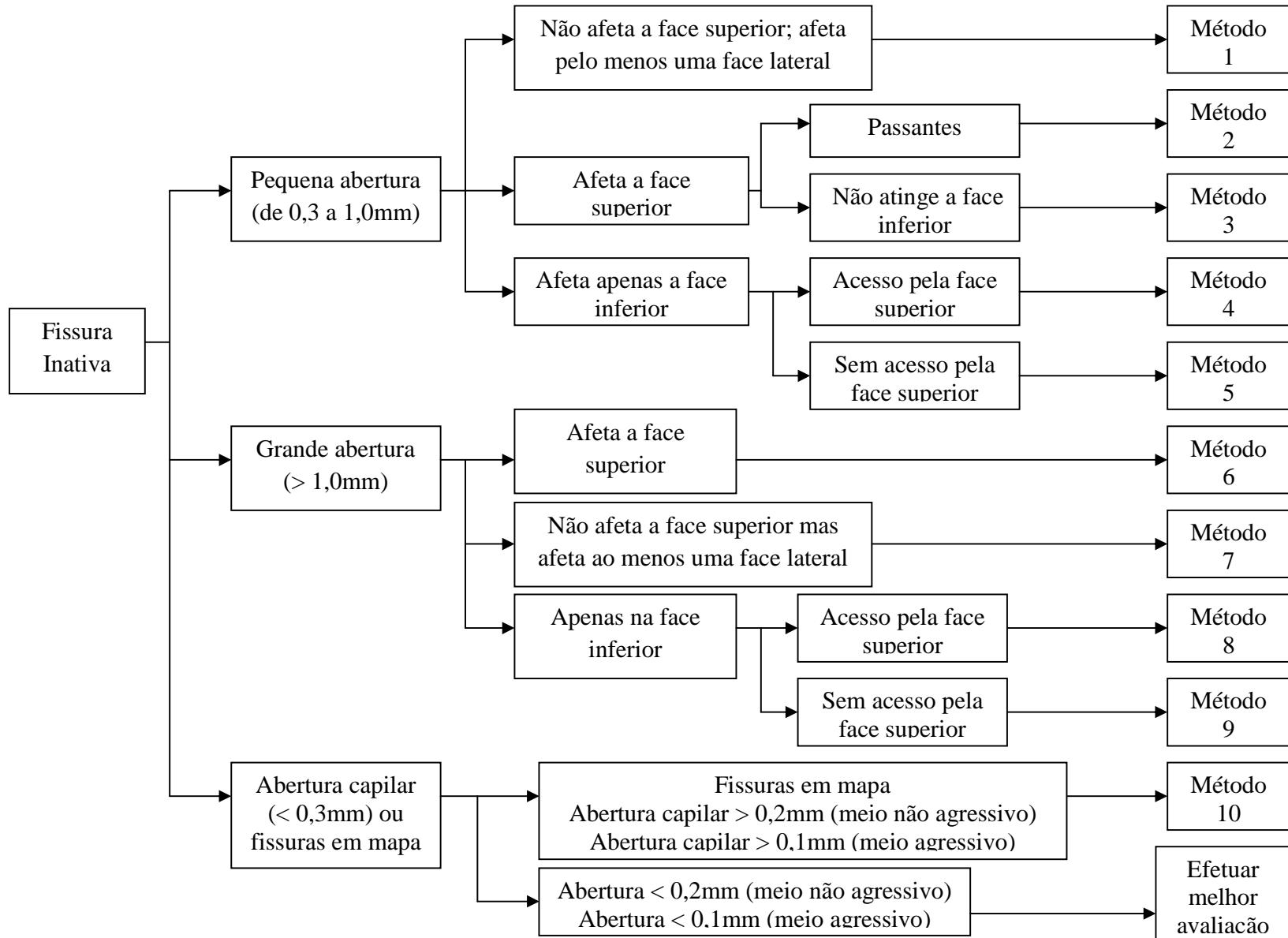


Figura 49. Modelo de tomada de decisão para injeção de fissuras baseado em Piancastelli (1997).

3.2.4.1 Método 1 – Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) em superfícies verticais ou inclinadas.

Essas fissuras são, geralmente, reparadas através da injeção de resinas epoxídicas de grande fluidez de acordo com os procedimentos a seguir:

- a) Executar, com broca de vídea, furos de 12,5 mm de diâmetro e 3 cm de profundidade, espaçados de 5 a 30 cm sobre a face lateral. O espaçamento deverá ser tão maior quanto maior for a abertura da fissura.
- b) Retirar o pó através de ar comprimido e escova de pêlo.
- c) Executar lavagem com jato d'água.
- d) Com o substrato completamente seco, colar com resina epóxi tixotrópica bicos de 10 mm de diâmetro e aproximadamente 15 cm de comprimento (um bico por furo). Calafetar toda a fissura com a mesma resina, incluindo sua extensão sobre a face inferior da estrutura, se for o caso.
- e) Verificar a intercomunicação entre os furos com ar comprimido. Em caso de falta de comunicação entre bicos adjacentes, introduzir bicos intermediários entre elas (passos b, c, d e e).
- f) Após, no mínimo, 8 horas da calafetagem da fissura, preparar a resina de injeção (resina epólica de grande fluidez), de maneira a não ocorrer incorporação de ar e nem aquecimento da mistura por agitação excessiva (utilizando um misturador coloidal). Aplicá-la, imediatamente, iniciando pelo bico inferior (primeiro bico). Quando a resina começar a verter pelo segundo bico, obstruir o primeiro e continuar a injeção pelo segundo. Continuar assim até o preenchimento total da fissura;
- g) Após 24 horas, retirar os bicos por corte e broqueamento, obturar os orifícios com o adesivo epóxi tixotrópico, e dar acabamento por lixamento. Caso seja exigido melhor acabamento, pode-se retirar todo o adesivo epoxídico de calafetamento da fissura e aplicar material de reparo de melhor efeito estético.

OBS.: Se a fissura ocorrer dos dois lados do elemento estrutural (fissura passante), adotar os procedimentos acima nas duas faces. Os furos das duas faces deverão ficar defasados, e a injeção ser alternada entre elas.

3.2.4.2 Método 2 - Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) passantes em superfícies horizontais.

Essas fissuras são normalmente reparadas com resinas epoxídicas de grande fluidez, aplicadas por injeção ou, em algumas situações, por gravidade. É interessante a verificação preliminar da possibilidade de aplicação da resina por gravidade. Esse processo é bem mais simples e barato do que o de injeção por ar comprimido. Tal verificação pode ser feita da seguinte maneira:

- a) Limpar toda a extensão da fissura, através de jato de ar comprimido e jato d'água. Em função do tipo de material ou produto que tenha nela, porventura, penetrado, pode ser necessária a utilização de desengordurantes ou solventes específicos, que, posteriormente, deverão ser completamente eliminados através de lavagem;
- b) Após a completa secagem do substrato, lançar a resina epoxídica de grande fluidez (preparada em pequena quantidade) num pequeno trecho da fissura, pela face superior do elemento estrutural, e verificar seu surgimento, ou não, na face inferior.

Um bom fluxo de resina pela fissura, na face inferior do elemento estrutural, será sinal de possibilidade de aplicação da resina por gravidade. Caso contrário, a injeção por ar comprimido deverá ser utilizada.

3.2.4.2.1 Método 2.1- Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) passantes em superfícies horizontais - Aplicação de resina por gravidade.

Confirmada a eficiência da aplicação da resina por gravidade, o reparo deve ser continuado (lembra que a limpeza do substrato já foi executada), dentro da seguinte seqüência de procedimentos:

- a) Abrir externamente a fissura na face inferior do elemento, dando-lhe a forma de V (aproximadamente 12,5mm de abertura superficial e 2 cm de profundidade).
- b) Nessa mesma face, executar, com broca de vídea, furos de 12,5 mm de diâmetro e 3 cm de profundidade, espaçados aproximadamente de 30 cm.
- c) (Opcional) Confeccionar uma pequena canaleta provisória (com gesso ou massa de vidraceiro) envolvendo toda a fissura na face superior com o intuito de facilitar a penetração da resina e evitar perdas excessivas. A infiltração da resina pode ser ainda mais favorecida pela execução prévia de furos de 12,5 mm de diâmetro e 3 cm de profundidade ao longo da fissura na face superior do elemento tratado.
- d) Retirar o pó através de ar comprimido e escova de pêlo.

e) Executar lavagem com jato d'água.

f) Com o substrato completamente seco, colar com resina epóxi tixotrópica mangueiras plásticas transparentes de 10 mm de diâmetro e aproximadamente 15 cm de comprimento (uma mangueira por furo). Calafetar toda a fissura com a mesma resina, incluindo superfícies laterais se for o caso. Essas mangueiras servirão como suspiro a medida que a resina for vertida.

g) Preparar a resina, sem que haja incorporação de ar ou aquecimento por agitação excessiva, e vertê-la de uma extremidade a outra da fissura.

h) À medida que a resina fluir por um suspiro, ele deverá ser vedado.

i) Após o endurecimento da resina, demolir a canaleta e dar acabamento superficial com lixadeira.

3.2.4.2.2 Método 2.2- Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) passantes em superfícies horizontais - Aplicação de resina por injeção.

Confirmada a ineficiência ou impossibilidade de aplicação da resina por gravidade, a intervenção deverá seguir os passos seguintes:

a) Executar, com broca de vídea, furos de 12,5 mm de diâmetro e 3 cm de profundidade, espaçados, na face superior (furos de injeção), de 10 a 30cm e, na face inferior (furos extravasores), de 50 cm. O espaçamento na face superior deverá ser tão maior quanto maior for a abertura da fissura.

b) Retirar o pó através de ar comprimido e escova de pêlo.

c) Executar lavagem com jato d'água.

d) Com o substrato completamente seco, colar, com resina epóxi tixotrópica, bicos de 10 mm de diâmetro aproximadamente 15 cm de comprimento nos furos (um bico por furo), assim como calafetar toda a fissura, nas duas faces, com o mesmo produto.

e) Verificar, por meio de ar comprimido, a intercomunicação entre furos contíguos da face superior e dos da face inferior com pelo menos um da outra face. Caso necessário, furos intermediários deverão ser executados.

f) Após, no mínimo, 8 horas da calafetagem da fissura, preparar a resina de injeção (epóxica de grande fluidez), de maneira a não ocorrer incorporação de ar e nem aquecimento da mistura por agitação excessiva. Imediatamente, injetá-la, através dos bicos da face superior, sequencialmente, de uma extremidade a outra da fissura. A mudança de injeção de um bico (que deverá ser tamponado) para o seguinte deverá ser feita quando, neste último, posicionado na

vertical, a resina atingir uma altura de 10 cm. A mudança deverá ser feita, também, no caso da resina fluir, simultaneamente, pelos dois bicos seguintes.

Os bicos da face inferior deverão ser permanentemente observados e tamponados tão logo seja observado o extravazamento de resina. A finalidade principal desses bicos é confirmar a penetração da resina em toda a espessura do elemento estrutural. Caso se queira, eles poderão ser utilizados, também, para injeção de resina.

Caso não seja observado o extravasamento de resina por algum bico da face inferior, após 24 horas da primeira injeção, executar dois novos furos em cada um dos lados dela, afastados de 20 cm entre si. Nesses furos, deverão ser instalados bicos, e, através deles executada seqüência de injeções.

g) Após 24 horas, retirar os bicos por corte e broqueamento, obturar os orifícios com o adesivo epóxi, e dar acabamento por lixamento. Caso seja exigido melhor acabamento, pode-se retirar todo o adesivo epoxídico de calafetamento da fissura e aplicar material de reparo de melhor efeito estético.

3.2.4.3 Método 3 - Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) em superfícies horizontais superiores.

Esse tipo de fissura pode ser tratado por gravidade, método mais simples e econômico, ou por injeção. A verificação inicial da possibilidade de aplicação da resina por gravidade, somente possível se a face inferior do elemento estrutural for acessível, deverá ser feita seguindo os procedimentos a seguir:

a) Limpar toda a extensão da fissura, através de jato de ar comprimido e jato d'água. Em função do tipo de material ou produto que tenha nela, porventura, penetrado, poderá ser necessária a utilização de desengordurantes ou solventes específicos, que, posteriormente, deverão ser completamente eliminados através de lavagem.

b) Em ponto situado em um dos terços extremos da extensão da fissura, executar furo com broca de vídea (diâmetro de 6 a 10 mm) que atravesse toda a espessura do elemento estrutural, e proceder à sua limpeza com ar comprimido e escovação.

c) A uma distância do furo igual a duas vezes a espessura do elemento, confeccionar canaleta provisória com 10 cm de extensão (essa canaleta não precisa cercar toda a fissura).

d) Após a completa secagem do substrato, lançar a resina (preparada em pequena quantidade) dentro da canaleta, e verificar se há, na face inferior do elemento estrutural, extravasamento de resina pelo furo.

Um bom fluxo de resina extravasando será sinal de possibilidade de aplicação da resina por gravidade. Caso contrário, a injeção por ar comprimido deverá ser utilizada.

3.2.4.3.1 Método 3.1 - Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) em superfícies horizontais superiores - Aplicação de resina por gravidade.

Confirmada a eficiência da aplicação da resina por gravidade (lembre que a limpeza do substrato já foi executada), o reparo deve seguir os procedimentos descritos a seguir:

- a) Abrir externamente a fissura na face superior do elemento, dando-lhe a forma de V (aproximadamente 12,5 mm de abertura superficial e 2 cm de profundidade).
- b) (Opcional) Confeccionar uma pequena canaleta provisória (com gesso ou massa de vidraceiro) envolvendo toda a fissura com o intuito de facilitar a penetração da resina e evitar perdas excessivas. A infiltração da resina poderá ser ainda mais favorecida pela execução prévia de furos de 12,5 mm de diâmetro e 3 cm de profundidade ao longo da fissura na face superior do elemento tratado.
- c) Retirar o pó através de ar comprimido e escova de pêlo.
- d) Executar lavagem com jato d'água.
- e) Preparar a resina, sem que haja incorporação de ar ou aquecimento por agitação excessiva, e vertê-la de uma extremidade a outra da fissura.
- f) Após o endurecimento da resina, demolir a canaleta e dar acabamento superficial com lixadeira.

3.2.4.3.2 Método 3.2 - Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) em superfícies horizontais superiores - Aplicação de resina por injeção.

Confirmada a ineficiência ou impossibilidade de aplicação da resina por gravidade, a intervenção deverá seguir os procedimentos a seguir:

- a) Executar, com broca de vídea, furos de 12,5 mm de diâmetro e 3 cm de profundidade, espaçados de 10 cm.
- b) Retirar o pó através de ar comprimido e escova de pêlo.
- c) Executar lavagem com jato d'água.
- d) Com o substrato completamente seco, colar, com resina epóxi tixotrópica, bicos de 10 mm de diâmetro e aproximadamente 15 cm de comprimento nos furos (um bico por furo).

Calafetar toda a fissura com o mesmo produto, incluindo sua extensão sobre faces laterais, se for o caso.

e) Após, no mínimo, 8 horas da calafetagem da fissura, preparar a resina de injeção (epóxica de grande fluidez), de maneira a não ocorrer incorporação de ar e nem aquecimento da mistura por agitação excessiva (utilizando um misturador coloidal). Imediatamente, injetá-la, através dos bicos da face superior, sequencialmente, de uma extremidade a outra da fissura. A mudança de injeção de um bico (que deverá ser tamponado) para o seguinte deverá ser feita quando, neste último, posicionado na vertical, a resina atingir uma altura de 10 cm. A mudança deverá ser feita, também, no caso da resina fluir, simultaneamente, pelos dois bicos seguintes.

f) Após 24 horas, retirar os bicos por corte e broqueamento, obturar os orifícios com o adesivo epóxi, e dar acabamento por lixamento. Caso seja exigido melhor acabamento, pode-se retirar todo o adesivo epoxídico de calafetamento da fissura e aplicar material de reparo de melhor efeito estético.

3.2.4.4 Método 4 - Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) em superfícies horizontais inferiores – Acesso pelas faces superior e inferior.

A aplicação da resina é feita através da seguinte seqüência de procedimentos:

a) Executar furos de 12,5 mm de diâmetro, de baixo para cima, atravessando toda a espessura da laje e espaçados de 5 a 30 cm. O espaçamento deverá ser tão maior quanto maior for a abertura da fissura.

b) Limpar toda a extensão da fissura e os furos, através de ar comprimido, escovação e jato d'água.

c) Com o substrato completamente seco, obturar completamente a fissura e os furos na face inferior do elemento estrutural com adesivo epóxi.

d) Colar, com resina epóxi tixotrópica, bicos de 10 mm de diâmetro e aproximadamente 15 cm de comprimento nos furos da face superior (uma mangueira por furo).

e) Injetar a resina de uma extremidade a outra da fissura. A mudança de injeção de um bico (que deverá ser tamponado) para o seguinte deverá ser feita quando, neste último, posicionado na vertical, a resina atingir uma altura de 10 cm. A mudança deverá ser feita, também, no caso da resina fluir, simultaneamente, pelos dois bicos seguintes;

f) Após 24 horas, retirar os bicos por corte e broqueamento, obturar os orifícios com o adesivo epóxi e dar acabamento por lixamento. Caso seja exigido melhor acabamento, pode-se

retirar todo o adesivo epoxídico de calafetamento da fissura e aplicar material de reparo de melhor efeito estético.

3.2.4.5 Método 5 - Reparo de fissuras inativas de pequena abertura (0,3 a 1,0 mm) em superfícies horizontais inferiores – Sem acesso pela face superior.

Caso não seja possível a execução de furos que atinjam a face superior do elemento estrutural, a injeção deverá ser feita pela face inferior. Apesar de ser operação bastante delicada e sem garantia de preenchimento total da fissura pela resina, ela pode ser executada através dos seguintes procedimentos.

- a) Executar, com broca de vídea, um número par de furos de 12,5 mm de diâmetro e 3 cm de profundidade, espaçados de 5 cm (primeiro furo distante de 2,5cm de uma das extremidades da fissura).
- b) Limpar toda a extensão da fissura e os furos, através de ar comprimido, escovação e jato d'água;
- c) Com o substrato completamente seco, colar, com resina epóxi tixotrópica, bicos de aproximadamente 15 cm de comprimento nos furos (um bico por furo). A partir de uma extremidade, o primeiro bico deverá ter 10 mm de diâmetro (bico para injeção), o segundo, 8 mm (suspiro), o terceiro, 10 mm (novamente injeção) e assim por diante.
- d) Aplicar a resina epólica de grande fluidez por uma dos bicos de injeção, enquanto os outros ficam obstruídos. Quando a resina começar a sair por um dos suspiros, parar a injeção, obstruir este suspiro assim como o bico por onde se executava a injeção e começar a injetar pelo bico seguinte.
- e) Continuar a sequência do item d até que a resina flua pelo último suspiro.
- f) Após 24 horas, retirar os bicos por corte e broqueamento, obturar os orifícios com o adesivo epóxi, e dar acabamento por lixamento. Caso seja exigido melhor acabamento, pode-se retirar todo o adesivo epoxídico de calafetamento da fissura e aplicar material de reparo de melhor efeito estético.

3.2.4.6 Método 6 - Reparo de fissuras inativas de grande abertura (superior a 1,0 mm) incidentes em uma ou mais faces incluindo a superior.

Após a escolha do material a ser utilizado, o reparo segue os procedimentos abaixo:

- a) Abrir externamente a fissura na face superior do elemento, dando-lhe a forma de V (aproximadamente 12,5 mm de abertura superficial e 2 cm de profundidade).
- b) (Opcional) Confeccionar uma pequena canaleta provisória (com gesso ou massa de vidraceiro) envolvendo toda a fissura na face superior do elemento estrutural com o intuito de facilitar a penetração do material de reparo e evitar perdas excessivas.
- c) Limpar toda a extensão da fissura, através de jato de ar comprimido e jato d'água. Em função do tipo de material ou produto que tenha nela, porventura, penetrado, poderá ser necessária a utilização de desengordurantes ou solventes específicos, que, posteriormente, deverão ser completamente eliminados através de lavagem.
- d) Preparar o material de reparo e vertê-lo de uma extremidade a outra da fissura.
- e) Após o endurecimento do material de reparo, demolir a canaleta e dar acabamento superficial com lixadeira.

3.2.4.7 Método 7 - Reparo de fissura inativa de grande abertura (superior a 1,0 mm) não incidente na face superior, mas em pelo menos uma face lateral.

Quando a fissura não afeta a face superior do elemento estrutural, mas afeta pelo menos uma de suas faces laterais e sua face inferior ou não, os procedimentos de reparo são os seguintes:

- a) Executar, com broca de vídea, furos de 12,5 mm de diâmetro e 3 cm de profundidade, espaçados de 30 cm sobre sua face lateral.
- b) Retirar o pó através de ar comprimido e escova de pêlo.
- c) Executar lavagem com jato d'água.
- d) Com o substrato completamente seco, colar com resina epóxi tixotrópica bicos de 10 mm de diâmetro e aproximadamente 15 cm de comprimento (um bico por furo). Calafetar toda a fissura com a mesma resina, incluindo sua extensão sobre a face inferior da estrutura, se for o caso.
- e) Verificar a intercomunicação entre os furos com ar comprimido. Em caso de falta de comunicação entre bicos adjacentes, introduzir bicos intermediários entre eles (passos b, c, d e e).
- f) Após, no mínimo, 8 horas da calafetagem da fissura, preparar o material de reparo e aplicá-lo, iniciando pelo bico inferior (primeiro bico). Quando o material começar a verter pelo segundo bico, obstruir o primeiro e continuar a injeção pelo segundo. Continuar assim até o preenchimento total da fissura.

g) Após 24 horas, retirar os bicos por corte e broqueamento, obturar os orifícios com o adesivo epóxi tixotrópico, e dar acabamento por lixamento. Caso seja exigido melhor acabamento, pode-se retirar todo o adesivo epoxídico de calafetamento da fissura e aplicar material de reparo de melhor efeito estético.

OBS.: Se a fissura ocorrer dos dois lados do elemento estrutural (fissura passante), adotar os procedimentos acima nas duas faces. Os furos das duas faces deverão ficar defasados, e a injeção ser alternada entre elas.

3.2.4.8 Método 8 - Reparo de fissura inativa de grande abertura (superior a 1,0 mm) incidente apenas na face inferior – Acesso pela face superior.

A aplicação do material de reparo escolhido é feita através da seguinte seqüência de procedimentos:

- a) Executar furos de 12,5 mm de diâmetro, de baixo para cima, atravessando toda a espessura da laje e espaçados de 30 cm.
- b) Limpar toda a extensão da fissura e os furos, através de ar comprimido, escovação e jato d'água.
- c) Com o substrato completamente seco, obturar completamente a fissura e os furos na face inferior do elemento estrutural com adesivo epóxi;
- d) Colar, com resina epóxi tixotrópica, bicos de 10 mm de diâmetro e aproximadamente 15 cm de comprimento nos furos da face superior (um bico por furo).
- e) Injetar o material de reparo escolhido de uma extremidade a outra da fissura. A mudança de injeção de um bico (que deverá ser tamponado) para o seguinte deverá ser feita quando, neste último, posicionado na vertical, o material atingir uma altura de 10 cm. A mudança deverá ser feita, também, no caso do material fluir, simultaneamente, pelos dois bicos seguintes;
- f) Após 24 horas, retirar os bicos por corte e broqueamento, obturar os orifícios com o adesivo epóxi e dar acabamento por lixamento. Caso seja exigido melhor acabamento, pode-se retirar todo o adesivo epoxídico de calafetamento da fissura e aplicar material de reparo de melhor efeito estético.

3.2.4.9 Método 9 - Reparo de fissura inativa de grande abertura (superior a 1,0 mm) incidente apenas na face inferior – Sem acesso pela face superior.

Os procedimentos de execução desse método de reparo são os mesmo que aqueles do método 5. É interessante frisar que, no caso de fissuras de grande abertura (abertura superior a 1,0

mm), há outras opções de materiais de reparo aconselhados além das resinas epóxi de grande fluidez.

3.2.4.10 Método 10 - Reparo de fissura inativa capilar (abertura inferior a 0,3 mm) e fissuras em mapa.

Fissuras capilares com aberturas inferiores a 0,1 mm (ou 0,2 mm em meios não agressivos) dispensam tratamento. O reparo, quando necessário e/ou desejado, adota a seguinte sequência de procedimentos:

- a) Promover a limpeza, a retirada da nata superficial de cimento e a abertura dos poros do concreto, através de lixamento de faixa que se extenda 5 cm para cada lado da fissura.
- b) Saturar o concreto da região a ser tratada através de aspersão d'água, devendo, entretanto, a superfície apresentar-se isenta de empoçamentos (tratamento “4S” - substrato saturado, superfície seca).
- c) Preparar o Xypex Concentrado (relação xypex: água = 3:1), num volume possível de ser aplicado em, no máximo, vinte minutos (“pot life”).
- d) Sombrear a área a ser tratada e aplicar o material de reparo com trincha.
- e) Após a secagem inicial do produto de reparo, executar cura úmida, durante 5 dias, através de “spray” d'água aplicado com intervalo de 4 a 6 horas.
- f) Após o período de cura, manter, ainda, a região tratada umedecida, por mais 15 dias.
- g) Após a secagem superficial, lixar a área tratada, e, se necessário, aplicar pintura ou revestimento estético.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É com muita satisfação que foi apresentada a versão final do trabalho de conclusão de curso de engenharia civil da Escola Politécnica de São Paulo. Nesse, o grupo teve como objetivo, além do desenvolvimento individual de cada um dos integrantes através do estudo do assunto abordado de forma mais intensa e específica, desenvolver um trabalho que fosse válido para a sociedade.

Lembrando que a norma brasileira aborda apenas critérios de execução de estruturas de concreto armado, este trabalho visou estabelecer procedimentos de reparo de estruturas que apresentem fissuras inativas. Sendo assim, espera-se que este sirva de motivação para que outras pessoas possam estudar tais procedimentos para as demais manifestações patológicas do concreto armado (tais como outros tipos de fissuras, deformações excessivas, eflorescências, corrosão de armaduras, etc.), dando, com isso, continuidade à iniciativa do grupo.

Uma observação é a que todos os procedimentos sugeridos são os mais adequados a cada situação de acordo com normas internacionais que abordam o assunto e os materiais são os mais recentes disponíveis no mercado. Portanto, visto que não existe panacéia universal na construção civil, se espera naturalmente que, com o passar do tempo, sejam desenvolvidos materiais e procedimentos cada vez mais eficazes e eficientes.

Outro ponto a se destacar é o de que existe uma grande distância entre a conclusão do trabalho e sua aplicação prática. Espera-se que por meio da divulgação do mesmo seja possível garantir o acesso à informação e sua efetiva utilização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.ACI 546R- Concrete Repair Guide.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2003. Projeto de estruturas de Concreto- Procedimentos.

CASCUDO,O.; HELENE, P..Comportamiento mecánico del hormigón de recubrimiento frente a los productos de corrosión de las armaduras. Hormigón y Acero, Madrid, n. 214, p. 75-83, 1999.

Demountable Mechanical Strain Gauge developed at the BCCA, disponível em <http://www.mastrand.com/demecsg.htm>. Acesso em 5 de outubro de 2009.

Diagnóstico, Levantamento e Controle de Qualidade em estruturas e Fundações Ltda, disponível em: <http://www.oz-diagnostico.pt>. Acesso em 5 de outubro de 2009.

FABIANI, B. Lesões nas edificações. São Paulo, 1975. (Apostila da disciplina Técnicas da Construção de Edifícios. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de engenharia urbana e construções civis).

FIGUEIREDO, ENIO PAZINI.Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto, Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações, IBRACON, Cap. 27, p.829 – 855, V. 2, ed. Geraldo C. Isaia, São Paulo. 2005.

FIGUEIRÔA, J.P. & ANDRADE, T. O ataque da reação álcali-agregado sobre as estruturas de concreto: a descoberta pioneira da ocorrência do problema em fundações de pontes e edifícios na região metropolitana do Recife. Recife, 2007.

HASPARYK, N. P. ; MOLIN, Denise Carpêna Coitinho Dal ; Monteiro, P. J. M. . Avaliação das Propriedades Mecânicas e Análise da Microestrutura de Concretos Afetados pela RAA da UHE Furnas. In: II Simpósio sobre Reação Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto, 2006, Rio de Janeiro. Anais em CD do II Simpósio sobre Reação Álcali-Agregado em Estruturas de Concreto. São Paulo : IBRACON, 2006.

HELENE, Paulo R. L. . Vida Útil das Estruturas.. Téchne. Revista de Tecnologia da Construção, PINI, São Paulo, Aug., n. 17, p. 28-31, 1995.

HELENE, Paulo R. L. ; PEREIRA, Fernanda . Rehabilitacion y mantenimiento de estructuras de concreto. São Paulo: Cargraphics, 2007. 598 p.

HELENE, Paulo. Conceitos e Definições.Curso Pcc2527- Patologia e Terapia das Estruturas de Concreto. Notas de aula. 2009.

NEVILLE, A.M. Propriedades do concreto. São Paulo, PINI, 1997

PANOSSIAN, Z. Corrosão e Proteção Contra Corrosão em equipamentos e estruturas Metálicas. São Paulo: IPT, 1993.

PIANCHELLI, E.M. Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado, 1^a Ed., Depto. Estruturas da EEUFGM , 1997 , 160p.

RUIZ,J.C.; Patología de estructuras de hormigon armado de Estructuras de Concreto,2007.

SANCHEZ, L. F. M. Reação álcali-agregado (RAA).São Paulo.2009.48 slides,color. Microsoft Power Point 2007.

SERDALY, D. Erreurs de conception dans la construction et leur enseignement. Société Suisse des ingénieurs et des architectes. Journées d'études sur des problèmes intéressants les ingénieries, Zurich, octobre, 1971.

THOMAZ, Ércio. Trincas em edifício: causas, prevenção e recuperação, São Paulo,Pini, 1989.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ALMEIDA JR, W. ; TAKAGI, E. M. Sistemas de injeção para recomposição estrutural e estancamento de infiltrações com elevada pressão das estruturas de concreto de barragens e usinas hidrelétricas In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 49º - IBRACON, 2007, Bento Gonçalves. Anais. 2007.

ALMEIDA JR. W. – Microcimentos para Injeção em Estruturas de Concreto de Barragens e Usinas Hidrelétricas – MC-Bauchemie Brasil – 2004 – 07 págs.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE.ACI 546R- Concrete Repair Guide.

BRITISH RESEARCH ESTABLISHMENT.BRE DME D53- Guide to the Maintenance, Repair and Monitoring of Reinforced Concrete Structures.

CÁNOVAS, M.F. - Patologia e Terapia do Concreto Armado, 1a ed., Editora Pini, São Paulo, 1988, 522p.

CONCRETE REPAIR MANUAL-2^a Edição. (ACI;BRE;THE CONCRETE SOCIETY;ICRI).

HELENE, Paulo R. L. Corrosão em Armaduras para Concreto Armado. 3º reimpressão (fev. 96). São Paulo, PINI, IPT, 1986.

HELENE, Paulo R. L. Manual para Reparo, Reforço e Proteção das Estruturas de Concreto. São Paulo: PINI, 1996. 215 p.

ISAIA, G. C.(Ed.). Materiais de construção civil e princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON, 2007.2V.

ISAIA,G.C.;Concreto:Ensino, pesquisa e realizações.São Paulo:IBRACON,2005.1e2V

JOHNSON, S.M..Deterioro, Conservacion y Reparacion de Estructuras, 1a ed., Editora Blume, Madrid, 1973, 334p.

TAKAGI, E. M.; ALMEIDA JR, W. Injeções flexíveis para selamento definitivo das infiltrações de estruturas de concreto armado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46º – IBRACON, 2004, Florianópolis. Anais... 2004 v. VI, p. 1323 – 1333.

WARNER,J..Concrete Repair. Illinois. The Aberdeen Group. 3v. Concrete Repair Manual.1999.1v.ACI.ICRI.