

## **Monografia**

**TRINCAS NAS EDIFICAÇÕES:  
UMA REVISÃO PRÁTICA BASEADA NO PROCESSO DE CAUSA X EFEITO**

Autor: Thabita Lança

Orientador: Prof. Abdias Magalhães Gomes

Março/2014

Thabita Lança

**TRINCAS NAS EDIFICAÇÕES:  
UMA REVISÃO PRÁTICA BASEADA NO PROCESSO DE CAUSA X EFEITO**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil  
da Escola de Engenharia UFMG

Ênfase: Patologia das construções  
Orientador: Prof. Abdias Magalhães Gomes

Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da UFMG

2014

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Conceito de Durabilidade e Desempenho .....	3
2.2. Trincas: tipos, origens, manifestações.....	5
2.2.1. Carbonatação .....	7
2.2.2. Trincas causadas por ações mecânicas e físicas.....	9
2.2.3. Trincas causadas por atuações de sobrecargas .....	10
2.2.4. Trincas causadas por recalques .....	17
2.2.5. Trincas causadas por variações térmicas e higroscópicas.....	21
2.2.6. Fissuras causadas por ataques químicos .....	27
2.2.7. Fissuras causadas por reações eletroquímicas.....	33
3. DIAGNÓSTICO.....	35
4. ANÁLISE CRÍTICA RELATIVA À POSTURA MERCADOLÓGICA DE ESTUDO ...	37
4.1. Processos comuns de reparação adotados pelo mercado .....	37
4.1.1. Reparo com argamassa.....	47
4.1.2. Reparo com concreto.....	51
4.1.3. Reparo com grout .....	51
4.1.4. Reforço com folhas flexíveis de carbono.....	52
4.2. Controle, fiscalização e monitoramento de trincas.....	54
4.2.1. O controle das trincas ativas.....	58
4.2.2. O controle das fissuras passivas.....	61
4.3. Trincas sob a ótica da segurança.....	65
5. CONCLUSÃO .....	68
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.2.1.1: Medição da Frente de Carbonatação .....	8
Figura 2.2.3.1 – Fissuração típica nos cantos das aberturas sob atuação de sobrecargas .....	11
Figura 2.2.3.2 – Viga de concreto simples (a) e armado (b) .....	12
Figura 2.2.3.3 Fissuração típica em viga subarmada solicitada à flexão .....	12
Figura 2.2.3.4 Fissuras de cisalhamento em viga solicitada à flexão .....	13
Figura 2.2.3.5 Fissuração por flexão .....	13
Figura 2.2.3.6 Fissuração por cisalhamento .....	13
Figura 2.2.3.7 Fissuras provocadas por torção .....	14
Figura 2.2.3.8 Fissuras provocadas por torção .....	15
Figura 2.2.3.9 Fissuramento típico de lajes simplesmente apoiadas .....	15
Figura 2.2.3.10 Trincas na face superior da laje devidas à ausência de armadura negativa .....	15
Figura 2.2.3.11 Trincas inclinadas devidas à torção da laje .....	16
Figura 2.2.3.12: Fissuras verticais no pilar indicando insuficiência de estribos .....	16
Figura 2.2.4.1 Provável fissuramento de edificação assente parte em aterro .....	17
Figura 2.2.4.2 Superposições de pressões, bulbo de pressões .....	18
Figura 2.2.4.3 Recalque diferenciado por consolidações distintas do aterro carregado.....	18
Figura 2.2.4.4 Recalque diferenciado por falta de homogeneidade do solo .....	19
Figura 2.2.4.5 Recalque diferenciado por rebaixamento do lençol freático. O terreno foi cortado à esquerda do edifício .....	19
Figura 2.2.4.6 Fissuras causadas por recalques de fundações de pilares internos.....	20
Figura 2.2.4.7 Fundações contínuas solicitadas por carregamentos desbalanceados: o trecho mais carregado apresenta maior recalque, originando-se trincas de cisalhamento no painel .....	21
Figura 2.2.5.1 Deformação da estrutura engastada, devido à variação de temperatura.....	22
Figura 2.2.5.2 Fissuras em elemento estrutural de seção variável .....	23

Figura 2.2.5.3 Influência da temperatura sobre a resistência do concreto.....	24
Figura 2.2.5.4 Perda de aderência entre o concreto e a armadura .....	25
Figura 2.2.5.5 Estado de uma estrutura agredida pelo fogo.....	26
Figura 2.2.6.1 O efeito do ataque dos ácidos no concreto .....	28
Figura 2.2.6.2.(a) Representação diagramática da expansão de argamassa ou concreto causada pela formação de etringita tardia. (b) Micrografia obtida por microscopia eletrônica de varredura de uma argamassa atacada por DEF .....	29
Figura 2.2.6.3 Mapeamento de fissuras em blocos de fundação devido à reação álcali-agregado .....	30
Figura 2.2.6.4 Penetração de cloretos. ....	32
Figura 2.2.7.1 Formação de semi-pilha em meio de concreto armado.....	33
Figura 2.2.7.2 Célula de corrosão no concreto armado. ....	34
Figura 2.2.7.3 Fases da instalação do processo de corrosão em uma barra de armadura .....	34
Figura 3.1 Fluxograma de diagnóstico .....	36
Figura 4.1.1 Esquemática para a seleção de material e sistema.....	39
Figura 4.1.2 Recuperação estrutural passo a passo .....	40
Figura 4.1.3 Formas retentivas no concreto.....	41
Figura 4.1.4 Limpeza do concreto com jato .....	43
Figura 4.1.5 Limpeza do concreto com escova manual .....	45
Figura 4.1.6 Reposição da seção original de aço por adição de novas barras.....	45
Figura 4.1.7 Adição de novas barras em uma viga afetada pela corrosão .....	46
Figura 4.1.1.1 Diferentes profundidades de reparo .....	47
Figura 4.1.1.2 Argamassa projetada – procedimento de execução .....	50
Figura 4.1.3.1 Sistema de aplicação de folhas flexíveis (CFRP) .....	53
Figura 4.2.1 Fissurômetro.....	54
Figura 4.2.2 Extensômetro mecânico fixado em um muro de contenção .....	55
Figura 4.2.3 Cálculo da deformação através da análise da movimentação das barras de aço .....	56

Figura 4.2.1.1 Trincas que se formaram por falta de junta de movimentação .....	58
Figura 4.2.1.2 Localização das juntas de movimentação .....	59
Figura 4.2.1.3 Juntas de Movimentação .....	60
Figura 4.2.2.1 Procedimento de Injeção na fissura .....	61
Figura 4.2.2.2 Colmatação .....	62
Figura 4.2.2.3 Bicos Injetores de Perfuração à esquerda e de aderência à direita.....	64
Figura 4.2.2.4 Antes e Depois da Recuperação das fissuras.....	64
Figura 4.2.2.5 Detalhe de Antes e Depois da Recuperação das fissuras.....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.2.6.1 Velocidade de ataque ao concreto de algumas substâncias químicas .....	28
Tabela 5.2.1 Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração .....	57
Tabela 5.3.1 Classificação quanto ao risco de uma trinca .....	66
Tabela 5.3.2 Classificação para estabilidade, funcionalidade e .....	67

## RESUMO

As trincas são uma alerta da edificação onde é possível detectar que alguma deformidade está acontecendo fora do desempenho esperado pela peça, devido à fatores internos ou externos que precisam ser interpretados. Diante deste sinal, esta deve ser analisada para identificar qual é a causa do seu problema para que possa ser corretamente reparado. Muitas obras públicas sofrem com a deterioração causada pelo intemperismo, por agentes externos, internos, variação de temperatura, dilatações, variações higroscópicas, recalques, movimentações, sobrecargas, ataques de agentes agressivos, dentre outros fatores. Como o governo conseguiria identificar as obras que deveriam ser prioridades mediante a gravidade da situação em que se encontram? Este trabalho tem como objetivo apresentar os diversos tipos de trincas e fissuras, analisar o que causou cada uma e esclarecer os distintos métodos de recuperação encontrados no mercado. Através deste diagnóstico, iremos realizar uma análise crítica mercadológica e estabelecer critérios para realizar uma identificação de casos dos mais severos aos mais amenos, e com isso obter uma lista de prioridades para a recuperação das peças deterioradas.

## **ABSTRACT**

The cracks are alerts of the building where it is possible to detect any deformity that is happening outside of the expected performance part, due to internal or external factors that need to be interpreted. Given this signal, it must be analyzed to identify what is the cause of your problem so it can be properly repaired. Many public works suffer from deterioration caused by weathering, by external and internal agents, temperature variation, expansion, hygroscopic variations, settlements, drives, overloads, aggressive agents attacks, among other factors. How the government could identify the works that should be prioritized by the seriousness of the situation we are in? This work aims to present the various types of cracks and fissures, analyze what caused each and clarifying the different recovery methods found in the market. Through this diagnosis, we will conduct a market review and set criteria to perform an identification of cases of the most severe to milder, and thus obtain a list of priorities for the recovery of deteriorated parts.

## 1. INTRODUÇÃO

Por muitos anos a construção civil foi utilizada para suprir a necessidade do ser humano, provendo um ambiente que o acolhesse, seja através da moradia, seja através de indústrias ou comércios, ou até mesmo de sedes religiosas. Com a maturação de conhecimento do homem, veio a análise e o estudo destes materiais que fazem parte da construção. Diante deste fator, as estruturas deixaram de ser robustas e pesadas, e foram se tornando mais esbeltas e leves.

Com o boom do crescimento da população nos centros urbanos surgiu a necessidade de que a construção se verticalizasse, ampliando o número de moradias por metro quadrado em um terreno. Mediante a esta situação, as edificações começaram a focar em tecnologia e custo. Com o estudo aprofundado das técnicas e dos materiais, veio também a responsabilidade sobre o risco. Apesar de termos normas que regulam a construção com certa folga sobre o limite de risco, algumas estruturas acabam não correspondendo ao desempenho que lhe era esperado, seja pela falha na execução, por ações ambientais, acidentes, ou mesmo pelo envelhecimento natural da estrutura.

Quando a estrutura não consegue desempenhar o seu papel, esta apresenta uma situação de risco para a construção. Por falta de conhecimento, usualmente, é adotado uma medida extrema de reforço estrutural, ou reformas dispendiosas, que nem sempre são consideradas as melhores soluções para as situações diversas encontradas. Por medidas de segurança é necessário diagnosticar corretamente os problemas, para poder intervir na melhoria da vida útil da estrutura da melhor maneira possível.

A falta de conhecimento agregado entre a área de engenharia civil e arquitetura tem se tornado cada vez maior. As decisões tomadas à parte sem que se tenha um

conhecimento do conjunto de projetar e executar o projeto tem sido cada vez mais frequente. Uma obra é executada na etapa de projeto básico, sem compatibilização, coordenação e detalhamento causando uma falha em algum ponto da construção. Alguns arquitetos não conhecem a movimentação dos materiais, e logo no princípio, na fase do projeto já surge a fissura. É inevitável a conexão da ciência da construção como um todo para assegurar que a estrutura já cresça desempenhando o papel que lhe é devido.

Através deste trabalho, será feita uma relação de diagnóstico de risco das trincas em ordem de situações de pouco peso até as mais agravantes. Serão analisadas as principais causas das trincas e conseqüentemente os métodos mais eficazes e menos onerosos para a recuperação de cada caso.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Conceito de Durabilidade e Desempenho

A construção civil no Brasil utiliza, em sua maior parte, o sistema construtivo de alvenaria convencional aliada à estrutura de concreto, seguido de algumas combinações de alvenaria e estrutura de madeira, alvenaria estrutural, *steel framing* e *drywall* e até mesmo pau a pique, taipa de pilão, dentre outros. Esta combinação de diferentes tipos de materiais precisa ser avaliada minuciosamente, pois alguns elementos não aceitam serem ligados com outros, como, por exemplo, o concreto e o tijolo de barro, suscitando uma expansão dos materiais que ocasionam o aparecimento das trincas e fissuras. Para fim deste trabalho iremos analisar o sistema convencional do concreto vinculado à alvenaria.

“Os tempos modernos ditaram a certeza de que o concreto, como material de construção, é instável ao longo do tempo, alterando suas propriedades físicas e químicas em função das características dos seus componentes e das respostas destes às condicionantes do meio ambiente. As consequências destes processos de alteração que venham comprometer o desempenho de uma estrutura, ou material, costuma-se chamar deteriorização”.(DE SOUZA; RIPPER, 1998).

O desempenho de um material está inteiramente ligado à relação deste com diversos elementos agressores, que se agregam ou reagem com a estrutura que configura o concreto. Em sua composição encontramos o cimento *Portland* que se constitui de silicatos e aluminatos altamente reagentes com a água, que se aglomeram com outros materiais, formando uma cristalização que endurece através de uma reação exotérmica. O gesso, que também compõe o concreto, é o agente retardador de pega, que permite que o concreto possa ser utilizado em aproximadamente uma

hora sem endurecer. Os aditivos têm como objetivo modificar, incorporar ou inibir determinadas propriedades e características do concreto, além de gerar economia, já que o cimento é dispendioso, e também faz com que o concreto seja mais sustentável, sendo que a produção do *clínquer*, segundo o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento, corresponde à cerca de 5% de total de CO<sub>2</sub> emitido pelo homem no mundo.

Os principais componentes que podem ser adicionados à mistura do concreto são o filer calcário, a escória de alto forno, e a pozolana. Em Minas Gerais a adição mais utilizada é a escória de alto forno, pela abundância deste material no estado. As propriedades e características dos materiais que compõe o concreto são elementos fundamentais para a compreensão do seu desempenho em sua vida útil.

O desempenho é o comportamento assumido pelos materiais que compõem o objeto, demonstrado no seu tempo de vida útil, inteiramente influenciado pela sua forma de execução inicial, em cada etapa deste processo e pelos agentes de construção. Como o concreto tem em sua propriedade a característica de se modificar ao longo do tempo, o desempenho deste também está relacionado com a sua manutenção constante.

A durabilidade, segundo Ripper e Souza, é definida como “o período durante o qual as suas propriedades permanecem acima dos limites mínimos especificados”. Segundo a ABNT NBR 6118:2007, item 5.1.2.3, durabilidade “consiste na capacidade da estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto”. Segundo a ISO 13823:2008 entende-se por vida útil “o período efetivo de tempo durante o qual uma estrutura ou qualquer de seus componentes satisfazem os requisitos de desempenho do projeto, sem ações imprevistas de manutenção ou reparo”. Segundo a ABNT NBR 15575:2013, item 3.13, o conceito de durabilidade é a

“capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas”.

Podemos entender destes conceitos que a durabilidade está inteiramente ligada ao desempenho de uma estrutura em relação ao seu entorno, influências internas e externas. É a capacidade de resistir a ataques químicos, biológicos, ambientais, eletroquímicos, dentre outros agentes deteriorantes, sem perder seu desempenho mínimo especificado pelas normas, cumprindo o papel para o qual foi projetado. Estes conceitos são fundamentais para a compreensão das causas das trincas nas estruturas de concreto.

## **2.2.Trincas: tipos, origens, manifestações**

A construção com um elemento tão apto à modificações como o concreto deve ser constantemente inspecionada, além de ser corretamente planejada e executada. Qualquer falha em um desses processos pode gerar algumas deficiências, como as trincas e as fissuras, que levam à perda da vida útil pré-determinada. Por isso quando nos deparamos com as patologias e anomalias é necessário analisar a situação existente e entender quais são os agentes que trabalham contra esses elementos para podermos diagnosticar a causa de sua origem e realizar os reparos necessários para que a estrutura se recupere e não volte a se deteriorar novamente pelo mesmo agente agressor.

As ações que impactam as estruturas podem ser externas ou internas. As ações externas podem ser funcionais ou ambientais. As funcionais são aquelas já planejadas de acordo com o uso da construção, como cargas estáticas, cuja variação é lenta, de forma a não impactar a estrutura pelo seu movimento, pois geram forças constantes durante todo o tempo de vida de uma estrutura, e as cargas variáveis ou

verticais que podem ser constantes, como mobiliários, ou móveis, como guias, ou cargas que não são usualmente inseridas sobre a estrutura, e quando atuam, ocupam posições diferentes sobre esta. As cargas móveis podem ser periódicas ou instantâneas, sendo a primeira, aquelas que se repetem num certo intervalo de tempo, como o grande número de movimento de pessoas, e as não periódicas são aquelas que ocorrem de forma súbita, ou acidental.

Estas ações funcionais afetam as estruturas geralmente de forma mecânica, gerando solicitações, tensões e deformações.

As ações internas que afetam as estruturas podem ser intrínsecas, que são as manifestações das características do material, como por exemplo, no concreto, o tipo de cimento utilizado, o traço, o teor de ar incorporado, e o tipo da armadura, como também o seu processo executivo, quanto ao processo da concretagem, como a vibração do concreto e a cura deste. Outras ações internas que também influenciam como carga são as induzidas, que são aquelas deformações que são atribuídas por questões estruturais.

As cargas mais atuantes sobre uma estrutura são as de tração e compressão, portanto, esta deve suportar ao mesmo tempo as tensões geradas pelas forças. O concreto resiste mais à compressão, do que a tração. Para que esta deficiência seja balanceada, o aço ingressa com mais resistência a tração do que a compressão. Diante desta duplicidade de colaboração de resistências, ambos devem ser protegidos contra agentes agressivos que são responsáveis pelas fissuras e trincas emergentes que podem levar à ruptura de uma peça.

As trincas podem ser consequência de alguma carga não esperada que atua na superfície de forma agressiva. Através destas fissuras, a armadura, que antes estava totalmente encoberta pelo concreto, agora se encontra desprotegida, dando

espaço para a penetração dos agentes agressores. Estes agentes despassivam a armadura, deixando-a vulnerável à ataques que podem levar a sua corrosão.

### **2.2.1. Carbonatação**

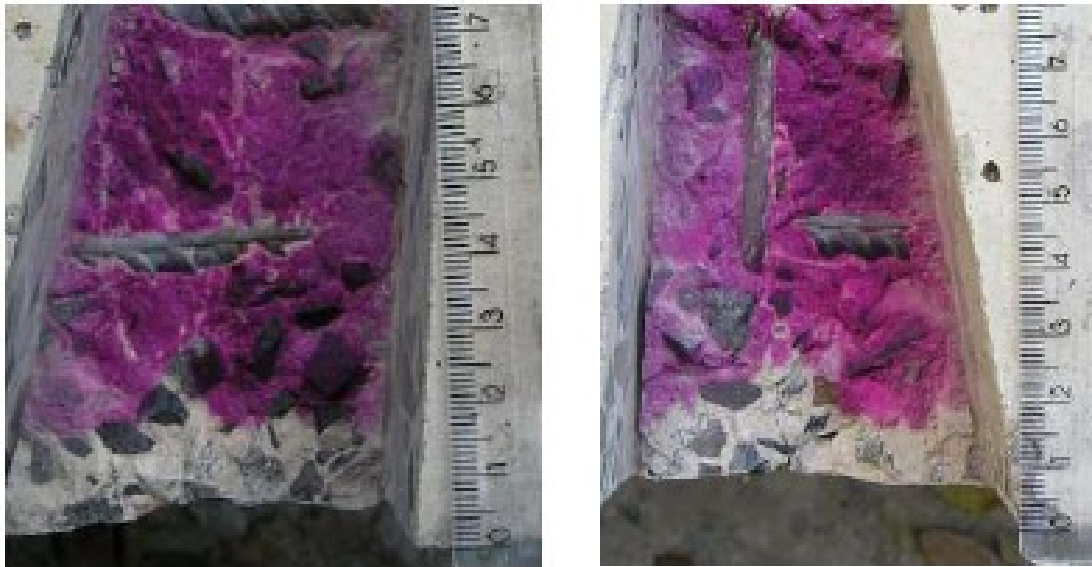
A carbonatação não é o responsável pela deterioração do concreto, porém é um facilitador para outros agentes agressivos penetrarem em sua estrutura e realizarem esse processo corrosivo.

O fenômeno da carbonatação é o responsável pela despassividade da armadura, e é um processo que ocorre lentamente, dependendo da quantidade de gás carbônico e umidade no ar. Este processo quando o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), abundante na nossa atmosfera, e a água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), entram seja pela porosidade, ou pelas trincas no concreto, e reagem com o óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), formando o  $\text{Ca(OH)}_2$  que reage com o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e forma o  $\text{CaCO}_3$ . Em decorrência deste fator, há redução de alcalinidade e do pH do concreto, que cai de valores superiores à 12,5 para valores inferiores à 9,4. A redução do pH gera o despassivamento da armadura, pois remove a película de proteção nestas áreas alteradas, deixando o aço susceptível à corrosão.

As estruturas de concreto têm uma expectativa de vida útil de pelo menos 50 anos. Isso quer dizer, que a corrosão deve demorar 50 anos até atingir a armadura, e não necessariamente se desintegrar neste tempo. Após este período o processo de corrosão se dá início. Entretanto, este tempo de vida pode ser encurtado, se houver um facilitador na corrosão da armadura, através da perda da película de proteção, por isto a estrutura deve ser avaliada e reparada, quando houver necessidade.

A alcalinidade de um concreto pode ser medida através de indicadores de pH à base de fenolftaleína ou timolftaleína. Para isto, se retira um corpo de prova no local de análise, e neste são feitos estes testes. Com a fenolftaleína, o concreto que está

despassivado apresenta cor incolor, enquanto o concreto com alta alcalinidade apresenta uma cor violeta.



**Figura 2.2.1.1: Medição da Frente de Carbonatação**

Fonte: <http://www.cimentoitambe.com.br/carbonatacao-do-concreto/>

A carbonatação pode, e deve ser evitada através da proteção do concreto contra os ataques dos agentes agressivos. Esta proteção se dá através de pinturas, aplicação de reboco, e assentamento de cerâmicas que ajudam a proteger o concreto da entrada do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Uma superfície que apresentar trincas e fissuras deve ser reparada, para que seja feito um bloqueio contra o ataque que reduz a alcalinidade do concreto. Para isto, vamos diagnosticar alguns mecanismos de deteriorização do concreto que geram as trincas.

### ***2.2.2. Trincas causadas por ações mecânicas e físicas***

As diversas cargas atuantes sobre as estruturas, que são a flexão, a tração, a compressão, o cisalhamento, e a torção, geram tensões que levam à deformação da peça estrutural. O aparecimento das trincas e fissuras é um conjunto de fatores internos e externos, que precisa ser interpretado. Entretanto, com o passar dos anos, estudiosos chegaram à conclusão a respeito das principais causas responsáveis pelo aparecimento das trincas.

Inicialmente, a origem das falhas das estruturas, pode vir da elaboração do projeto quando as cargas não são corretamente dimensionadas, ou se há omissão de alguma carga, erro de cálculo na combinação de carregamentos, solução incorreta na modelagem da estrutura, e até a falta de especificação correta de materiais a serem utilizados no preparo do concreto (fck do cimento, relação a/c máxima, tipo de cimento, agregados, aditivos, módulo de elasticidade, etc.)

Posteriormente ao projeto, podem ser encontrados erros de execução na falha na locação e nivelamento; aparecimento de cargas precoces ou não previstas no projeto; incorreta construção de fôrmas e posicionamento do escoramento; falta de cuidados no corte; dobramento e colocação das armaduras; falha na produção, transporte, lançamento e cura do concreto; falta de cuidado na remoção das fôrmas e escoras; incapacitação da mão de obra; deficiência no transporte e montagens, quando existir, de elementos pré-moldados; deixar que a água escorra ou se acumule no concreto; falta de impermeabilização nos locais com presença de água constante.

O concreto também pode ser deteriorado na fase da apropriação pelo usuário, ao serem implantadas cargas não previstas no projeto, ou modificando o uso do local que implique em um aumento de sobrecarga, por exemplo, um local que era um salão de festas não pode se transformar em uma biblioteca, que possui uma grande variação das cargas de mobiliários que passou de mesas e cadeiras que são

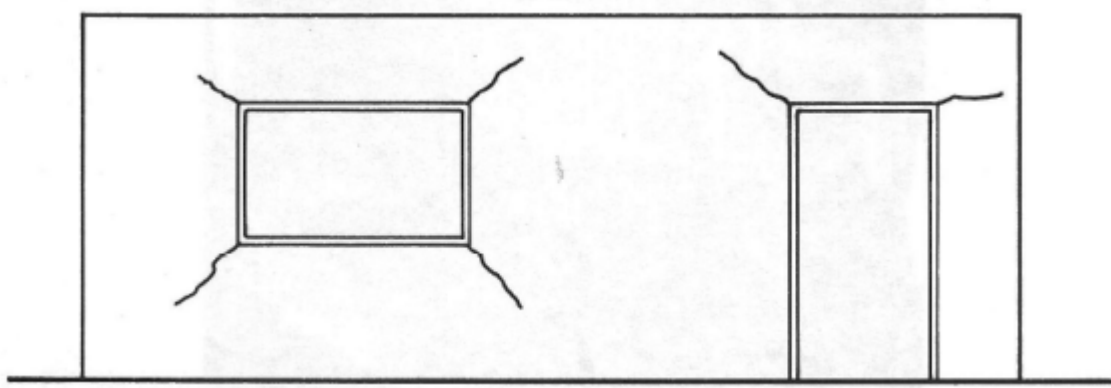
extremamente leves, para inúmeras estantes pesadas contendo uma enorme quantidade de livros. Ou uma simples residência, que antes possuía móveis domésticos e capacidade de receber uma pequena quantidade de pessoas se transformar em uma indústria com diversas maquinarias com um grande peso que geram cargas dinâmicas não previstas. A falta de inspeção e cuidado periódico também é um grande responsável pela deterioração da estrutura.

As manifestações apresentadas pelas trincas são divididas em deformações por causas mecânicas, físicas, biodeterioração, causas químicas e causas eletroquímicas.

As causas mecânicas e físicas podem ser entendidas como a variação de carregamento desconhecido anteriormente pela estrutura e a exposição desta às variações de temperatura.

### ***2.2.3. Trincas causadas por atuações de sobrecargas***

As fissuras causadas pelas sobrecargas previstas ou não no projeto estrutural podem ser encontradas em elementos estruturais, como paredes, vigas e pilares. O seu aparecimento sobre as estruturas nem sempre irá resultar na sua ruptura e invalidez quando recebem as sobrecargas. Esta carga excedente, geradora da fissura, automaticamente é redistribuída ao longo de sua peça lesionada e também às complementares ao seu redor, de forma que estes esforços agregados são absorvidos por toda a estrutura quando possível. Considerando uma estrutura padrão de concreto armado, iremos analisar quais são as fissuras que as diferentes solicitações geram.

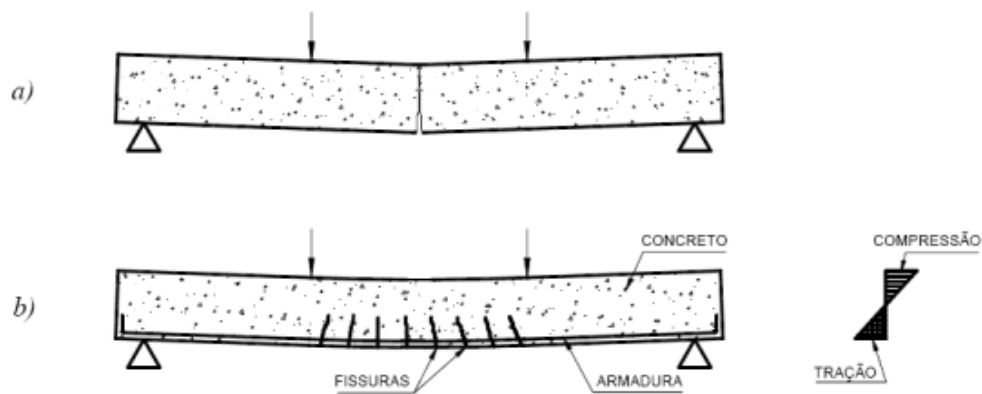


**Figura 2.2.3.1 – Fissuração típica nos cantos das aberturas sob atuação de sobrecargas**

Fonte: THOMAZ, 1949.

O concreto resiste bem à compressão, mas quando submetido à tração apresenta um mau comportamento. Apesar de esta solicitação ser pouco frequente, quando ocorre de forma a ultrapassar o limite de resistência, o concreto apresenta fissuras perpendiculares às barras de aço principais, e paralelas às armaduras transversais e aos estribos. Como o concreto apresenta uma baixa resistência à tração, outro elemento funciona resistindo a estas cargas: as armaduras. A união dos dois materiais para que trabalhem em conjunto só é possível porque ambos apresentam um coeficiente de dilatação térmica quase igual.

A deformação de ruptura à tração do concreto é igual a  $2,7f_{tk}/E_c$  ( $f_{tk}$  = resistência característica do concreto à tração;  $E_c$  = módulo de deformação longitudinal do concreto à compressão), segundo a NBR 6118. Com esta fórmula poderemos calcular a solicitação resistente que formará fissuras em relação à armadura longitudinal.

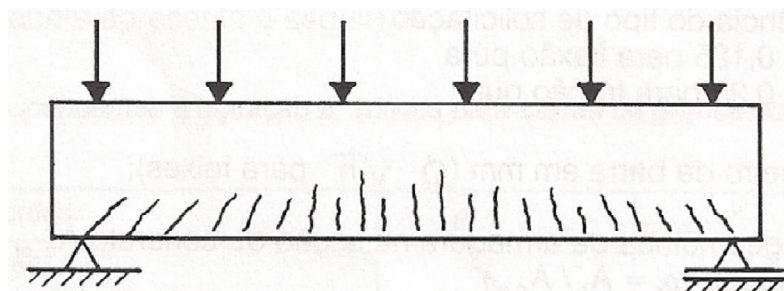


**Figura 2.2.3.2 – Viga de concreto simples (a) e armado (b)**

Fonte: PFEIL, 1989.

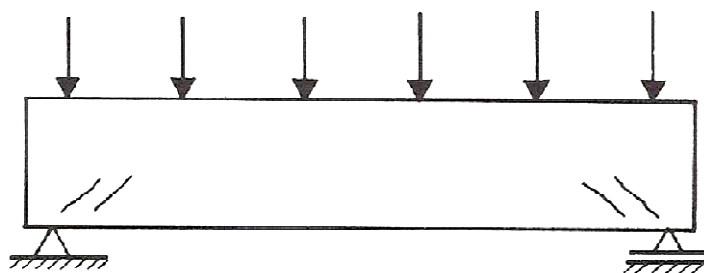
Quando uma estrutura recebe cargas de compressão acima do seu limite de resistência, se manifestam diversos tipos de fissuras diferentes, que irão depender das características físicas do concreto. Quando o perfil da estrutura for esbelto, as fissuras poderão aparecer de forma paralela às armaduras principais, não exatamente em linhas retas. Em casos de manifestação de trincas perpendiculares a um pilar com uma força de compressão, esta fissura é muito perigosa, pois pode indicar flambagem.

As fissuras mais encontradas são as geradas por flexão, ou uma composição de flexão e cisalhamento. O posicionamento das trincas pode variar conforme a predominância de um dos esforços.



**Figura 2.2.3.3 Fissuração típica em viga subarmada solicitada à flexão**

Fonte: THOMAZ, 1949



**Figura 2.2.3.4 Fissuras de cisalhamento em viga solicitada à flexão**

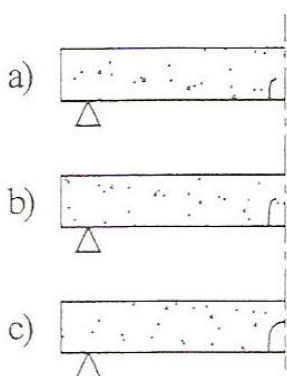
Fonte: THOMAZ, 1949

Quando há predominância de flexão, as fissuras se apresentam como na figura 2.2.3.5, progressivamente.

“Nestas configurações, a fissuração por flexão inicia-se na armadura, progride na vertical em direção à fibra neutra e, em certos casos no final orienta-se buscando o ponto de aplicação da carga detendo-se ao alcançar a zona de compressão”. REDE REHABILITAR, 1996.

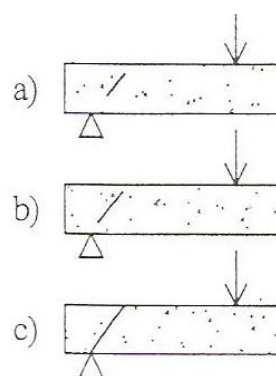
Quando há predominância de cisalhamento, as fissuras se apresentam como na figura 2.2.3.6, progressivamente.

“Nestes casos, a fissuração por cisalhamento pode começar na alma da peça ou na fibra tracionada, avançar até os dois extremos ou pelo extremo superior, respectivamente, e chegar a afetar toda a altura da peça, dividindo-a em duas partes”. REDE REHABILITAR, 1996.



**Figura 2.2.3.5 Fissuração por flexão**

Fonte: REDE REHABILITAR, 1996

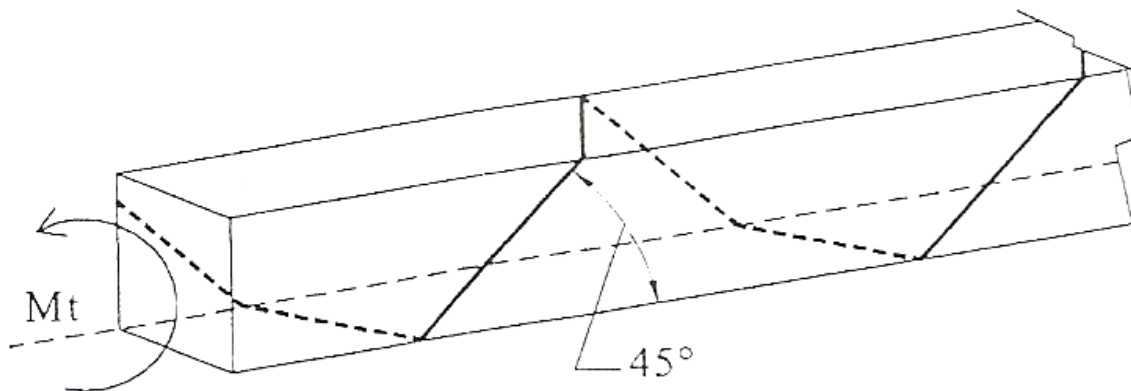


**Figura 2.2.3.6 Fissuração por cisalhamento**

Fonte: REDE REHABILITAR, 1996

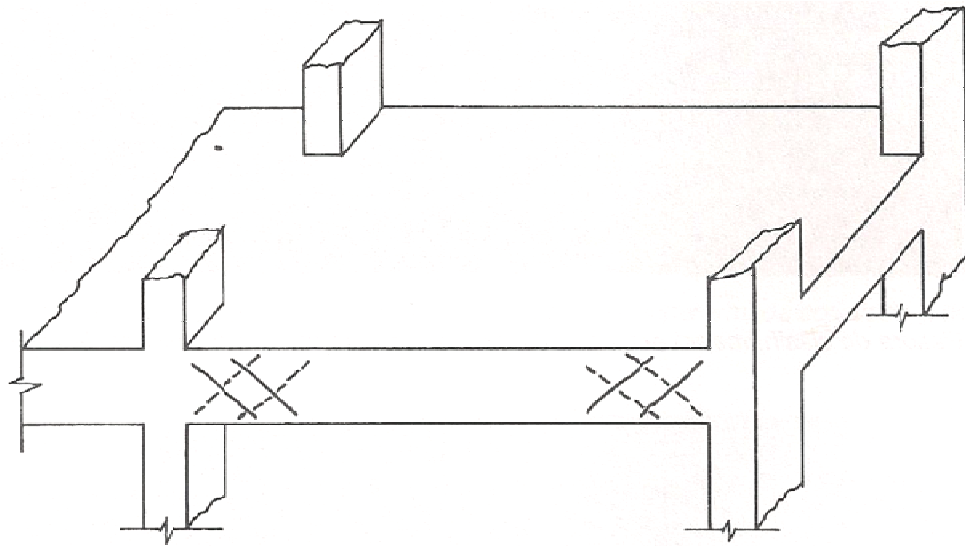
As principais características, segundo REDE REHABILITAR (1996), que diferem as fissuras geradas pela flexão das fissuras de cisalhamento são: se o aço utilizado apresentar alta aderência, surgirão várias fissuras próximas umas das outras; as fissuras não chegam a alcançar toda a altura da peça, chegam até a linha neutra; quando a carga que está gerando esta fissura for retirada, as fissuras tendem a desaparecer; e são perpendiculares ao eixo da peça, e se inclinam de acordo com o valor do esforço cortante.

A torção de uma peça é considerada uma sollicitação secundária quando uma estrutura consegue resistir com segurança, pois esta resistência não é necessária para o equilíbrio da peça. Quando isto não ocorre, ela passa a ser uma sollicitação principal. As fissuras formadas pela torção, como sollicitação principal, aparecem à  $45^\circ$  em cada face, sendo interligadas e formando um caminho helicoidal. Neste caso, isto pode apresentar um caso de risco de ruptura.



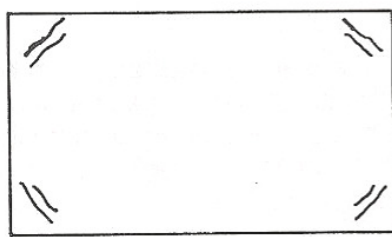
**Figura 2.2.3.7 Fissuras provocadas por torção**

Fonte: REDE REHABILITAR, 1996

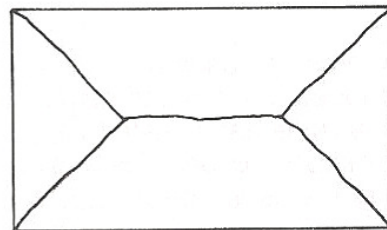


**Figura 2.2.3.8 Fissuras provocadas por torção**

Fonte: THOMAZ, 1949



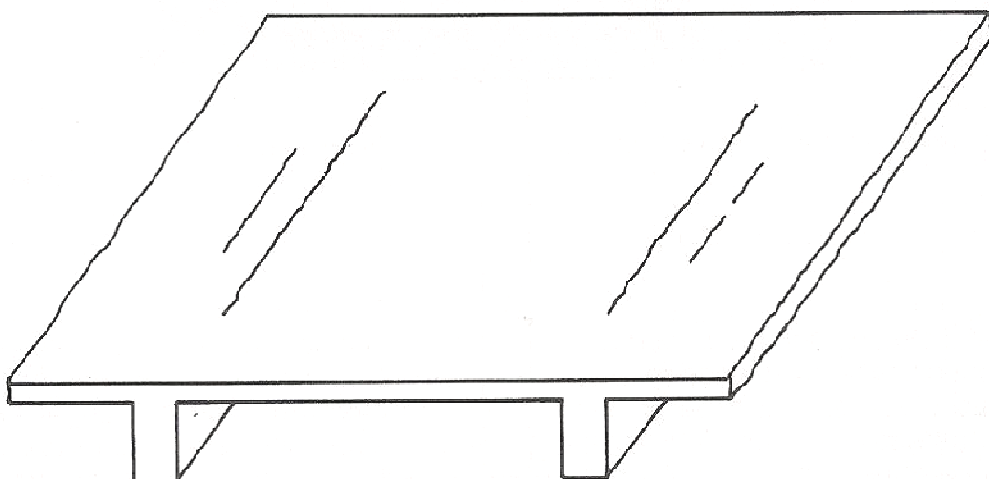
**Face Superior**



**Face Inferior**

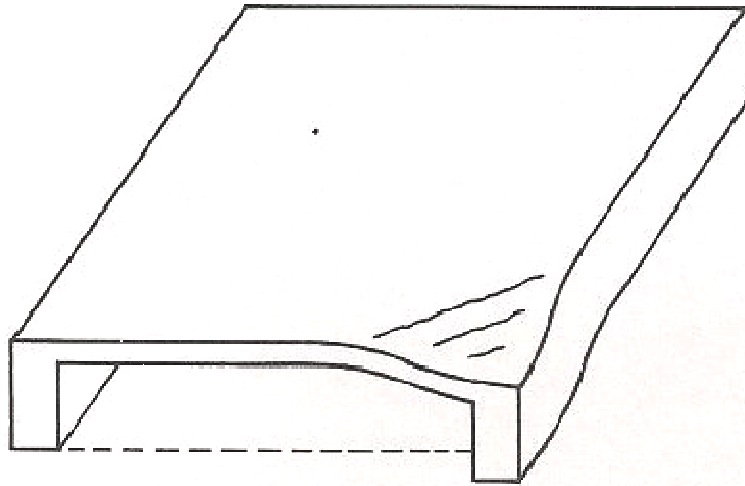
**Figura 2.2.3.9 Fissuramento típico de lajes simplesmente apoiadas**

Fonte: THOMAZ, 1949



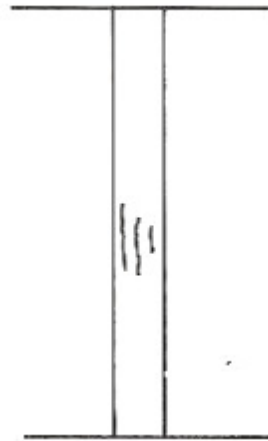
**Figura 2.2.3.10 Trincas na face superior da laje devidas à ausência de armadura negativa**

Fonte: THOMAZ, 1949.



**Figura 2.2.3.11 Trincas inclinadas devidas à torção da laje**

Fonte: THOMAZ, 1949



**Figura 2.2.3.12: Fissuras verticais no pilar indicando insuficiência de estribos**

Fonte: THOMAZ, 1949

O impacto em uma estrutura também pode gerar fissuras, trincas e deformações significativas. Os fatores determinantes da severidade causada por um impacto serão os valores das massas, a deformabilidade desta e a velocidade do corpo de impacto sobre o local da colisão.

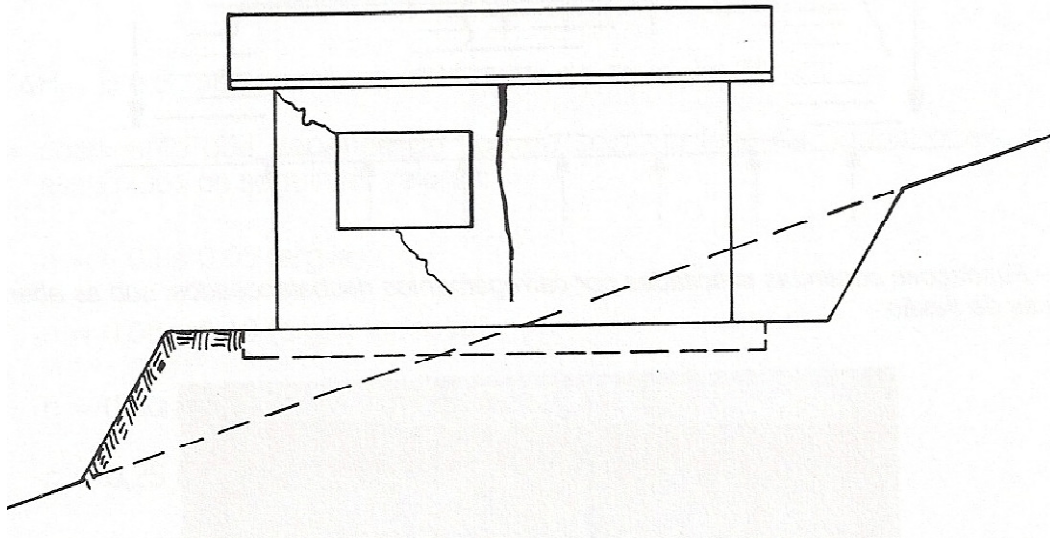
Os casos que apresentam uma consequência quase desprezível são impactos de veículos em estacionamentos, ou em depósitos, onde os elementos estruturais são rígidos, e a velocidade do elemento de colisão for baixo. Para ser avaliado como um impacto considerável, os elementos estruturais, são aqueles que com pouca rigidez,

como pontes e tirantes, que foram colididos por veículos de grande porte, como caminhões e ônibus, com uma alta velocidade de impacto.

#### **2.2.4 Trincas causadas por recalques**

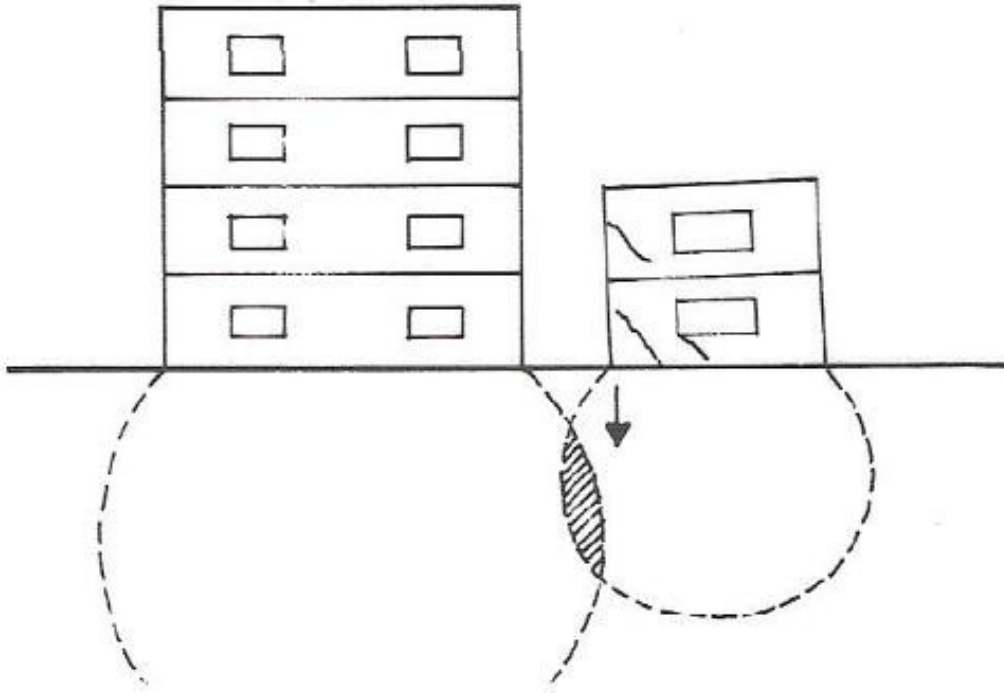
Um dos maiores causadores de trincas nas alvenarias e estruturas é chamado recalque diferencial. Quando os apoios de uma estrutura se encontram deslocados do seu estado original de construção, estes provocam novas tensões que não estavam previstas originalmente no projeto, provocando fissuras e trincas por toda a edificação.

Quando se trata de movimentação das fundações, as causas podem ser as mais diversas. Abaixo seguem algumas figuras que ilustram estas origens.



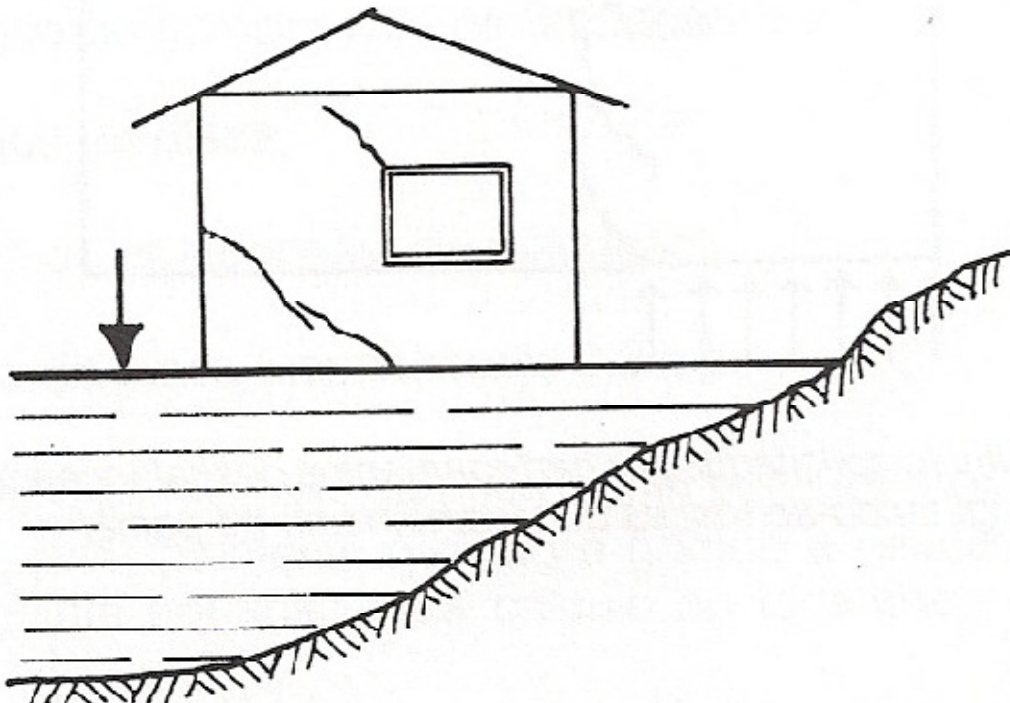
**Figura 2.2.4.1 Provável fissuramento de edificação assente parte em aterro.**

Fonte: MILITITSKY, CONSOLI, SCHNAID, 2008



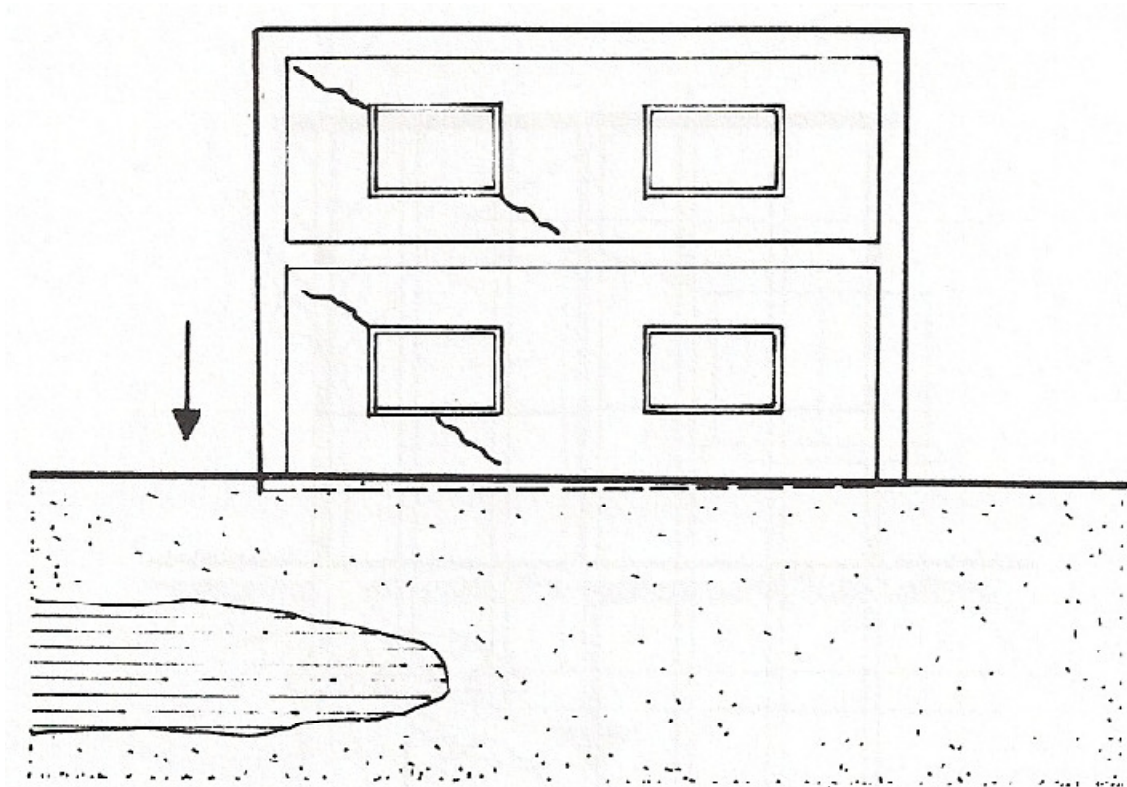
**Figura 2.2.4.2 Superposições de pressões, bulbo de pressões**

Fonte: THOMAZ, 1949



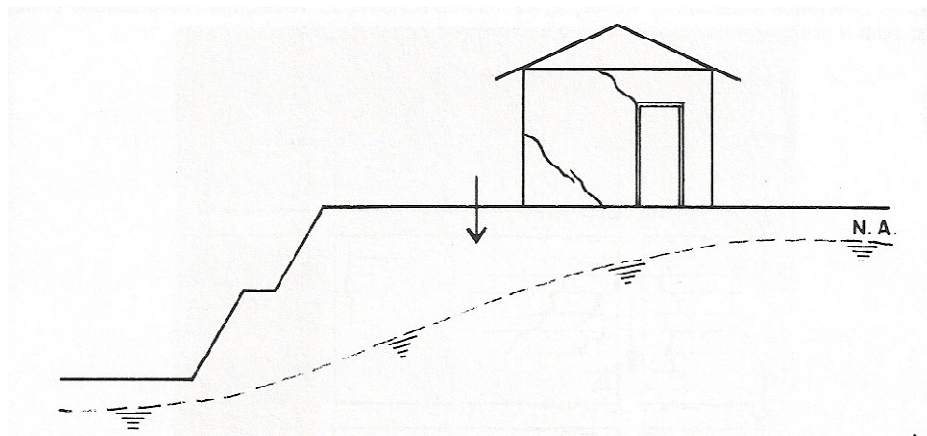
**Figura 2.2.4.3 Recalque diferenciado por consolidações distintas do aterro carregado**

Fonte: THOMAZ, 1949.



**Figura 2.2.4.4 Recalque diferenciado por falta de homogeneidade do solo**

Fonte: THOMAZ, 1949.



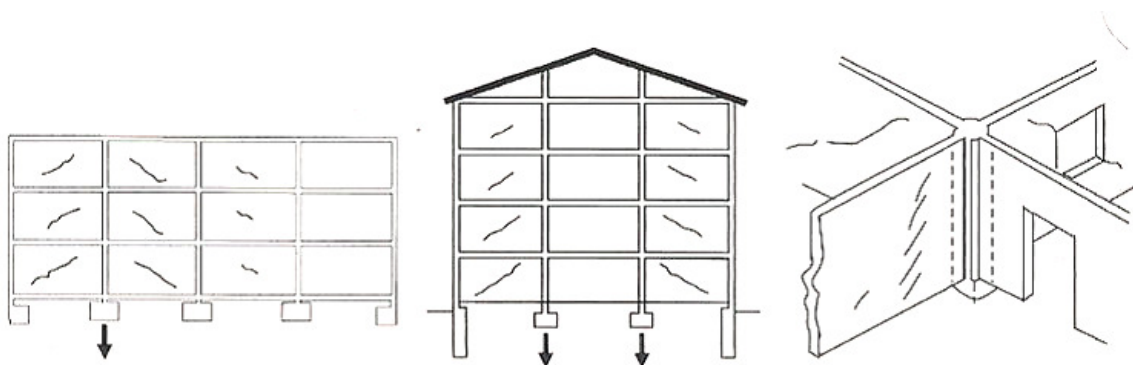
**Figura 2.2.4.5 Recalque diferenciado por rebaixamento do lençol freático. O terreno foi cortado à esquerda do edifício**

Fonte: THOMAZ, 1949.

Segundo HUSNI, Raúl (1996) as principais causadoras dos recalques são:

- Erro de projeto ou de execução das fundações;

- Cargas não previstas no projeto original.
- Deformação excessiva do solo de fundação, não considerada no projeto por desconhecimento ou informação errônea de suas características;
- Deformação excessiva localizada do solo pela aparição de alterações não previstas (inundação, vibração, erosão, socavamento, etc.).
- Fundação sobre escavação mal coberta, aterros mal executados, alterações do terreno desconhecidas, etc.
- Fundação de uma mesma estrutura sobre diferentes tipos de solo e/ou utilização de diferentes sistemas de fundação ou diferentes níveis da fundação.
- Alterações por construções vizinhas;
- Existência de solos expansivos;
- Injeção do terreno em zonas próximas gerando um importante empuxo vertical sobre a superfície de apoio da fundação (subida dos apoios).

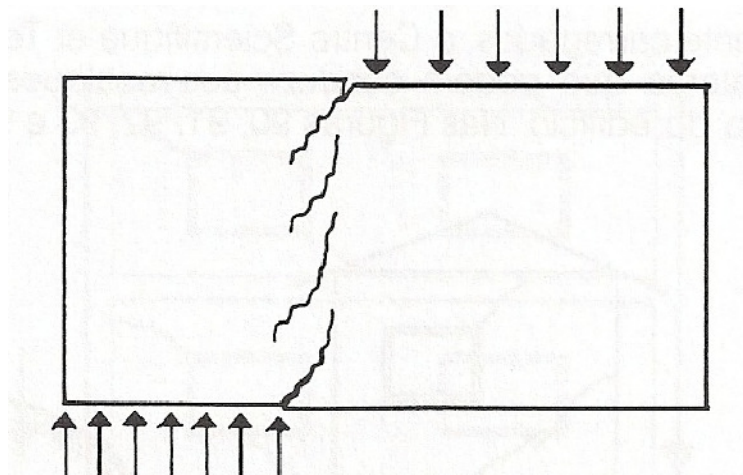


**Figura 2.2.4.6 Fissuras causadas por recalques de fundações de pilares internos**

Fonte: MILITITSKY, CONSOLI, SCHNAID, 2008.

A inserção de juntas de dilatação nas estruturas e nas edificações é uma prática eficiente para evitar as fissuras causadas por pequenos deslocamentos das fundações. É necessário garantir a movimentação da edificação caso esta sofra

deslocamentos não previstos. A tipologia das trincas e fissuras provocadas por recalques diferenciados são inclinadas em direção ao ponto do maior recalque, e podem ser confundidas com as fissuras provocadas por deflexão de componentes estruturais. Estas também podem apresentar formas de escamas provocadas pela presença de esmagamentos localizados, gerando uma variação no tamanho da abertura das fissuras.



**Figura 2.2.4.7 Fundações contínuas solicitadas por carregamentos desbalanceados: o trecho mais carregado apresenta maior recalque, originando-se trincas de cisalhamento no painel**

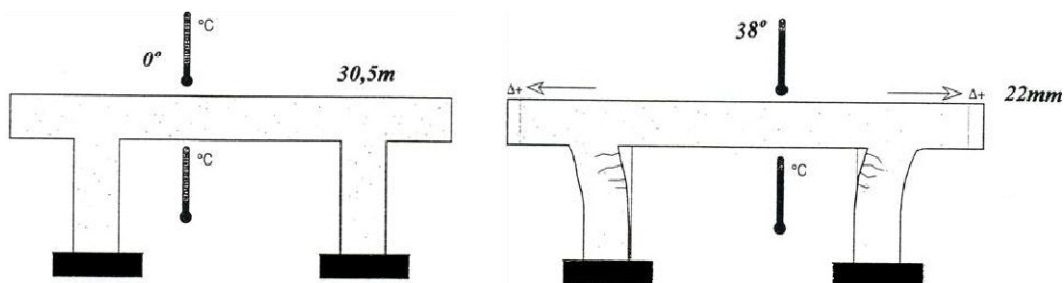
Fonte: MILITITSKY, CONSOLI, SCHNAID , 2008

### ***2.2.5 Trincas causadas por variações térmicas e higroscópicas***

As variações de temperatura e umidade retraem ou contraem as estruturas de concreto, provocando uma mudança volumétrica no conjunto da edificação. Se toda essa expansão estiver sendo restringida seja por engaste da estrutura ou falta de juntas de dilatação, ou estiver ultrapassando os limites da resistência e da propriedade elástica dos materiais, podem surgir as fissuras. Todo material se dilata com o calor e se retrai com o frio, ou se expande com a umidade e se contrai enquanto esta se seca. Entretanto, a resistência do concreto é menor para as cargas de tração do que as de

compressão, de modo que o efeito de retração do concreto será mais avaliado nestes casos de alteração de temperaturas e de umidade.

As fissuras formadas por estes efeitos físicos se apresentam de forma perpendicular à tensão principal de tração, e são paralelas entre si. Estas fissuras podem demorar meses para aparecer, pois depende do processo de cura do concreto. As estruturas muito extensas de concreto, como viadutos pontes, barragens e blocos de fundação podem apresentar este tipo de fissura devido ao calor de hidratação do cimento, que pode gerar as tensões de tração.



**Figura 2.2.5.1 Deformação da estrutura engastada, devido à variação de temperatura.**

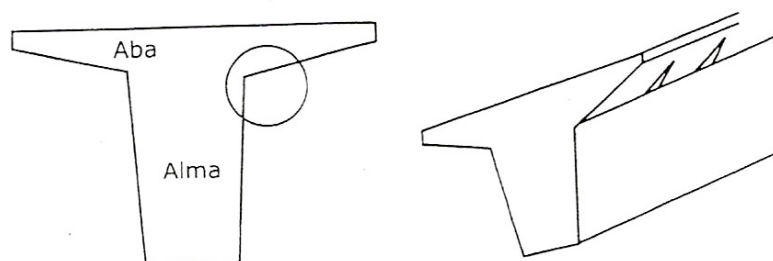
Fonte: AGUIAR, 2013.

Estas fissuras também podem aparecer em caso de incompatibilidade de características e propriedades de materiais que se encontram sujeitos a uma mesma variação de temperatura uniforme em todo o edifício. Esta situação gera uma movimentação de dilatação e retração dessemelhante entre os elementos, provocando esta manifestação patológica citada.

Em outro caso, muito frequente, as fissuras são geradas quando não há uniformidade de variação de temperatura em um mesmo edifício, ou seja, há uma exposição de elementos a diferentes solicitações térmicas, por exemplo, uma parte da parede de uma edificação que recebe a insolação direta, e outra coberta pela arborização da região.

Este movimento dos elementos de um mesmo sistema não pode ser evitado, pois características de um comportamento natural. Para evitar as fissuras, podemos minimizar o impacto da dilatação e retração, através da definição e cálculo das juntas, espaçadas conforme a necessidade de cada material.

Nos elementos cuja forma e seção são variadas, existe uma tendência a formarem fissuras, pois enquanto uma parte da estrutura já secou e já retraiu a outra parte ainda está em processo. Vemos como exemplo em uma viga “T”, a parte mais fina “seca” e retrai mais rápido do que a grossa, gerando fissuras na aba partindo da alma.



**Figura 2.2.5.2 Fissuras em elemento estrutural de seção variável**

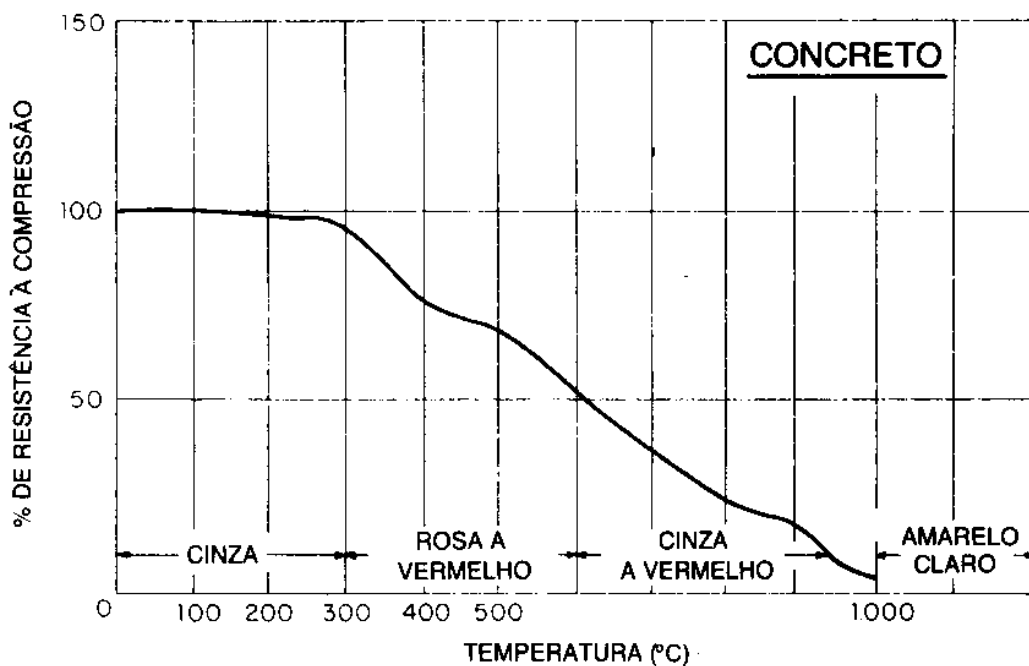
Fonte: REDE REHABILITAR, 1996

Outra situação semelhante é quando há uma variação de temperatura da superfície e da parte interna do elemento. Nas chaminés das indústrias, onde estas trabalham com temperaturas altíssimas, quando as águas das chuvas entram em contato com os seus anéis superiores, ocorre um choque térmico provocando o esfacelamento do concreto.

O efeito provocado pelas altas temperaturas no concreto é extremamente prejudicial. A composição do concreto é modificada com o calor, de forma a perder características importantes como a resistência.

A água livre ou capilar do concreto começa a evaporar a partir dos 100°C. Entre 200°C e 300°C, a perda de água capilar é completa, sem que se observem alterações na estrutura do cimento hidratado e sem redução considerável na

resistência. De 300°C a 400°C produz-se a perda de água de gel do cimento, ocorrendo uma sensível diminuição das resistências e aparecendo as primeiras fissuras superficiais no concreto. Aos 400°C, uma parte do hidróxido de cálcio procedente da hidratação dos silicatos se transforma em cal viva. Até os 600°C, os agregados que não têm todos os mesmos coeficientes de dilatação térmica, se expandem com diferentes intensidades, provocando tensões internas que começam a desagregar o concreto. (AGUIAR, 2013)



**Figura 2.2.5.3 Influência da temperatura sobre a resistência do concreto.**

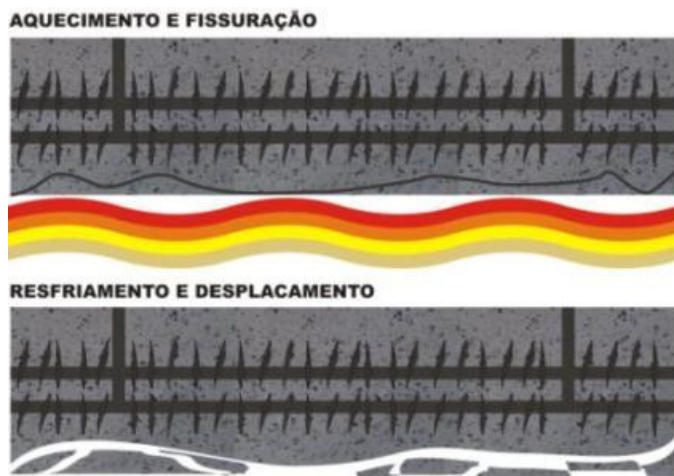
Fonte: AGUIAR, 2013.

Quando o concreto chega a ser aquecido, até 900° C este começa a perder os compostos do aglomerante endurecido. Quando este resfria, o interior permanece quente, provocando uma série de fissuras que são responsáveis pela perda da resistência de até 90% do valor inicial. Após os 900° C, o concreto perde toda a resistência restante em sua composição, e adquire a cor esbranquiçada.

O aço também sofre com a exposição da peça estrutural a altas temperaturas. O rápido resfriamento pode ser um grande problema para o aço, já que pode temperar o material e fragilizá-lo.

Outro fator que faz com que o conjunto concreto e aço percam a sua função estrutural é a perda da aderência entre os componentes. O concreto e o aço possuem um coeficiente de dilatação térmico semelhantes, porém diferem muito no coeficiente de transmissão de calor. Quando sofre com altas temperaturas, o aço, sendo um excelente condutor térmico, transmite em toda a sua extensão o calor, expandindo sua matéria. O concreto ainda frio, não acompanha o processo de expansão do aço, ocasionando fissuras contornando todo o local de contato com a armadura. Em decorrência deste fator, o aço tende a se desprender do concreto, gerando a perda de aderência entre os materiais.

Caso o comprimento do trecho sem aderência seja pequeno, não irão ocorrer perdas significativas na peça, pois o conjunto estrutural continua a se comportar como se estivesse sem danos, ou seja, como peça subarmada. Se este comprimento for de uma extensão significativa, a peça pode sofrer a ruptura, mesmo com as armaduras ainda se comportando dentro do regime elástico. Na ocorrência de um momento resistente menor, e a peça se comportará como se estivesse superarmada.



**Figura 2.2.5.4 Perda de aderência entre o concreto e a armadura**

As estruturas quando submetidas a altas temperaturas, se expandem provocando um aumento no comprimento de algumas peças do conjunto estrutural.

Perante este fator, podem aparecer fissuras nos topos dos pilares nos lugares que aonde as vigas e lajes dilatadas se apóiam. Isto ocorre, pois existe uma variação de deformação nas fibras do concreto, onde as fibras mais quentes se alongam. Este alongamento deve ser limitado, pois pode gerar um aumento das flechas ou dos momentos negativos, invertendo as solicitações de tração e compressão, no caso de uma viga, em cima surge uma solicitação de tração e em baixo surge a solicitação de compressão, onde não há armaduras calculadas para suportar tais tensões.



**Figura 2.2.5.5 Estado de uma estrutura agredida pelo fogo**

Fonte: <http://www.segeplan.com.br/site/recuperacao.php>

Outra ação que tem a capacidade de desintegrar o concreto é o ciclo de gelo e degelo. Apesar deste ciclo não ser comum no Brasil, nos países de inverno rigoroso, o concreto encontra este fator que é um agente prejudicial acumulador de efeitos sobre duas situações. A primeira quando o concreto é lançado e ainda está em processo de cura, ganhando a resistência estipulada por projeto. A outra situação ocorre durante a vida útil deste.

No primeiro caso, o congelamento da água antes de completar o processo de hidratação do cimento necessário, pode resultar em um concreto com baixa resistência. Para evitar o dano neste concreto, é necessário aquecer os componentes,

e prevenir a perda do calor para que o processo de formação do concreto não seja interrompido.

No segundo caso, o concreto, quando sofre o congelamento das águas dos seus capilares, este entra em um processo de expansão que provocam tensões que podem ocasionar fissuras e trincas e originar uma deterioração no concreto. Nestes casos, no processo de formação do concreto, deve-se usar um aditivo incorporador de ar (IAR), que geram bolhas internas ao material que consegue reduzir as tensões provocadas pelo ciclo de gelo e degelo.

#### ***2.2.6. Fissuras causadas por ataques químicos***

O concreto é um material muito susceptível a ataques de ácidos, por ser um material básico, poroso, e com presença de água na sua composição. As chuvas ácidas dos centros urbanos, e a exposição a ácidos de processos industriais, são os grandes responsáveis pela deterioração da pasta do concreto, e do agregado se este for do tipo calcário. A redução da alcalinidade do concreto resulta na perda da película protetora da armadura, expondo o aço a ataques corrosivos.

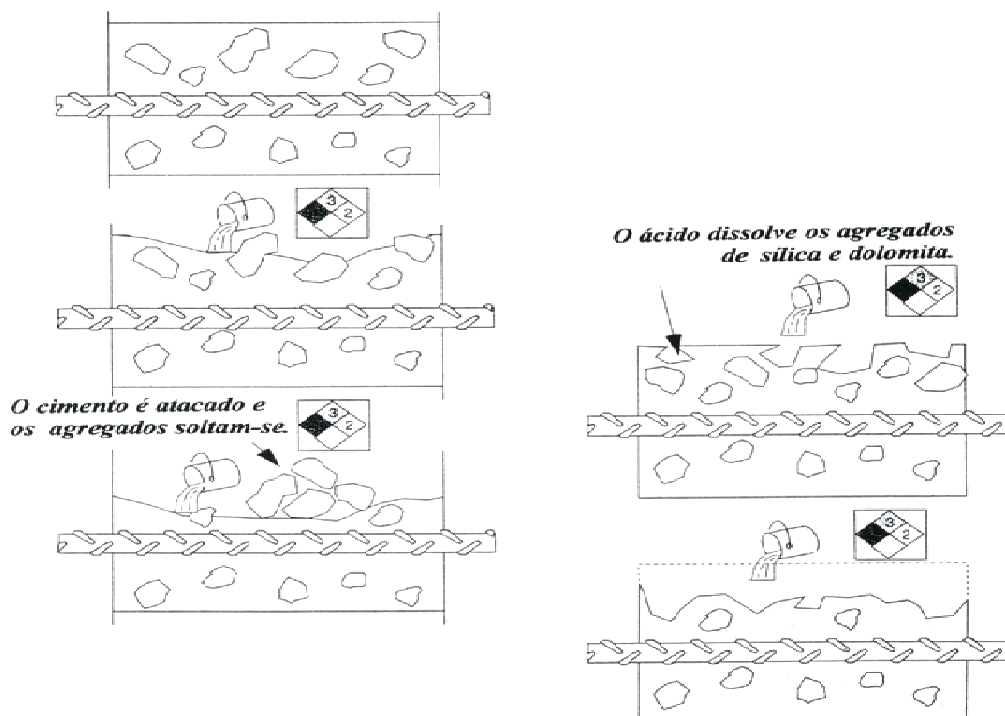
A intensidade do ataque químico depende de dois fatores importantes para a contribuição da degradação do concreto; a temperatura e a umidade. Quanto maior a temperatura, e maior a presença de água, mais acelerada a corrosão se desenvolve. É válido ressaltar que o tipo de ácido e a quantidade do ácido em contato com o concreto também influencia na sua degradação.

ÁCIDOS INORGÂNICOS	ÁCIDOS ORGÂNICOS	SOLUÇÕES ALCALINAS	SOLUÇÕES SALINAS	VEL. DE ATAQUE TEMP.AMBIENTE
Clorídrico Fluoclorídrico Nítrico Sulfúrico	Acético Fórmico Láctico	---	Cloreto de Alumínio	RÁPIDA
Fosfórico	Tânico	Hidróxido de sódio 20%	Nitrato e sulfato de amônio Sulfatos de sódio, magnésio e cálcio	MODERADA
Carbônico	---	Hidróxido de sódio 10-20% Hipoclorito de sódio	Cloreto de amônio e magnésio Cianureto de sódio	LENTA
---	Oxálico Tartárico	Hidróxido de sódio 10%(*) Hipoclorito de sódio Hidróxido de amônio	Cloreto de cálcio e sódio Nitrato de zinco Cromato de sódio	DESPREZÍVEL

\*Evitar o uso de agregados silicosos porque são atacados por soluções concentradas de hidróxido de sódio

**Tabela 2.2.6.1 Velocidade de ataque ao concreto de algumas substâncias químicas**

Fonte: REDE REHABILITAR, 1996



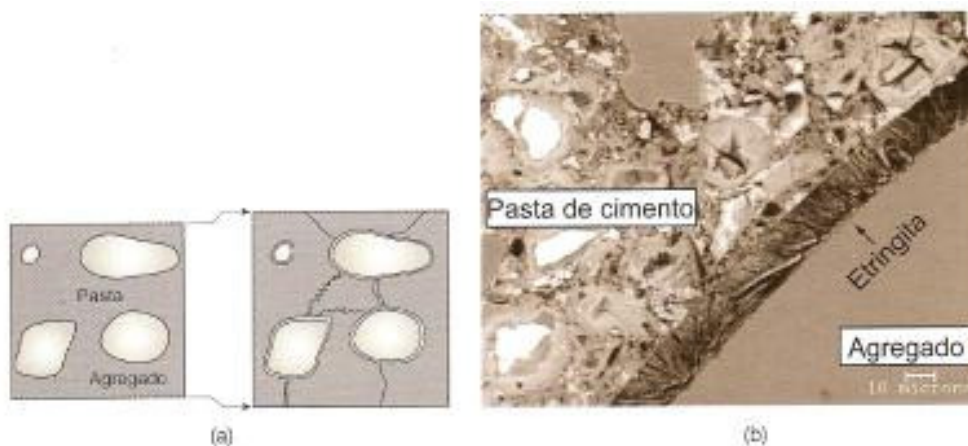
**Figura 2.2.6.1 O efeito do ataque dos ácidos no concreto.**

Fonte: AGUIAR, 2013.

O concreto em contato com o ácido se expande, aumentando a porosidade e a permeabilidade, devido a reações químicas, e causam fissurações e deslocamentos e perda de resistência.

O sulfato e a reação álcali-agregado são os mais perigosos, por apresentarem uma rápida velocidade de ataque e por existirem muitos casos onde estes foram a principal causa dos danos estruturais. O íon sulfato pode ser encontrado em soluções aquosas, formando o ácido sulfúrico, ou o sulfato de amônio, ou quando em sais compondo o sulfato de cálcio, de sódio, e de magnésio.

A reação da pasta do cimento com o sulfato forma compostos expansivos, como a etringita secundária e o gesso cristalizado. Esta expansão gera fissuras na pasta e na aderência com os agregados.



**Figura 2.2.6.2.(a) Representação diagramática da expansão de argamassa ou concreto causada pela formação de etringita tardia. (b) Micrografia obtida por microscopia eletrônica de varredura de uma argamassa atacada por DEF.**

Fonte: MEHTA e MONTEIRO, 2008.

A reação álcali-agregado ou álcali-sílica (RAS) acontece quando os íons de hidroxila e componentes silicosos reagem com a pasta de cimento que contém os álcalis, expandindo o concreto e gerando fissuras prejudiciais à estrutura.

A composição do cimento influencia na reação álcali-agregado, pois aqueles de alta alcalinidade, que contenham mais de 0,6% de  $\text{Na}_2\text{O}$ , têm uma maior probabilidade

de, em contato com agregados reativos, expandir o concreto, devido a reação álcali-agregado. Quando o percentual de  $\text{Na}_2\text{O}$  for menor que 0,6%, pode-se considerar que são inofensivos ao concreto, mesmo se o agregado for ou não reativo. A alta quantidade de cimento usada no preparo de uma estrutura de concreto, pode também desencadear em uma reação álcali-agregado, mesmo que os valores sejam menores que 0,6% de  $\text{Na}_2\text{O}$ .

Os agregados reativos são aqueles que possuem formas reativas de sílica, quartzitos, filitos, sílica hidratada, formas amorfas ou minerais de sílica. Estes reagem com o potássio, o sódio e o hidróxido de cálcio do cimento, e formam um gel silicato-alcalino ao redor dos agregados que se deslocam pelo concreto através de microfissurações e se estendem até a superfície do concreto, que são os mapeamento de fissuras. Este gel em contato com a água se expande, gerando grandes tensões internas. Geralmente, não há reparo para esta situação, pode-se controlar, impedindo que o concreto tenha contato com água para evitar a formação de novas fissuras.



**Figura 2.2.6.3 Mapeamento de fissuras em blocos de fundação devido à reação álcali-agregado.**

Fonte: AGUIAR, 2013.

Na utilização de areia de praia ou areia e cascalho, estas devem ser lavadas com água doce para reduzir o teor alcalino. O valor total do teor alcalino da composição cimento e agregado não pode exceder  $3\text{kg/m}^3$ . Caso sejam utilizados agregados com suspeita de componentes reativos, deve-se utilizar um cimento Portland de baixa alcalinidade. Caso não seja possível utilizar este cimento Portland, pode-se substituir parte deste por adições pozolânicas e cimentícias, como cinza volante, escória de alto forno, ou sílica ativa. Os álcalis que estão presentes em escórias e pozolanas naturais não são solúveis em ácidos, portanto não reagem com as hidroxilas dos agregados.

O concreto que apresenta uma maior resistência aos ataques químicos são os que apresentam baixa permeabilidade, ou baixa relação água/cimento, bem adensados e bem curados, segundo HELENE, 2011. O teor de fases de alumínio na composição do cimento utilizado também está relacionado com a velocidade de deterioração. As normas técnicas já indicam os teores máximos de fases de alumínio para garantir a resistência a ataques químicos. A estrutura pode ser protegida por tinturas especiais de borracha, resinas epóxicas, revestimentos dentre outras barreiras que apresentem um bom cobrimento do concreto.

A maior preocupação a respeito dos ataques químicos é que os agentes agressivos atinjam a armadura e dêem início ao processo da carbonatação. Com o surgimento de fissuras, os agentes alcançam o aço com maior facilidade, começando o processo de corrosão da armadura.

Um dos principais responsáveis pela corrosão do aço é o cloreto. Este pode vir da água do mar, da maresia, de processos industriais, ou podem vir em aceleradores de pega que contém  $\text{CaCl}_2$ . Algumas normas recomendam um valor máximo de 0,40% de aditivos contendo cloretos em relação à massa do cimento ou 0,05% e relação a massa do concreto. Para se dar início a corrosão, quanto menor o pH, menor o teor de

cloreto é necessário. Como exemplo, quando o concreto tem um valor de pH 13,2, a quantidade de íons cloreto para iniciar o processo é de 8.000 ppm. Se o pH tiver abaixado para 11,6, a quantidade de íons cloreto para começar a corrosão cai estrondosamente para 71 ppm.

A medição de cloretos pode ser feita por análise de fluorescência de Raios X ou por via química (ASTM C 1152- 1992) após a coleta de amostra de pó de diferentes profundidades retiradas do concreto.

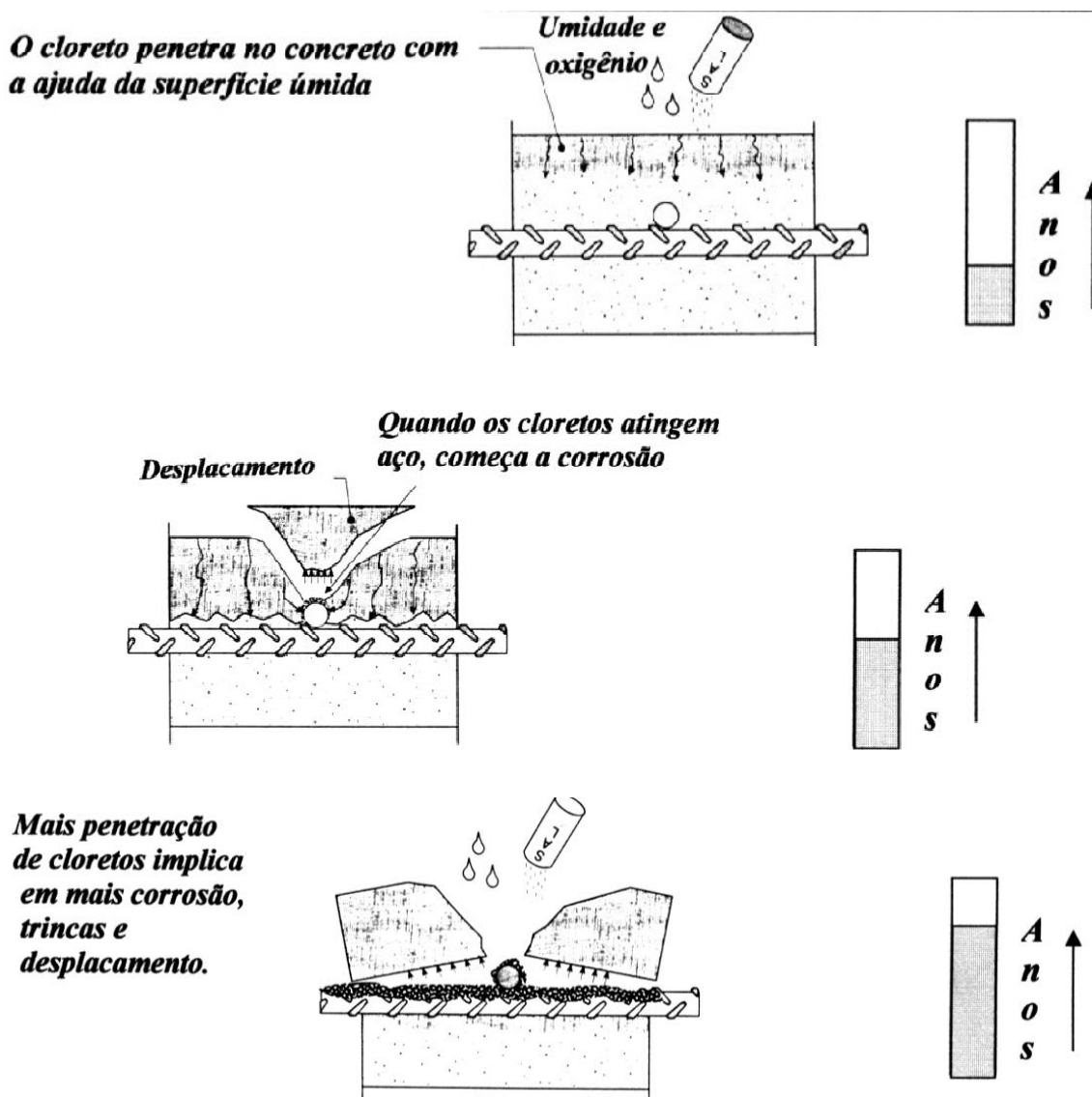


Figura 2.2.6.4 Penetração de cloretos.

Fonte: AGUIAR, 2013.

### 2.2.7. Fissuras causadas por reações eletroquímicas

As reações eletroquímicas acontecem quando há presença de um eletrólito, que está no meio aquoso presente no interior do concreto, e duas regiões com diferentes potenciais, o anodo, com menor potencial eletroquímico, e o cátodo, com maior potencial, gerado através do condutor metálico, a barra de aço, criando um efeito de pilha.

“A passagem de átomos de ferro à superfície aquosa, transformando-se em cátions ferro ( $Fe^{++}$ ), com o conseqüente abandono da barra de aço à carga negativa, instalam a diferença de potencial. (...) No caso do concreto armado, as regiões de menor concentração de  $O_2$  são as anódicas. Da combinação do cátion  $Fe^{++}$  com os ânions ( $OH$ ) resulta o hidróxido ferroso, de cor amarelada, depositado no anodo; no catodo deposita-se o hidróxido férrico, de cor avermelhada. Estes dois produtos constituem a ferrugem, evidência mais clara da corrosão do aço.” SOUZA e RIPPER, 2009.

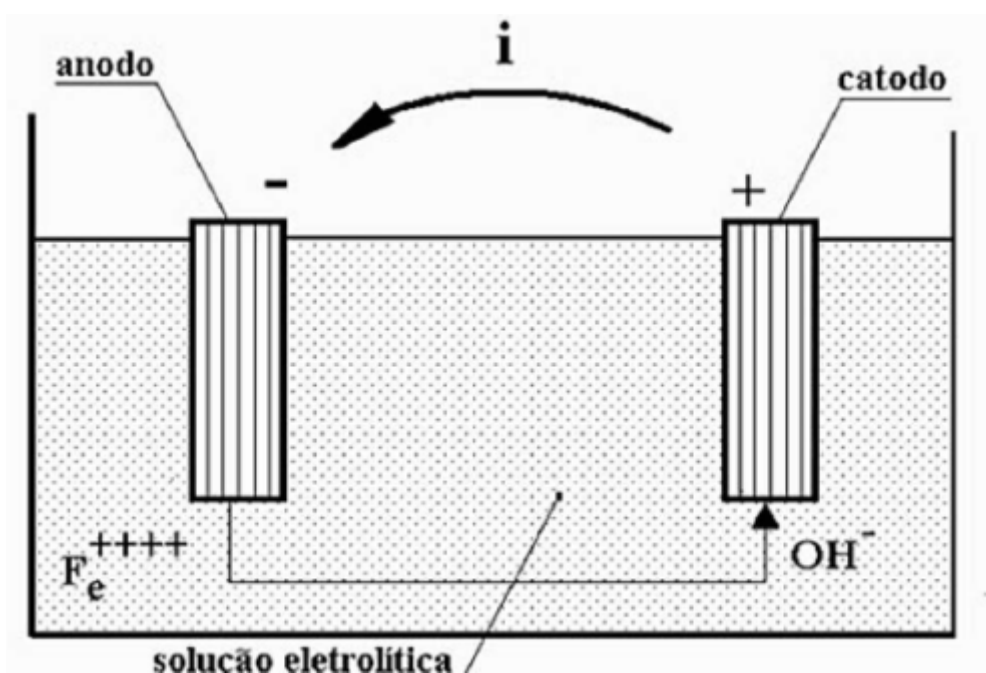


Figura 2.2.7.1 Formação de semi-pilha em meio de concreto armado

Fonte: SOUZA e RIPPER, 2009.

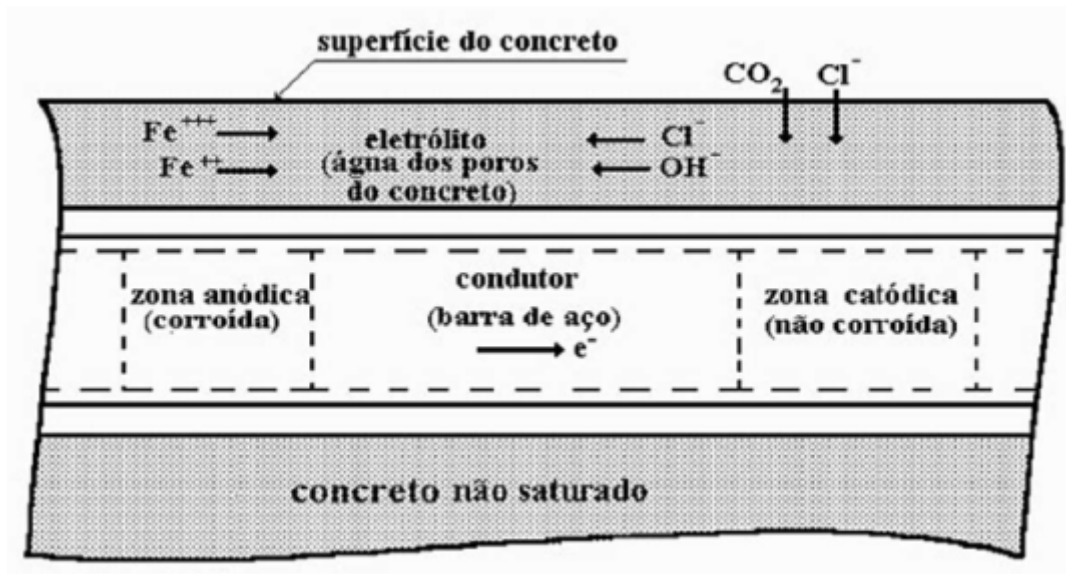


Figura 2.2.7.2 Célula de corrosão no concreto armado.

Fonte: SOUZA e RIPPER, 2009.

Em decorrência de reações eletroquímicas no concreto, as deteriorações que se evidenciam são a perda do pH do concreto, perda da passividade do aço, acesso livre aos agentes agressivos ao concreto, corrosão com perda de seção, troca de presença de aço resistente por ferrugem, perda de aderência do concreto com a armadura, fissuração, e por fim o deslocamento do concreto.



Figura 2.2.7.3 Fases da instalação do processo de corrosão em uma barra de armadura

Fonte: SOUZA, e RIPPER, 2009.

Para inibir a corrosão na armadura, podem ser instalados os inibidores de corrosão galvânicos ou orgânicos. Estes funcionam como peças de sacrifício, pois atraem a corrosão que antes estavam instaladas no aço, para a peça instalada.

### 3. DIAGNÓSTICO

Quando uma estrutura manifesta patologias que implicam que está com problemas, os sintomas apresentados pela peça devem ser analisados para que seja possível realizar um diagnóstico correto e estabelecer os materiais e os processos de recuperação desta.

Segundo SOUZA e RIPPER (2009), a análise da estrutura deve se iniciar com a classificação do meio em relação à agressividade que este se encontra. Após esta definição, deve ser feito um levantamento de dados através do rastreamento visual e do uso de aparelhos identificadores de anomalias. Somente desta forma será possível fazer uma estimativa das possíveis consequências geradas pelos danos, e tomar medidas de emergência, como o escoramento da estrutura, o alívio do carregamento, etc. Um levantamento deve ser realizado com os sintomas apresentados pela peça que incluam documentação fotográfica, medidas de deformações, avaliações de presença de agentes agressivos, presença de carbonatação, medidas de trincas, medidas de perda de seção de aço, e identificação de erros de projeto, execução, ou manutenção.

O projeto original, de modificações e ampliações, segundo SOUZA e RIPPER (2009), devem ser analisados de forma analítica para detectar possíveis erros. Devem, então ser feitos ensaios com corpos de prova, ou outros ensaios não destrutivos para analisar a tipologia e intensidade dos sistemas de deterioração e dos agentes agressivos, medições de abertura de fissuras, prumo, mapeamento de fissuras, flechas e deformações. Estudos e ensaios precisam ser definidos quanto à investigação de propriedades, resistência do concreto e características relevantes da armadura, cobrimento, etc.

Neste momento as informações coletadas devem ser analisadas para o correto entendimento da raiz do problema, compreendendo como essa se originou e se há

mais de uma causa responsável pela danificação da peça. Somente desta forma será possível descrever o diagnóstico, que apresentará se a estrutura se encontra passível a recuperação ou se esta deverá ser demolida.

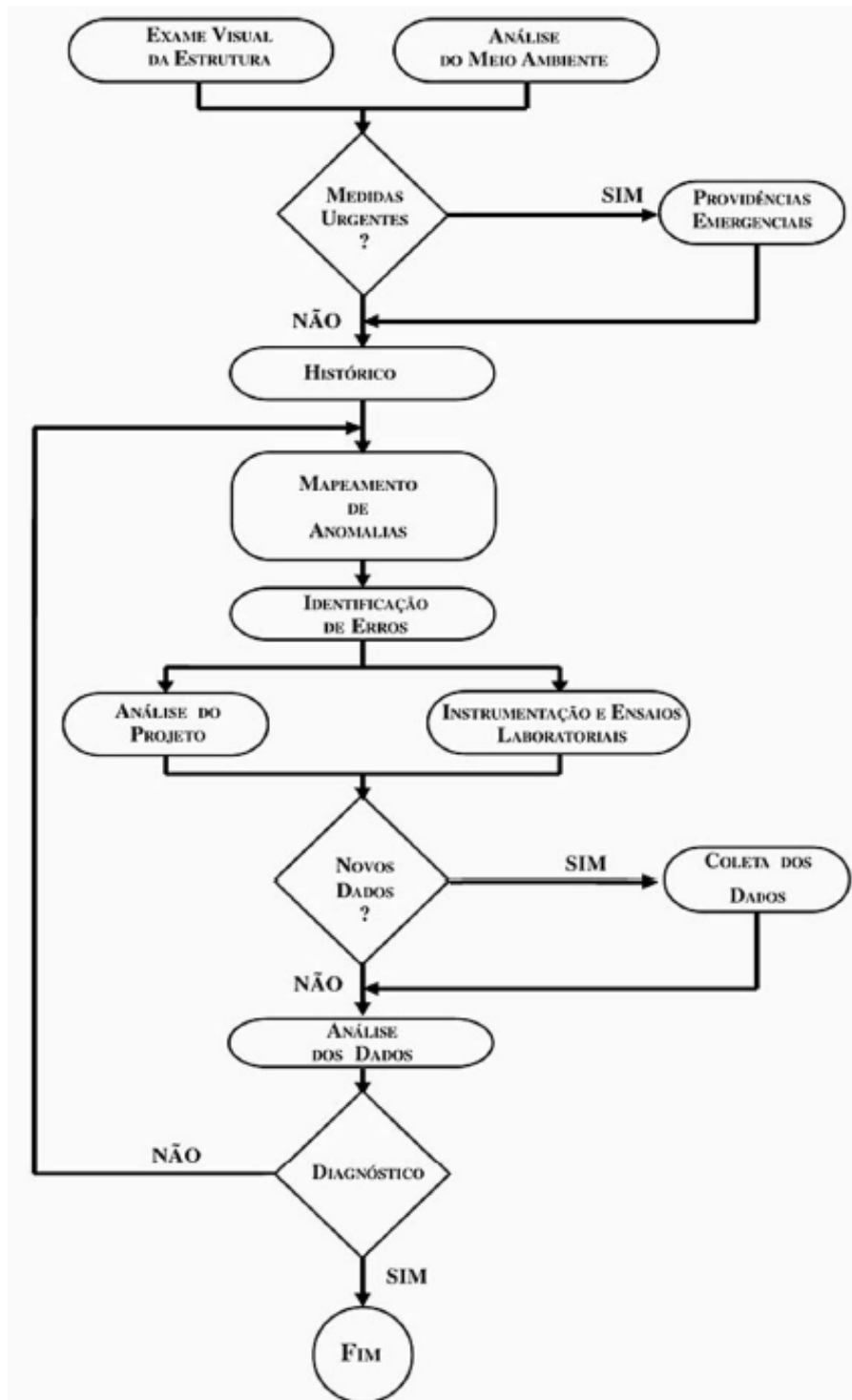


Figura 3.1 Fluxograma de diagnóstico

Fonte: SOUZA, e RIPPER, 2009.

## **4. ANÁLISE CRÍTICA RELATIVA À POSTURA MERCADOLÓGICA DE ESTUDO**

### **4.1 Processos comuns de reparação adotados pelo mercado**

Para estabelecer o processo adequado da reparação de uma estrutura, deve ser feita uma análise minuciosa da causa da deterioração, para que seja combatido não somente os sintomas da peça, mas também a raiz do problema, para evitar que a degradação retorne. Definido o diagnóstico, deve ser feita a escolha da técnica de reparo, os materiais a serem utilizados e os equipamentos necessários para reparar a área definida.

Todo trabalho de recuperação deve ser realizado após a análise de um calculista, para verificar se será necessária alguma alteração na funcionalidade da estrutura, ou se será somente um reforço simples da área degradada. Segundo SOUZA, e RIPPER, é somente a partir do cálculo que poderão ser estabelecidos elemento básico para:

- definição precisa das peças da estrutura em que será necessário proceder-se ao reforço - e a extensão desta intervenção - e daquelas em que será suficiente apenas a recuperação, entendendo-se como tal a reconstituição das características geométricas, de resistência e desempenho originais;
- determinação da capacidade resistente residual da estrutura, ou da peça estrutural e, conseqüentemente, definição do tipo, intensidade e extensão do reforço necessário;
- indicação da necessidade ou não da adoção de procedimentos de escoramento durante os trabalhos;
- avaliação do grau de segurança em que se encontra a estrutura, antes, durante e depois da execução do reforço;
- escolha da técnica executiva a utilizar;

- determinação das tarefas necessárias e das quantidades reais de trabalho a realizar, isto é, definição do custo real da empreitada, em conjunto com os elementos da inspeção técnica realizada.

Antes de identificar o tipo de material a ser utilizado no processo de reparação da estrutura, deve ser elaborado um projeto com os objetivos esperados para a obra. Para configurar os objetivos do projeto é necessário entender a perspectiva e necessidades requeridas pelo cliente, as condições do serviço, quanto à localização, facilidade de alcance da peça, as condições de aplicação do material, e as causas da deterioração.

“O melhor desempenho da reparação não pode ser alcançado a não ser por demandas que foram priorizadas, e as propriedades mais críticas para o sucesso do reparo forem especificadas.” *ACI, ICRI, 2008.*

Uma vez estabelecidas as necessidades, deve ser desenvolvida uma lista de propriedades necessárias ao projeto, como acrescer a resistência do material. Logo após deve ser listado em ordem de importância. Somente desta forma será possível escolher o material e o procedimento necessário para realizar a recuperação da estrutura.

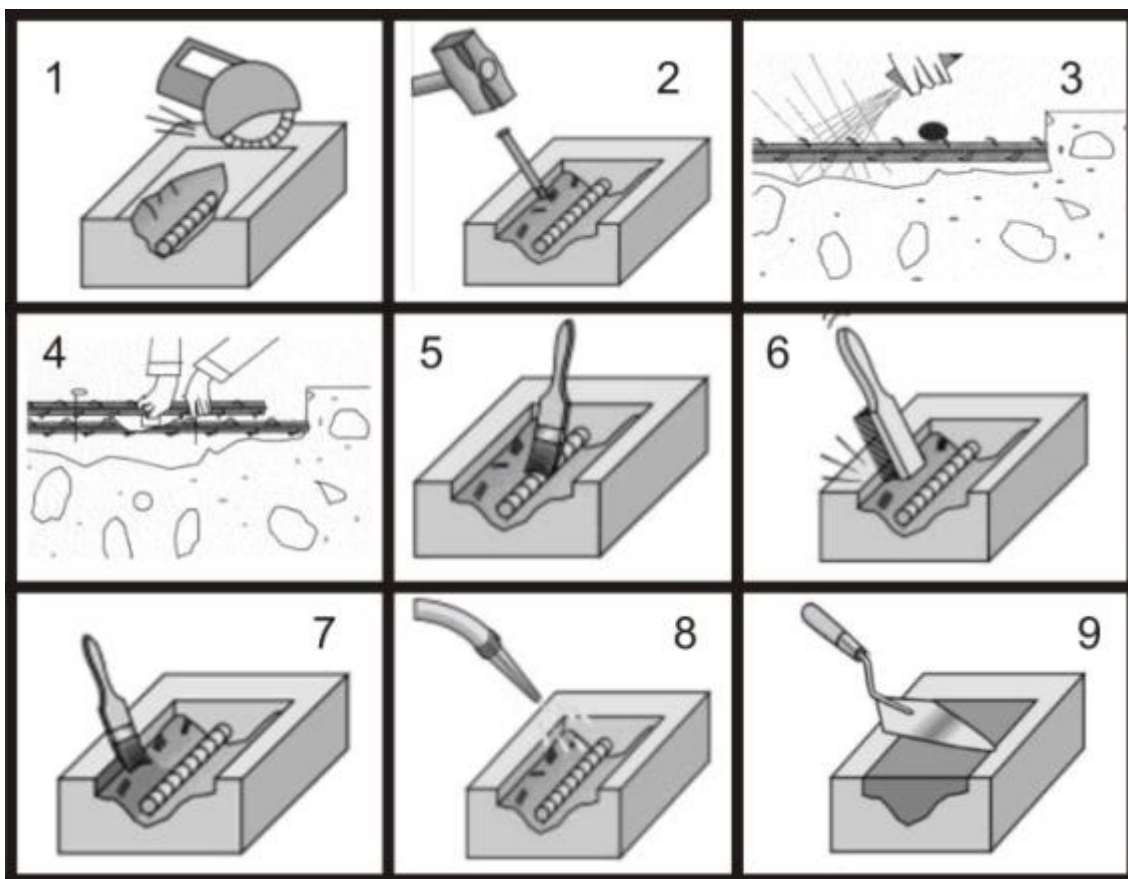


**Figura 4.1.1 Esquematização para a seleção de material e sistema**

Fonte: ACI, ICRI, 2008.

No mercado de trabalho, as metodologias de reparo de trincas nas estruturas de concreto são feitas da seguinte forma: primeiramente é realizado um ensaio visual, e de percursão para identificar a área problemática, logo depois, esta área é demarcada. Inicia-se o corte com a maquita dessa área definida, seguido do início do

processo de remoção das rebarbas do concreto deteriorado através do apicoamento (ver item 1, e 2 da figura 4.1.2). A limpeza das armaduras e do concreto deve ser realizada (ver item 3 da figura 4.1.2), e após este processo é aplicado um produto de proteção das armaduras (ver item 5 da figura 4.1.2). O complemento de armação quando necessário, é inserido na estrutura de concreto (ver item 4 da figura 4.1.2), e, então, aplica-se uma camada da ponte de aderência (ver item 7 da figura 4.1.2), podendo ser feita a saturação do substrato com água (ver item 8 da figura 4.1.2). É feita a mistura e a aplicação da argamassa de reparo, seguindo a cura da superfície (ver item 9 da figura 4.1.2). Após realizada a recuperação da estrutura, a superfície deve ser protegida com pinturas, vernizes ou revestimentos que assegurem a superfície contra agentes agressivos.

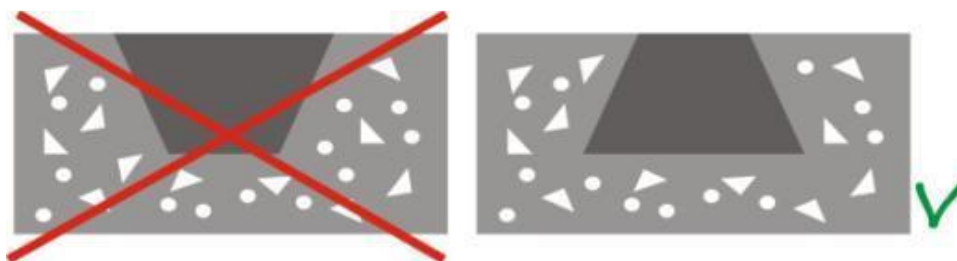


**Figura 4.1.2 Recuperação estrutural passo a passo**

Fonte: <http://www.reitec.com.br/site/atuacao-detelhe.php?cod=2>

A área degradada deve ser corretamente e minuciosamente inspecionada, através da percursão, da visão, e do tato para avaliar a rugosidade, a qualidade e a dureza do concreto. Para estabelecer os limites da demarcação para a recuperação da área degradada, existem diversos métodos que alcançam os resultados esperados de forma não destrutiva. Alguns tipos mais encontrados no mercado são: a avaliação pela ultrasonografia, que mede a velocidade que o som é transmitido e recebido no material; o tubo de Karsten, o sistema Torrent Proceg, e o sistema GWT, que medem a permeabilidade da região examinada; a esclerometria convencional e pendular, que mede a dureza do concreto, porém este método é muito superficial; a termografia, que emite imagens com colorações diferenciadas, que definem diferentes níveis de absorção de energia através da umidade encontrada no material; o GECOR que avalia o diferencial de potencial; e o CANIN, que é um medidor de resistividade através da avaliação da corrosão da armadura. Estes são alguns dos métodos de inspeção para a recuperação das estruturas de concreto.

Mediante a esta condição, é efetuado o corte com a maquina de forma a remover somente a área danificada. Não é indicado que se faça um corte angulado de 90°, pois quanto maior a remoção da área, maior a quantidade de produto para inserir no vão criado será necessária, deixando a obra mais onerosa. Entretanto, pode-se atentar para a criação de formas retentivas no concreto de forma que o novo concreto ou argamassa fique mais confinado, evitando a desagregação.



**Figura 4.1.3 Formas retentivas no concreto**

**Fonte: Autora**

Após a demarcação da área e a realização do corte com a maquina, é iniciado o processo de apicoamento do concreto, onde se retira a camada que se encontra dentro do limite demarcado para que seja feito o processo de recuperação da estrutura através da complementação com um novo preenchimento em concreto ou argamassa que fortaleça esta região. O processo de remoção dessa camada mais externa do concreto pode ser manual ou mecânica, submetendo-se ao tipo de profundidade que se deseja alcançar, e ao acabamento que seja necessário conceder à superfície.

Os equipamentos encontrados no mercado para o apicoamento manual são: ponteira, talhadeira e marreta. Os equipamentos para o apicoamento mecânico são: rebarbadores eletromecânicos, ou frestas. Os martelinhos mais pesados, e os equipamentos de forte impacto não são indicados para este processo pela possibilidade de causarem micro-fissuras no concreto. Alguns equipamentos de limpeza também podem ser utilizados para o apicoamento do concreto, porém estes deixam a superfície com um acabamento mais polido.

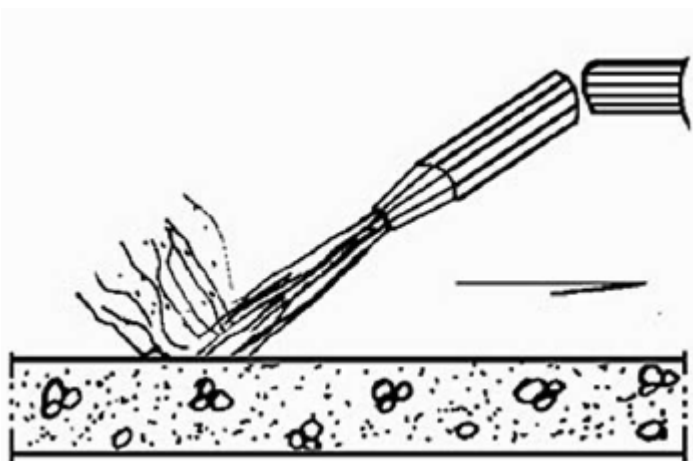
O apicoamento manual é indicado para casos onde o equipamento mecânico não alcance ou quando a área a ser reparada é pequena, pois, por ser um serviço artesanal, o rendimento é muito baixo. O procedimento deve continuar até atingir o concreto sã, não podendo chegar a profundidades que comprometam a estrutura.

Para áreas maiores, o apicoamento mecânico é o mais recomendado, pela sua eficiência na produção. Todo o material solto, semi-solto, e desagregado, deve ser removido, e posteriormente deve ser realizado o processo de limpeza da região.

A limpeza da superfície do concreto pode ser executada através da aplicação de substâncias ácidas, quando há algum resíduo impregnado, ou tinta, ferrugem, carbonato, graxa, que somente o jato de água não conseguiria remover, tendo o cuidado de molhar a superfície abundantemente antes de aplicar a solução com o ácido. O ácido mais utilizado para a limpeza geralmente é o ácido clorídrico em água,

na proporção 1:6. As soluções alcalinas podem ser substituídas pelas ácidas quando não há proximidade da área a ser limpa, com a armadura, devendo ser lavada após a limpeza abundantemente com água para não gerar a reação álcalis-agregado.

Outra possibilidade de limpeza do concreto é com o jato de água fria sob pressão controlada. Esta é uma das técnicas mais utilizadas no mercado, por ser uma técnica eficiente, pois com a utilização do bico de pato, pode-se chegar a 100m<sup>2</sup>/dia de limpeza. Quando a área está com resíduos, ou gordura de difícil remoção, pode-se utilizar o jato de água quente. O jato de água pode ser associado ao jato de areia para remover partículas soltas do concreto e para a limpeza da corrosão da armadura. O jato de areia para a limpeza do local também pode ser sucedido de jato de ar comprimido. A areia, sobre uma pressão mais alta, também pode ser utilizada para o apicoamento, removendo a camada mais externa da superfície do concreto.



**Figura 4.1.4 Limpeza do concreto com jato.**

Fonte: SOUZA, e RIPPER, 2009.

Para a limpeza e preparação de grandes áreas, utiliza-se o jato de vapor, em conjunto com um removedor biodegradável para remover impurezas orgânicas e minerais.

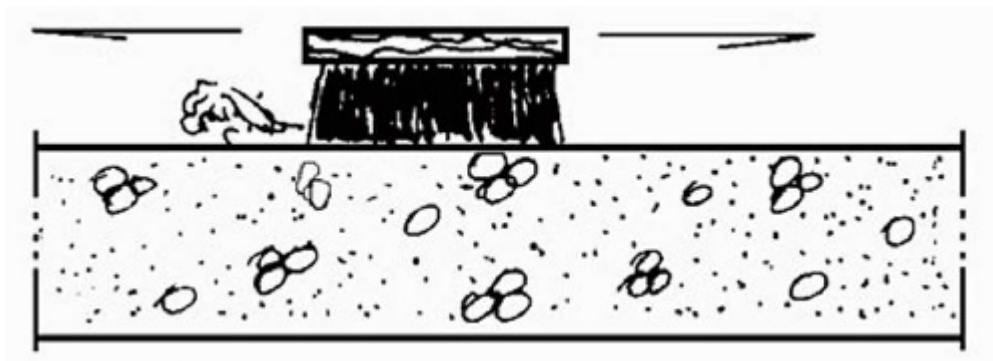
Após o apicoamento da superfície do concreto, ficam soltas muitas partículas finas. Para a remoção dessas partículas e da poeira causada pela remoção do

concreto, o método de limpeza indicado é o jato de ar comprimido. É necessário que se tome o cuidado que o aparelho possua filtro de ar e óleo, para que este não contamine o concreto com o ar sujo. O aspirador também é uma possibilidade para a remoção das impurezas soltas.

Outra opção viável que pode substituir o jato de areia é o jato de limalha de aço aplicado sobre pressão, sendo mais abrasivo, e menos poluente, abrindo os poros do concreto, e com isso deixando este mais propício a aderir à camada de recuperação. Não é indicado no caso de presença de armaduras com pequenas seções corroídas, devido ao grande desgaste provocado pelo jato.

Outro equipamento de limpeza, menos utilizado, pois requer uma mão de obra especializada e cuidados executivos, é a queima por maçarico. Este remove graxas, gorduras, manchas e outros produtos que ficaram impregnados na superfície do concreto. A queima induz a desagregação do concreto de até 5mm de espessura, por isto a armadura não pode estar a menos de 35mm de espessura da área a ser queimada. Durante a execução o maçarico não pode ficar sobre uma mesma área por muito tempo para não causar danos na estrutura.

Para a limpeza de pequenas áreas de concreto degradadas, ou para limpeza de barras de aço com evidências de corrosão, a técnica indicada é a utilização da escova com cerdas de aço. A escova deve ser utilizada freneticamente de um lado para o outro, até que seja visualizada a limpeza da superfície, e deve ser complementada com a lixa de ferro para o aço e lixa d'água para o concreto, seguida por jato de ar comprimido. A produção com a escova manual é baixa, por ser um trabalho braçal, e manual, chegando a 2m<sup>2</sup>/hora.

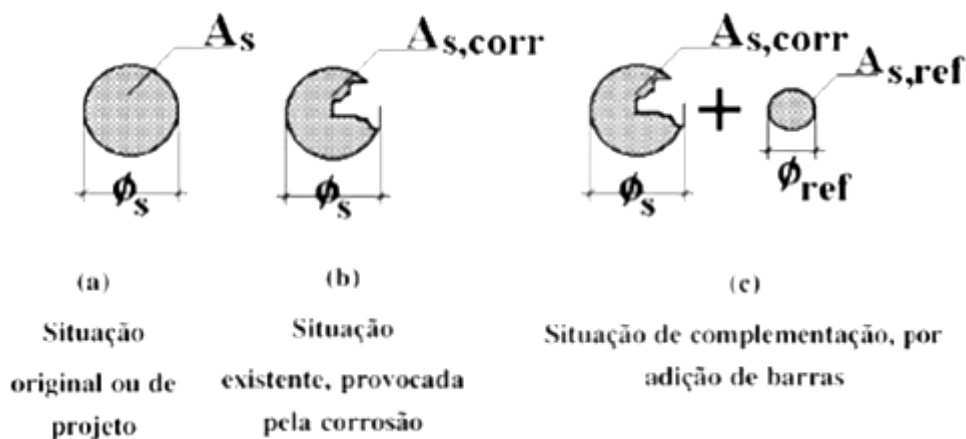


**Figura 4.1.5 Limpeza do concreto com escova manual.**

Fonte: SOUZA, e RIPPER, 2009.

A armadura, quando atingida pela deterioração, deve ser bem limpa, de forma a retirar toda a oxidação para que esta não retorne após o processo de recuperação, e impeça a elevação do pH próximo ao aço. A limpeza pode ser feita com escova de cerda metálica, jateamento de cobre ou jateamento de água.

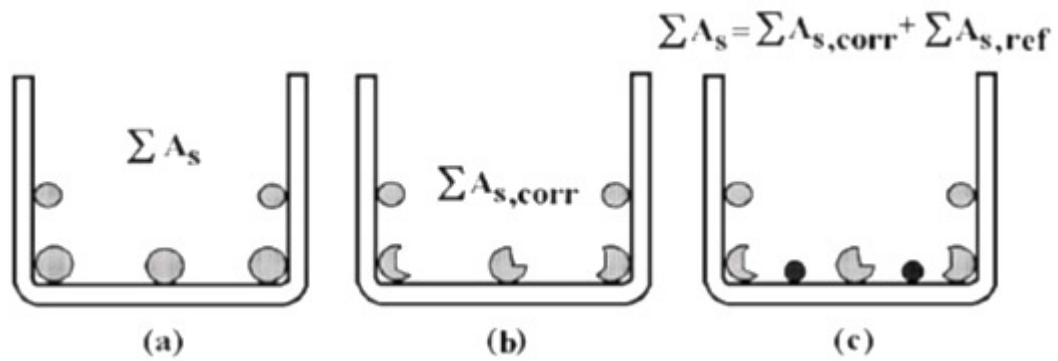
Analisando a situação da barra de aço existente, quando há redução de mais de 15% da seção transversal, segundo SOUZA, é adotada a adição de uma nova barra, cujo diâmetro seria da mesma seção da área corroída.



**Figura 4.1.6 Reposição da seção original de aço por adição de novas barras.**

Fonte: SOUZA, e RIPPER, 2009.

Em alguns casos, quando há mais de uma barra corroída no conjunto estrutural, deve-se levar em consideração que a adição de barras novas corresponderá à somatória de áreas corroídas em todas as barras.



**Figura 4.1.7 Adição de novas barras em uma viga afetada pela corrosão.**

Fonte: SOUZA, e RIPPER, 2009.

No caso de recuperação de pilares, deve ser avaliado se a adição de novas barras não está causando uma excentricidade reativa, quando há a inserção de números ímpares. Neste caso, é preciso avaliar se a barra adicional será removida, ou se serão inseridas duas barras, ou outra quantidade em números pares. A localização da emenda, no mercado de trabalho, tem sido adotada a partir do trecho sã da armadura, e não do trecho corroído, de forma que as solicitações sejam distribuídas para esta nova barra.

A emenda pode acontecer por trespasse das armaduras com ancoragem, ou quando possível, pode ser feita a soldagem das peças. Alguns casos já utilizam a transferência de cargas das armaduras através da total imersão das peças no concreto. As barras de aço devem ser passivadas, através da aplicação de um protetor contra a corrosão.

A saturação é um processo de preparação da superfície para receber o substrato a ser aplicado, de forma a garantir a aderência entre este e o concreto existente. Esta etapa poderá ou não ser executada, pois dependerá do tipo de material a ser utilizado, sendo que alguns componentes não podem ser aplicados sobre a superfície molhada. Vamos analisar, a seguir, alguns tipos de preenchimentos que podem ser utilizados na restauração de uma peça estrutural.

#### 4.1.1 *Reparo com argamassa*

A solução dos próximos procedimentos executivos estará sujeito à escolha do material a ser utilizado na reconstituição do concreto. A nova camada pode ser executada com argamassa de cimento e areia, com argamassa polimérica, com argamassa epoxídica, ou com micro-concreto.

A técnica de reparo pode ser definida pela profundidade do dano no concreto, pois, de acordo com SOUZA e RIPPER (2009), são divididos em reparos superficiais ou rasos, semi-profundos, e profundos.

“Os reparos rasos ou superficiais são aqueles cuja profundidade é inferior a 2,0 cm, sendo considerados cm pequenas áreas os que forem executados em superfícies de até 15 cm<sup>2</sup>, e em grandes áreas os demais.

Os reparos semiprofundos são aqueles cuja profundidade está entre 2,0 e 5,0 cm, normalmente atingindo as armaduras (ver Figura 3.8). Ao redor da armadura a ser substituída deve ser efetuada uma limpeza de 2,0 a 3,0 cm de profundidade.

Os reparos profundos são aqueles que atingem profundidades superiores a 5,0 cm. Para sua execução, as cavidades deverão ser cuidadosamente preparadas, removendo-se todo o concreto danificado até que o concreto sã seja atingido, quando então a superfície deve ser regularizada, mas nunca alisada, de forma a que a aderência com o material de reparo não seja prejudicada.”

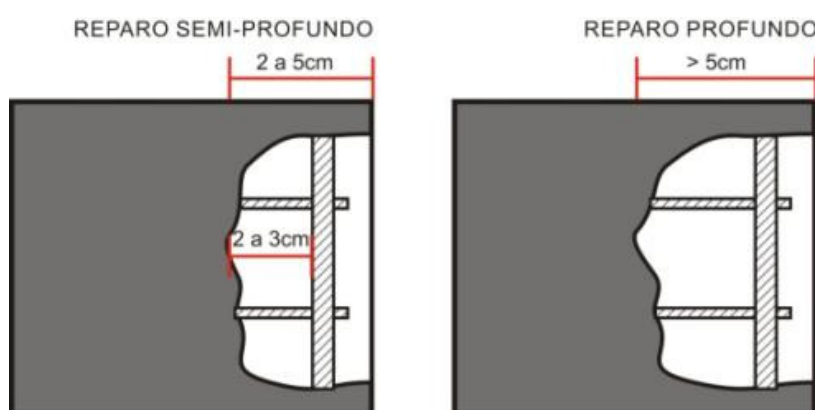


Figura 4.1.1.1 Diferentes profundidades de reparo

Fonte: Autora

A argamassa de cimento e areia é um método tradicional, e muito utilizado. Quando preparada “*in locu*”, é geralmente misturada com traço de 1:3 em volume e em fator água cimento de 0,45, com cura úmida ou química. Outra possibilidade encontrada no mercado é a utilização da argamassa industrializada.

Para o preparo da superfície que irá receber esta mistura, deve ser feita uma ponte de aderência de resina epóxica, ou um acabamento na superfície irregular e rugoso. Este material é recomendado nos casos onde a profundidade do reparo é de no mínimo 2,5cm. Em locais de área extensa, a argamassa deve ser aplicada de 1 em 1 m de largura com espessura de até 1cm, e a outra camada só pode ser aplicada se a camada anterior ainda estiver úmida

Para casos de profundidade menor que 2,5cm, são indicados a utilização da argamassa farofa, porém esta não é recomendada para grandes áreas ou locais de difícil acesso. O procedimento de execução só permite a aplicação de 1cm de espessura da camada bem assentada, e compactada com o soquete de madeira. A cura também pode ser úmida ou química.

Para o preenchimento de áreas mais extensas, com reparos semi-profundos, é indicada a argamassa convencional com adesivo PVA ou acrílicos com um traço de água cimento, e de adesivo e água de 1:3. No caso de ambientes internos e sem a presença de água, se utiliza o adesivo PVA, e em casos de presença de água, o PVA é substituído por adesivos acrílicos. Neste caso a superfície deve estar úmida e pintada com um substrato de água e adesivo de 1:1. A argamassa não pode ultrapassar a 1cm de espessura, sendo aplicada a nova camada no sistema “úmido sobre úmido”.

Para áreas de reparos profundos, o mesmo adesivo e o mesmo procedimento pode ser utilizado só que em uma argamassa farofa, como visto anteriormente. O traço do cimento areia é de 1:3, sendo que o adesivo é misturado à água da mistura

da massa, que é de 1 de adesivo para 3 de água, o suficiente para fazer uma mistura que pode ser manipulada com as mãos.

No mercado já conseguimos encontrar produtos que realizam a ponte de aderência e a proteção contra a corrosão, ao mesmo tempo, quando são utilizadas com esse tipo de argamassa. A saturação do concreto também é dispensada neste tipo de procedimento. Diante desta situação, duas etapas da restauração da peça estrutural podem ser eliminadas, ganhando tempo e produção da mão de obra.

A argamassa epoxídica é aquela que utiliza um adesivo estrutural de base epóxi, que deixam o concreto com elevadas resistências químicas e mecânicas, e possui excelente aderência entre o concreto e o aço. Esta argamassa é recomendada para injeção em trincas e fissuras, chumbamento de pés de máquinas pesadas, restauração de pisos industriais, reparos de buracos, rampas, vertedouros e fissuras rígidas, reforço de juntas de dilatação de estruturas de concreto, restauração de elementos estruturais expostos a agentes agressivos, e quando há a necessidade de uma solução com uma rápida liberação da área restaurada.

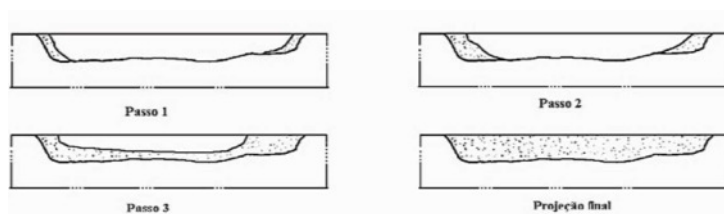
Segundo Johnson (1973), *apud* Souza e Ripper (2009) "quando se tem a necessidade de um pequeno volume de material, quando se trata de recuperar seções de espessura fina, ou quando se deve pôr em serviço a obra antes que a argamassa ou concreto normal tenha tempo de endurecer, deve-se utilizar uma argamassa tendo a resina epóxi como aglomerante. Nos demais casos, é mais econômico utilizar-se outro tipo de argamassa".

Algumas incompatibilidades são encontradas quando há a escolha da utilização deste material epóxi. São elas: o fato de ela não consegue resistir à grandes variações de temperatura; não poder ser aplicada com presença alguma de água; devem ser feitas juntas de dilatação para que não provoque fissuras devido à incompatibilidade de coeficiente de dilatação entre a argamassa epoxídica e o concreto.

Esta argamassa é indicada para pequenas áreas, por ser um material oneroso, podendo inviabilizar a obra se a área for muito grande. Esta pode ser utilizada em sua forma convencional ou seca, com traço de cimento areia de 1:2,5 ou 1:3, com diferença apenas no fator água cimento. 0,33 a 0,40 no primeiro caso e no segundo, somente o suficiente para criar uma bola com as mãos. A superfície que irá receber o material deve estar seca, rugosa e com os cantos arredondados. Neste caso, a superfície deve receber um preparador de resina, e ainda molhado, inicia-se o processo de aplicação da argamassa epoxídica.

O uso da argamassa projetada com aditivo acelerador é indicado para a restauração de grandes áreas superficiais ou semi-profundas, pois tem uma grande produtividade com uma menor quantidade da equipe envolvida no processo, resultando em uma aplicação com maior uniformidade que as outras argamassas. A superfície deve estar limpa e umedecida para receber a argamassa. O traço da mistura de cimento areia é de 1:3 a 1:4,5, e o fator água cimento de 0,35 a 0,55 adicionado ao aditivo acelerador.

A aplicação perto das armaduras deve ser levemente inclinada para o melhor alcance da região. A argamassa deve ultrapassar um pouco o limite do concreto e depois, o excesso deve ser retirado com colher de pedreiro do centro para as bordas. Toda a projeção deve ser feita dos cantos para o centro, segundo ilustra a figura:



**Figura 4.1.1.2 Argamassa projetada – procedimento de execução.**

Fonte: SOUZA, e RIPPER, 2009.

#### **4.1.2 Reparo com concreto**

Quando, para a recuperação das estruturas, é utilizado o concreto convencional, este deve ter a maior compatibilidade possível com o concreto existente, tanto para os materiais utilizados (tipo e diâmetro do agregado, tipo de areia), quanto para com a resistência. Este procedimento é indicado para casos onde a perda atravessa a seção, ou ultrapassa as armaduras da estrutura.

A recomendação é que a mistura tenha ar incorporado, uso de aditivos fluidificantes para melhorar a trabalhabilidade. O concreto pode ter adição de aditivos de adesivo epóxi, ou PVA, ou adesivo acrílico, seguindo as mesmas recomendações das argamassas com aditivos. A cura precisa de formas no caso da mistura mais fluida, e a cura deve ser úmida durante 7 dias.

A tecnologia do concreto projetado trouxe muita produtividade em obras com áreas extensas para serem recuperadas, por causa dos seus equipamentos que lançam o concreto em alta velocidade, garantindo aderência e compactação deste sem que seja necessário o uso das formas. Este pode ser lançado por via seca ou úmida, alterando o tipo de equipamento a ser utilizado. Entretanto o mais utilizado no Brasil é o concreto projetado por via seca. Também há a utilização do concreto projetado com fibras de aço, quando há a necessidade do aumento às propriedades de tração, fadiga e controle de fissuração.

#### **4.1.3 Reparo com grout**

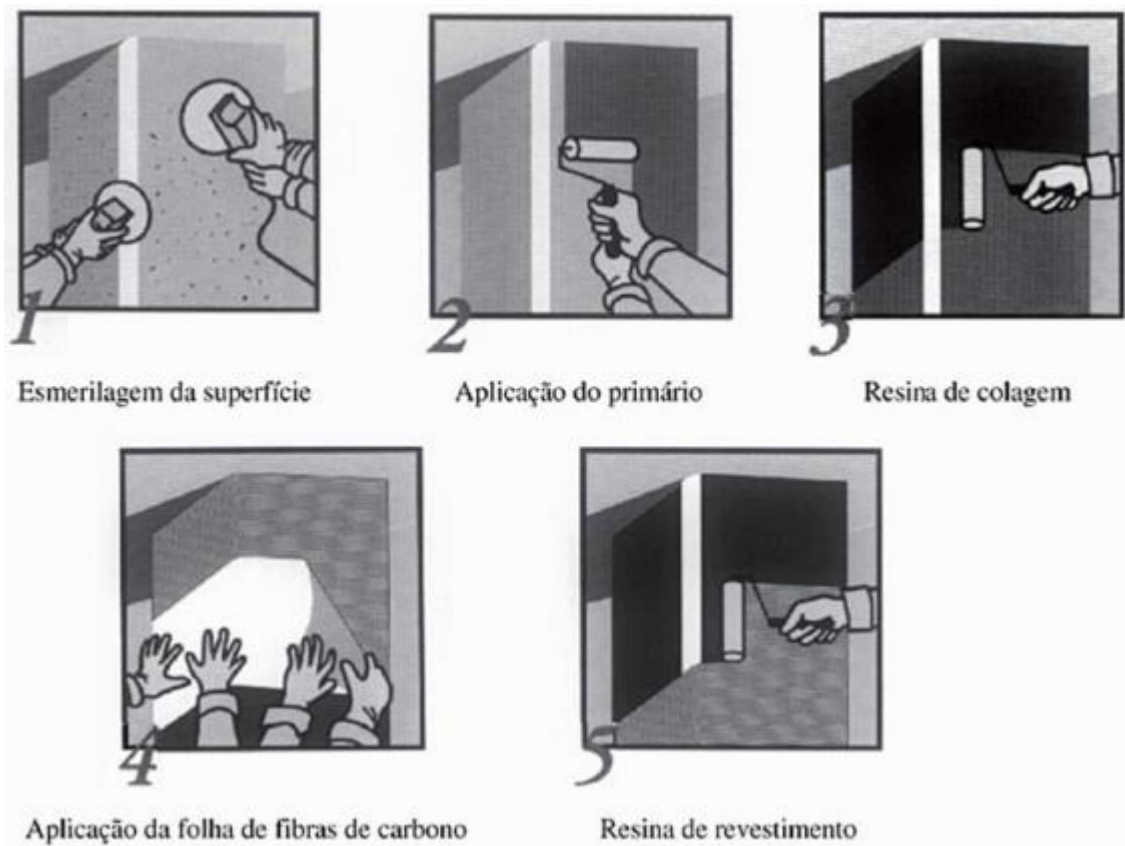
O grout é uma argamassa de grande fluidez, de retração compensada, auto nivelante, de altíssima resistência, e alta aderência ao concreto e ao aço. É geralmente aplicado em apoios de pontes, ancoragem de peças metálicas, selagem de pontes rolantes e pórticos, recuperação de estruturas, dentre outros. A grande vantagem do grout é na rápida desforma (24 horas depois), por causa de sua alta

resistência inicial. Para receber o grout, a superfície deve ser umedecida. A cura deve ser de pelo menos 3 dias.

#### ***4.1.4 Reforço com folhas flexíveis de carbono***

Para casos onde é necessário fazer um reforço estrutural, sem acrescer na área da estrutura, onde não há corrosão da armadura, são indicadas as folhas flexíveis de carbono (FRP), que é resultado de um processo de carbonização de fibras de polímeros orgânicos. As folhas apresentam elevada resistência á tração e um elevado módulo de elasticidade.

A fixação das folhas na estrutura a ser reforçada, segundo SOUZA E RIPPER (2009), deve ser feita em duas etapas. Primeiramente, a superfície precisa ser trabalhada com o processo de esmerilhagem. Neste caso, não necessita fazer o apicoamento, somente a limpeza das impurezas da superfície e a remoção da fina camada externa do concreto. Segue a aplicação de uma argamassa epoxídica, que irá reparar qualquer imperfeição da superfície. Com a cura da argamassa, é aplicado um primer para garantir a aderência das folhas de carbono com o plano. Uma hora após a aplicação do primer, a folha, já cortada do tamanho exato necessário, deve ser fixada com uma resina de colagem. Logo após é feita a aplicação final da resina de recobrimento das fibras com um rolo compressor. As outras camadas seguem a primeira sucessivamente. Caso a aplicação no mesmo instante não seja possível é permitido a aplicação das outras camadas em até uma semana, desde que seja aplicada uma camada final de resina de revestimento sobre todas as partes.



**Figura 4.1.3.1 Sistema de aplicação de folhas flexíveis (CFRP).**

Fonte: SOUZA e RIPPER, 2009.

Todos os materiais de reparo do concreto foram criados para suprir uma grande variedade de falha estrutural existente. A probabilidade de que mais de um material resolva um problema específico é muito grande. Quando isto acontece outros fatores podem ajudar a escolher o processo correto e o material a ser utilizado, como o fator do custo, a mão de obra disponível para esta obra, a segurança oferecida no local, as condições de serviço, os agentes agressivos da região.

## 4.2. Controle, fiscalização e monitoramento de trincas

As fissuras podem ser causadas por diversos fatores que envolvem a atmosfera da estrutura de concreto, seja pelo fator ambiental, seja sobre a pressão de agentes agressivos, seja por sobrecarga, seja por fatores eletroquímicos, dentre outros. Por isto deve haver um procedimento de controle, fiscalização e monitoramento das trincas para que seja possível verificar a severidade de cada uma através de uma análise criteriosa.

As fissuras precisam ser analisadas sendo passivas ou ativas, ou seja, se sofrem movimentações e atividades. As juntas ativas serão tratadas como juntas de movimentação, conforme iremos observar no item 4.2.1. As juntas passivas receberão um tratamento de selagem rígida, se forem constatados que foram formadas devido à corrosão, conforme o item 4.2.2. Para realizar a medida da abertura das fissuras existem os fissurômetros, ou medidores de fissuras.



**Figura 4.2.1 Fissurômetro**

Fonte: AGUIAR, 2013.

Outros aparelhos também são utilizados para medir, controlar e inspecionar as fissuras. O extensômetro (strain gauge) mede a deformação de um corpo, através da avaliação de sua movimentação, e pode ser do tipo elétrico, mecânico, pneumático, hidráulico e acústico. O extensômetro mecânico é muito usado na construção civil. No exemplo abaixo o aparelho está fixado em um muro de contenção em ambos os lados da trinca. A referência vermelha está no lado transparente, e o gráfico está na parte branca. Os movimentos tanto verticais, quanto horizontais foram observados com o tempo. Nesta figura, a rachadura se movimentou 0,3mm horizontalmente, sem se deslocar na vertical.



**Figura 4.2.2 Extensômetro mecânico fixado em um muro de contenção**

Fonte: [http://en.wikipedia.org/wiki/Strain\\_gauge](http://en.wikipedia.org/wiki/Strain_gauge)

Outro aparelho que também caracteriza uma trinca como ativa ou passiva, é o alongômetro, que mede a deformação de 3 pequenas barras de aço que são fixadas eqüidistantes em uma estrutura.

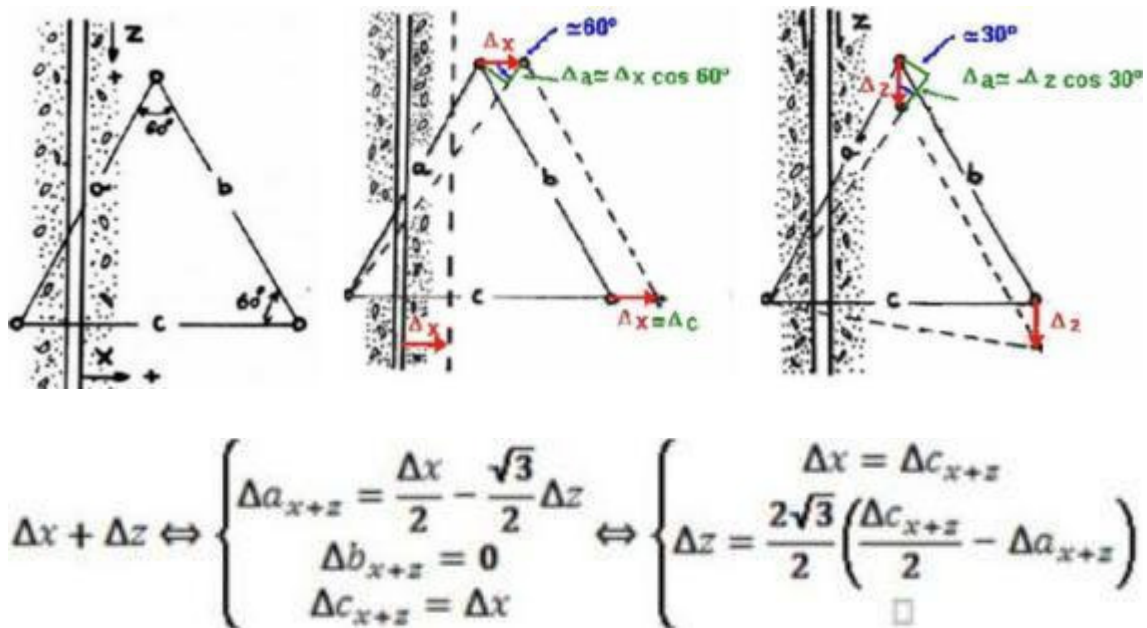


Figura 4.2.3 Cálculo da deformação através da análise da movimentação das barras de aço

Fonte: <http://reabilitacaodeedificios.dashofer.pt/?s=modulos&v=capitulo&c=12059>

Outra técnica que também pode ser utilizada de forma bem simples, é a fixação de uma lâmina de vidro entre as duas partes da fissura. Se esta lâmina se romper quer dizer que a abertura está em processo ativo. Neste mesmo raciocínio, o gesso pode ser utilizado como medidor do progresso ou estabilidade da fissura. Após a aplicação deste, se houver alguma indicação de desfragmentação do gesso, é um indicador que a peça sofre movimentação constante.

Mais um aparelho que é utilizado para avaliação estrutural é o micrômetro óptico com escala e medidor tri-ortogonal que mede a profundidade das trincas e fissuras. O clinômetro de bolha ou de cordas vibrantes e o coordenômetro são utilizados para análise de rotação e deslocamento angular. Os defletômetros mecânicos medem a deformação estática, e os defletômetros registradores de pressão variável fazem medições dinâmicas e níveis topográficos.

A vida residual de uma estrutura se define a partir de um momento em que a estrutura alcança um limite inadmissível de deterioração. Antes disto, a estrutura pode ser recuperada.

Em muitas situações a fissura pode causar um desconforto psicológico aos usuários, porém nem sempre representam um risco estrutural. Diante deste fator, foi estabelecida uma norma que procura estabelecer alguns padrões referentes às exigências de durabilidade à fissuração em função das classes de agressividade ambiental pela NBR 6118 (Projetos de estruturas de Concreto – Procedimento).

**Tabela 13.3 - Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental**

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 $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação freqüente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação freqüente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação freqüente
		ELS-D <sup>1)</sup>	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D <sup>1)</sup>	Combinação freqüente
<sup>1)</sup> A critério do projetista, o ELS-D pode ser substituído pelo ELS-DP com $a_p = 25$ mm (figura 3.1).			
<b>NOTAS</b>			
1 As definições de ELS-W, ELS-F e ELS-D encontram-se em 3.2.			
2 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.			

**Tabela 4.2.1 Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração**

Fonte: NBR 6118, 2007.

“A abertura máxima característica  $w_k$  característica das fissuras, desde que não exceda valores da ordem de 0,2mm a 0,4mm, (conforme a tabela) sob ação das combinações freqüentes, não tem importância significativa na corrosão das armaduras passivas.” NBR 6118.

Estabelecidas as características das fissuras encontradas em uma estrutura, é possível identificar qual o procedimento que será adotado para recuperar a peça, e garantir novamente uma melhoria na vida útil da composição estrutural.

#### **4.2.1 O controle das trincas ativas**

As trincas ativas são aquelas que, independente da causa (movimentações térmicas, higroscópicas, deformações, recalque de fundação, retração do cimento, etc.), se desenvolvem progressivamente com o tempo, tornando-se uma vazão que a estrutura encontrou para fazer a sua própria “junta”.



**Figura 4.2.1.1 Trincas que se formaram por falta de junta de movimentação**

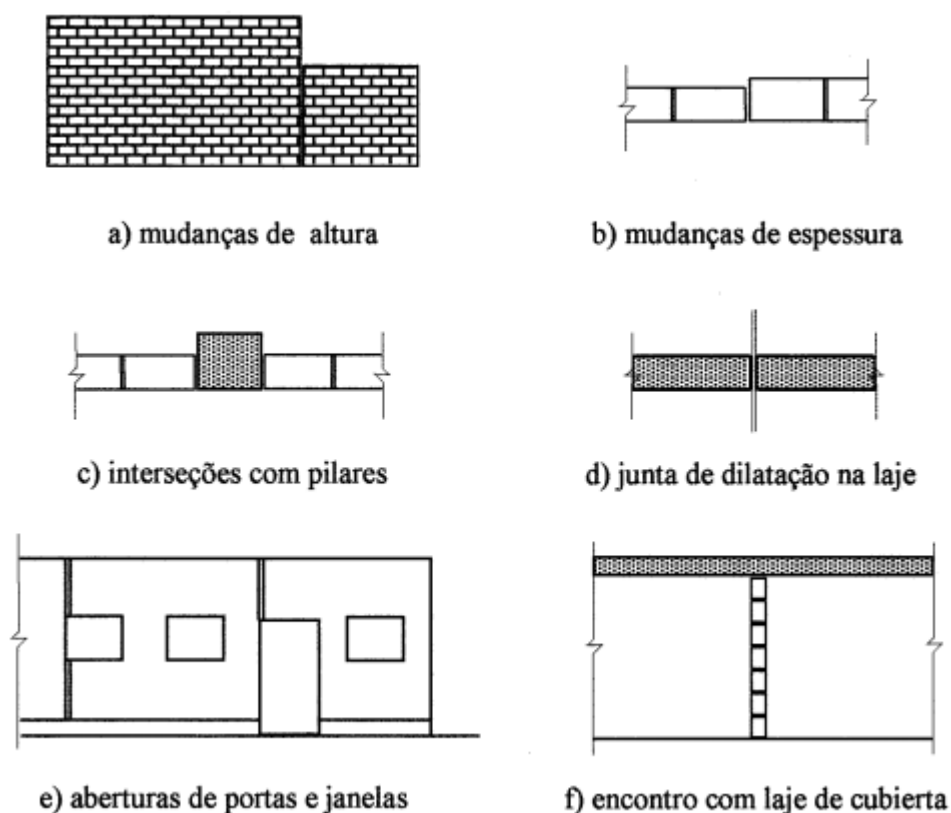
Fonte: <http://www.vivacondominio.com.br/noticias/manutencao>

Os procedimentos, já vistos, para se tratar uma fissura são:

- Identificar a localização do problema na estrutura;
- Verificar a causa da situação, identificando se está sendo submetida a agentes externos ou internos, e se está em processo de corrosão das armaduras;
- Identificar se a fissura está em progresso ou se esta se encontra estável;
- Verificar a espessura da abertura com a ajuda do fissurômetro.

- Após o monitoramento, e a identificação da amplitude de movimentação da trinca, esta deve ser contida através do cálculo e execução de juntas de movimentação.

As juntas de movimentação desempenham o papel de atenuadores de tensão, pois delimitam as dimensões de um painel de alvenaria através de pequenas frestas criadas ao longo de sua extensão. Diante desta solução, o painel pode sofrer dilatações e movimentações intrínsecas sem que haja formação de trincas e fissuras.



**Figura 4.2.1.2 Localização das juntas de movimentação**

Fonte: As Juntas de Movimentação na Alvenaria Estrutural, Vilató e Franco, 1998

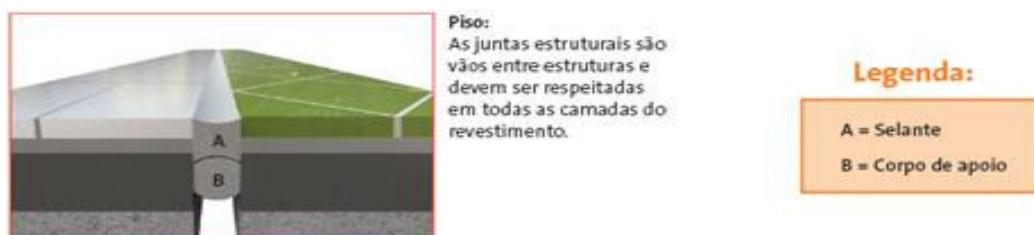
A figura 5.2.1.2 nos mostra os locais já esperados que sejam executadas as juntas de movimentação, como nas mudanças de alturas entre paredes (a), nas mudanças de espessuras (b), nas interseções com os pilares (c), junta de dilatação na laje, quando esta for muito extensa (d), nas aberturas de portas e janelas (e), e nos encontros com a laje (f).

As trincas são indicadores de que há alguma ocorrência errada na edificação. Quando estas são progressivamente instáveis, tratar a abertura com materiais rígidos será um tratamento em vão, pois, com a sua constante movimentação a mesma fissura se manifestará novamente. Podemos, então, visualizar a criação dessa junta de movimentação para a solução de um problema estrutural, já que se foi constatado, que a estrutura gerou a trinca por causa da constante movimentação que sofre.

O material a ser utilizado na execução da junta de movimentação deve ser flexível para garantir a movimentação, porém também deve garantir a estanqueidade. Diante disto, encontramos no mercado produtos industriais baseados em resinas e outros componentes que garantam a elasticidade requerida perante os deslocamentos de retração e expansão das peças, e que impeçam a infiltração de água no conjunto.

O mercado oferece uma gama de selantes com distintas propriedades, segundo a viscosidade, variação de temperatura, deformabilidade, durabilidade, velocidade de cura, aderência, resistência, como, os poliuretanos, silicones, e polissulfetos.

A largura das juntas deve ser dimensionada a partir da identificação da movimentação dos panos da fachada, e pela resiliência do material a ser utilizado. Será então efetuado o corte com a maquina com as dimensões calculadas, e preenchido com um material flexível, como, por exemplo, o tarucel, que é a espuma de polietileno expandido. O processo seguirá com a aplicação de fitas adesivas nas bordas das juntas, para que seja garantida a falta de aderência entre os materiais. Por último o selante que vedará a junta, é aplicado.



**Figura 4.2.1.3 Juntas de Movimentação**

Fonte: <http://www.weber.com.br/argamassas-para-pisos>

#### 4.2.2. O controle das fissuras passivas

As trincas passivas são aquelas que já estão estabilizadas, ou seja, não houve observação de nenhuma alteração dimensional destas. O procedimento convencional para a peça volte a funcionar como um todo, obedece às seguintes etapas:

- Executar furos ao longo da trinca, que a ultrapassem um pouco na profundidade. Os furos são executados de cinco a trinta centímetros ( $\ell=5-30\text{cm}$ ) em função da abertura da fissura. Quanto mais aberta for, maior o espaçamento. Os furos podem ser feitos à  $90^\circ$  ou à  $45^\circ$  da superfície, estando sujeito ao material e à técnica escolhida para realizar o procedimento;

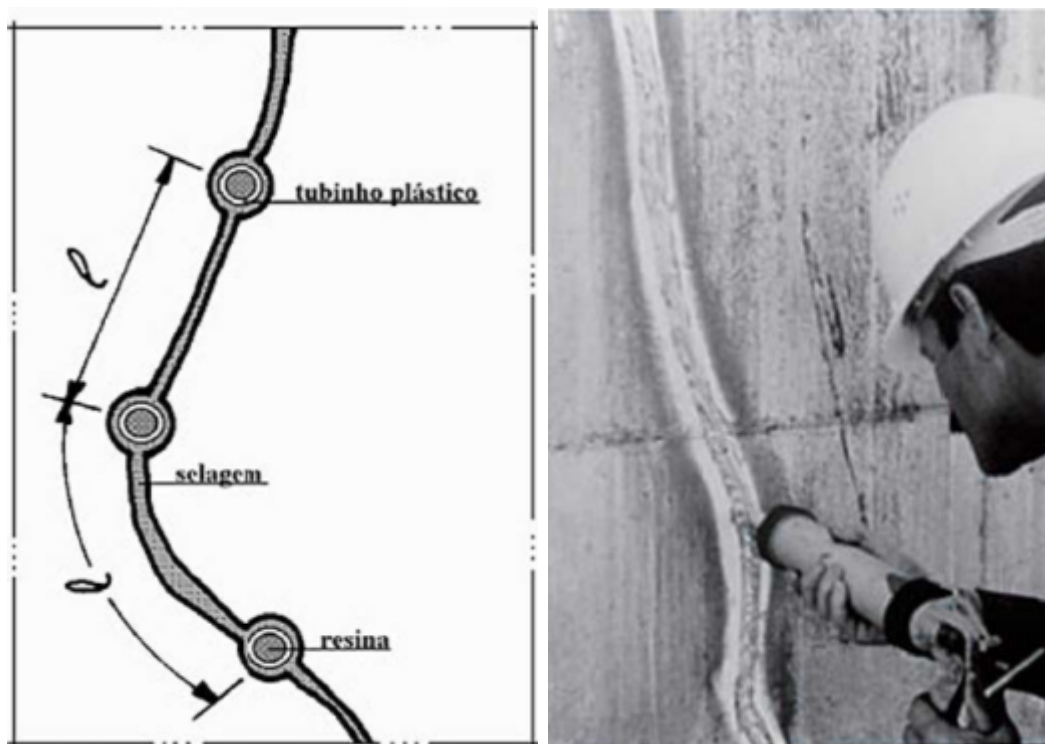
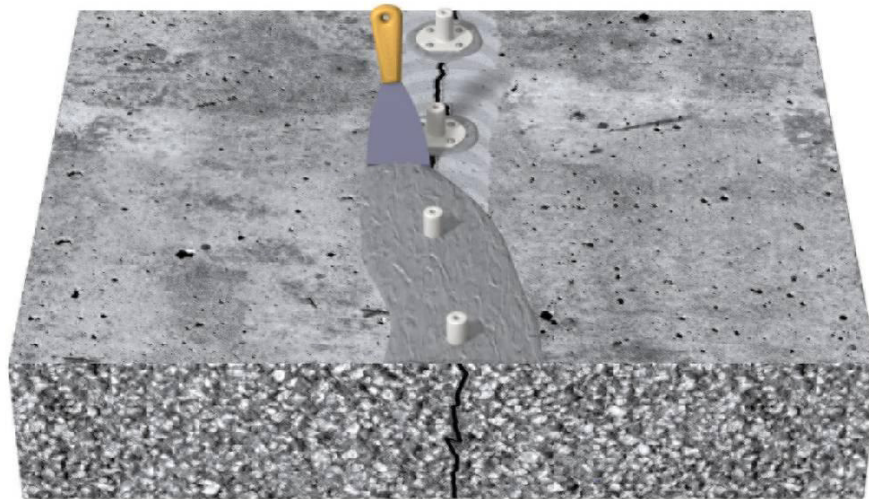


Figura 4.2.2.1 Procedimento de Injeção na fissura

Fonte: SOUZA e RIPPER, 2009.

- Realizar a limpeza da trinca de todos os contaminantes como óleos, graxas partículas soltas com jato de ar comprimido, realizando, posteriormente, a sucção das partículas soltas.

- Caso seja utilizado o jato de água para a limpeza, será necessário a execução da secagem da trinca com jato de ar;
- Realizar a selagem superficial da trinca para impedir que a injeção vazze;
- Fixar tubos plásticos finos nos furos com a ajuda do selante aplicado nos intervalos entre os furos, para que auxiliem na aplicação do material;
- Injetar a resina sintética aderente e resistente para recuperação das trincas;
- Após o procedimento da injeção, limpar a superfície tratada, e lixar o material excedente, e realizar a selagem dos furos.



**Figura 4.2.2.2 Colmatação**

Fonte: PINTO; TAKAGI (2005)

Em casos onde não é necessário um acabamento estético eficaz, e não há problemas de alcance das fissuras, o selante pode ser aplicado somente no final do procedimento. O processo de selagem é indicado com o uso de poliuretano (PU) flexível, segundo MC-Bachemie, 2009.

Para reaver a monoliticidade do conjunto afetado, são aplicadas as injeções de resinas sintéticas, com alto poder adesivo, como as acrílicas, as cimentícias, as

poliéster e as epoxídicas. No mercado, o material mais utilizado é o epóxi, variando de acordo com a necessidade de cada caso, e pela limitação do custo.

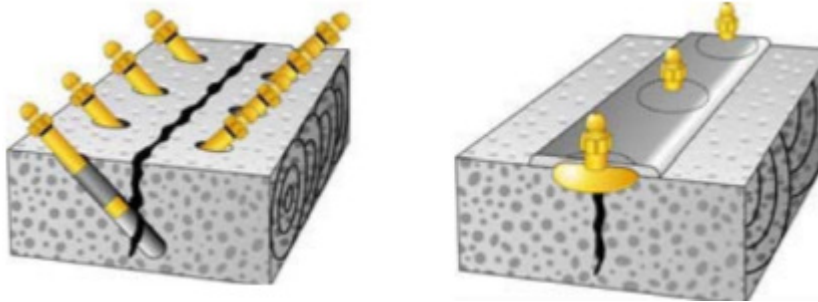
O gel acrílico é flexível (altamente elástico), impermeável, possui uma excelente aderência, grande durabilidade, e é compatível com a presença de água. Ele é composto por 80% de água e 20% de químicos. Sua aplicação se dá com o uso de cortinas de injeção, fazendo barreiras com o próprio material.

O epóxi é um material rígido, não retrátil, com altas resistências, excelente aderência, grande durabilidade, porém não resiste na presença de água. Devido à sua baixa viscosidade, permite o preenchimento de fissuras a partir de 0,1mm. É aplicado através das bombas de injeção de alta pressão ou por injetores metálicos de perfuração e adesão.

O micro-cimento é rígido, com boas resistências, excelente aderência, e tem alta insensibilidade à umidade presente no concreto. Pode ser utilizado para preencher fissuras acima de 0,6mm. São aplicadas injeções por bombas duplo diafragma de baixa pressão, com a ajuda de injetores plásticos.

O poliuretano estrutural é impermeável quando é a base de Metil-Di-Isocianatos (MDI) e polioliol, com alta durabilidade, com excelente aderência em fissuras secas e úmidas. Também se utilizam as bombas de injeção de alta pressão com o auxílio de injetores metálicos de perfuração ou adesão.

Caso seja escolhida a resina epóxi para a recuperação das trincas, mediante a possível presença de umidade existente no interior das peças, as resinas epoxídicas devem ter como característica a insensibilidade na presença de água.



**Figura 4.2.2.3 Bicos Injetores de Perfuração à esquerda e de aderência à direita**

Fonte: PINTO; TAKAGI (2005)

Mediante as considerações realizadas, verificaremos abaixo a eficiência da técnica de injeção em fissuras. Abaixo segue uma parede antes da recuperação e depois da aplicação da técnica discutida com a correta observação de que a área tinha presença de água, portanto, o material adequado foi escolhido para recuperar a região.



**Figura 4.2.2.4 Antes e Depois da Recuperação das fissuras**

Fonte: MC BAUCHEMIE (2009)



**Figura 4.2.2.5 Detalhe de Antes e Depois da Recuperação das fissuras**

Fonte: MC BAUCHEMIE (2009)

### **4.3. Trincas sob a ótica da segurança**

Conforme visto anteriormente, algumas fissuras não apresentam riscos para a estrutura, somente provocam um desconforto psicológico aos usuários. Algumas outras são tão pequenas, que demorariam anos para chegar a danificar as propriedades da estrutura. Algumas outras variam a severidade do risco em que se encontram, umas são perigosas, mas podem aguardar um tempo antes de serem recuperadas, outras já estão em um estado tão severo de lesão, que a qualquer momento podem ocasionar no rompimento das estruturas que suportam a edificação.

Quando analisamos uma estrutura danificada no conteúdo geral, entendemos que qualquer estrutura que apresente um risco, mesmo que seja baixo, é tão considerável quanto uma que apresenta um risco elevado. Por exemplo, em uma situação viária, uma simples cratera em um anel rodoviário, é tão importante ser reparada quanto uma rachadura em um pilar de uma ponte, pois ambas podem causar acidentes severos para os usuários. Porém na construção civil, existem diferentes níveis de severidade quanto à redução da durabilidade provocada pela lesão, pois enquanto uma trinca pode provocar o rompimento de um pilar instantaneamente em uma edificação, outra pode apenas atenuar o processo de corrosão, que só se fará completo em mais de 30 anos.

O poder público tem a função de recuperar todos os bens públicos que estão danificados, porém é necessário estabelecer uma primazia de serviços conforme a necessidade. Esta prioridade pode ser alcançada no momento em que classificamos as lesões pelo grau de severidade de cada estrutura.

As trincas reduzem a vida útil da estrutura quando estas passam a ser consideradas detrimentos de risco por apresentarem uma série de fatores que alterem as propriedades da estrutura, reduzindo a sua resistência, e dureza, e aumentando a

porosidade, que permite a passagem de mais agentes agressivos. Por isto, serão analisadas conforme a necessidade de recuperação e o grau de lesão em que esta se encontra. Mediante as classificações analisadas anteriormente, o quadro abaixo classifica um conjunto que sofreu danos de acordo com o risco em que este se encontra.

<b>CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO RISCO DE UMA TRINCA</b>				
<b>RISCO</b>	<b>BAIXO</b>	<b>MÉDIO</b>	<b>ALTO</b>	<b>SEVERO</b>
Abertura da fissura	$W_k < 0,1 \text{ mm}$	$0,1 \text{ mm} > W_k < 0,4 \text{ mm}$	$0,4 \text{ mm} > W_k < 1 \text{ mm}$	$W_k > 1 \text{ mm}$
pH do concreto	12,5	$12,5 < \text{pH} > 11$	$11 < \text{pH} > 9,5$	$\text{pH} < 9,5$
Perda de seção do aço	0	$0 < x > 15\%$	$15\% > x < 25\%$	$> 25\%$
Presença de agentes agressivos	NÃO	POUCO	MÉDIO	MUITO
Presença de sobrecarga	NÃO	POUCA	MÉDIA	ALTA
Variação térmica	DESCONSIDERÁVEL	$10^\circ < \Delta > 15^\circ$	$15^\circ < \Delta > 30^\circ$	$\Delta > 30^\circ$
Reação álcali-agregado	NÃO	INICIAL	FISSURAS + GEL	ROMPIMENTO
Falta de juntas	NÃO	POUCA	SIM	SIM
Acidente	NÃO	MÉDIO	GRAVE	GRAVÍSSIMO

**Tabela 4.3.1 Classificação quanto ao risco de uma trinca**

**Fonte: Autora**

A gravidade da situação de uma estrutura pode ser avaliada diante da análise das informações fornecidas pela tabela, compreendendo que cada item fala pela sua severidade. Caso sejam apresentados mais de um item de condições capacitadoras de danos, estes precisam ser analisados em conjunto, podendo alterar a sua classificação. Por exemplo, uma viga que apresente uma perda de seção do aço de 10%, porém a abertura da trinca é de 10mm, o nível de risco que esta apresenta, assume as características da pior situação, que é a severa.

Após a definição do grau de severidade em que se encontra uma trinca, é possível estabelecer uma ordem de urgência quanto à recuperação de estruturas lesadas. Dessa maneira, existe uma capacidade de listar prioridades na recuperação

primeiramente dos que apresentam um risco mais severo até os que apresentam um risco mais baixo.

URGENCIAMENTO			ESTADO OPERACIONAL		
Classe de Ações	Prazo	Tipo	Bom	Regular	Ruim
Imediata	0	0	Bom	Regular	C
Curto Prazo	No 1º ano	1			
	No 2º ano	2			
Médio Prazo	No 3º ano	3	A	B	Ruim
	No 4º ano	4			
Longo Prazo	No 5º ano	5			

**Tabela 4.3.2 Classificação para estabilidade, funcionalidade e durabilidade**

Fonte: AGUIAR, 2013.

Analisada a situação de cada conjunto danificado, é feita uma classificação quanto à qualidade de cada um de acordo com o diagnóstico gerado pela tabela 5.3.1. Deve-se então realizar um planejamento de urgência, de curto a longo prazo para a recuperação da estrutura que se encontra em um estado denegrado.

Restaurada a estrutura, é necessário manter uma supervisão constante para assegurar a qualidade da peça estrutural. Para aquelas que apresentem presença constante de agentes agressivos, como pontes construídas no mar que sofrem com ataques de cloretos e sulfatos, a supervisão deve ser realizada em intervalos mais curtos de forma a não deixar que estes agentes despassivem a armadura no interior da estrutura.

## 5. CONCLUSÃO

As trincas e fissuras causadas pela deterioração das estruturas provem de falhas de projeto ou de execução, ou na manutenção da edificação. Estas trincas e fissuras devem ser avaliadas e estudadas para entender o que causou a patologia, para que seja realizada uma correta recuperação ou reforço da peça em questão.

As patologias que são causadas muitas vezes por falhas, e que podem conseqüentemente chegar à ruptura, poderiam ser evitadas se as estruturas fossem cuidadosamente inspecionadas, e reconhecidas antecipadamente as causas que atuam sobre a estrutura há anos. Por isto é necessário que as estruturas sejam monitoradas, e avaliadas para assegurar a vida útil das peças.

Para a definição dos materiais da recuperação da estrutura, é necessário fazer uma lista de requerimentos do cliente, tempo de entrega, condições de serviço, condições de aplicação, causas da deterioração, e custo do serviço, para que através de um conjunto de fatores seja determinado o melhor meio de reaver a integridade da estrutura. Definido o material de recuperação, o procedimento deve ser seguido com os cuidados que forem necessários.

O poder público tem em seu conhecimento que muitas obras públicas precisam ser recuperadas, mas algumas precisam de um atendimento prioritário. Para que isto seja possível, é preciso criar uma lista de primazias segundo o risco em que estas estruturas apresentam para que possam ser corretamente reparadas.

Diante dessas análises é necessário compreender a importância de classificar as patologias quanto ao risco que apresentam, para que não seja colocado em risco a vida do próprio cidadão.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI, ICRI. **Concrete Repair Manual**. 3.ed. 2008

AGUIAR, JOSÉ EDUARDO DE. **Procedimentos para recuperação das estruturas de concreto**. Apresentado em 2013. Curso de especialização em Engenharia Civil. Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG, 2009

AMORIM, ANDERSON. **Durabilidade das estruturas de concreto armado aparentes**. Monografia (Pós Graduação) Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15575:2013 – Norma de Desempenho - Edificações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6118:2007 – Projeto de Estruturas de Concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, jan. 2001.

CIMENTO ITAMBÉ. Carbonatação do Concreto. Disponível em <<http://www.cimentoitambe.com.br/carbonatacao-do-concreto/>> Acesso em 18/10/2013

HELENE, PAULO R. L.. **Corrosão em armaduras para concreto armado** – 1. ed. Editora Pini, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. 1986

HELENE, PAULO; ANDRADE, JAIRO; MEDEIROS, MARCELO. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. IBRACON, 2011. Cap.22 (Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13823:2008 General principles on the design of structures for durability**. Switzerland, 2008.

LAPA, JOSÉ. **Patologia, recuperação e reparo das estruturas de concreto**. Monografia (Especialização) Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

MC-BAUCHEMIE. Sistema de Injeção. Disponível em <<http://www.mc-bauchemie.com.br/produtos/protection-technologies/sistema-de-injecao>> Acesso em 10/01/2014

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. São Paulo: Editora Pini, 1994. 2 v.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando; **Patologia das Fundações**, São Paulo, 2008

MCT/GOV. Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal. Disponível em <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0214/214061.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0214/214061.pdf)> Acesso em outubro de 2013.

MOURÃO, DALILA. **Injeção de resinas em estruturas de concreto armado**. Monografia (Pós Graduação) Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

PINTO, Jaques; TAKAGI, Emílio Minoru. Injeções flexíveis para selamento definitivo de infiltrações em túneis e estruturas enterradas. Disponível em: <[http://www.itaaites.org/cms/fileadmin/filemounts/general/pdf/ItaAssociation/ProductAndPublication/Training/TrainingCourses/SP6\\_2005.pdf](http://www.itaaites.org/cms/fileadmin/filemounts/general/pdf/ItaAssociation/ProductAndPublication/Training/TrainingCourses/SP6_2005.pdf)> Acesso em 15/01/2014.

POGGIALI, FLÁVIA S. J. **Durabilidade de Estruturas de Concreto**. Monografia (Pós-Graduação) Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

REDE REHABILITAR, **Manual de Reparo, Proteção e Reforço das Estruturas de Concreto**. PINI, 1996.

REIS, LÍLIA S. N. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. Dissertação (Pós-Graduação) Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO (SNIC). Disponível em <[http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/proclima/file/publicacoes/processos\\_industriais/portugues/snic\\_press\\_kit09.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/proclima/file/publicacoes/processos_industriais/portugues/snic_press_kit09.pdf)> Acesso em Outubro de 2013.

SILVA, ERICK A.. **Técnicas de Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto Armado**. Monografia (Graduação) Universidade Anhembí Morumbi, 2006.

SOTECNIZOL. Sika Grout. Disponível em <<http://www.sotecnisol.pt/materiais/produtos/solucoes-de-impermeabilizacao-isolamentos-e-drenagens/impermeabilizacoes/cimentos-especiais/sika-grout/sika-grout/>> Acesso em 09/01/2014.

SOUZA, VICENTE; RIPPER, THOMAZ. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Editora Pini, 1998.

TASCA, MAISSON. **Estudo da carbonatação natural de concretos com pozolanas: Monitoramento em longo prazo e análise da microestrutura**. Monografia (Mestrado) Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2012.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios**. São Paulo, 2007. (Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Instituto de Pesquisas Tecnológicas – 1989).

VALLE, JULIANA. **Patologia das alvenarias. Causa / Diagnóstico / Previsibilidade**. Monografia (Especialização) Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas, 2008

VILATÓ, ROLANDO; FRANCO, LUIZ. **Juntas de Movimentação na Alvenaria Estrutural**. Tese (Mestrado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998.

WEBER. Tipos de juntas. Disponível em <<http://www.weber.com.br/argamassas-para-pisos/ajuda-e-dicas/apoio-ao-projeto/detalhes-construtivos/tipos-de-juntas.html>> Acesso em Janeiro de 2014