

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO RIO GRANDE DO NORTE**

**DEPARTAMENTO DE ENSINO**

**GERÊNCIA EDUCACIONAL DE TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO E GESTÃO DO ESPAÇO FÍSICO SOCIAL**

**ÁREA DE CONHECIMENTO: CONSTRUÇÃO CIVIL**

***CURSO: Tecnologia da Produção Civil***

***SEMESTRE: 6º***

***DISCIPLINA: Patologia e Recuperação de Estrutura***

***PROFESSOR: Valtencir Lúcio***

*Sheyla Karolina  
Curso: Edificações  
Campus: Mossoró*



CEFET- CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO RN  
GERÊNCIA DE CONSTRUÇÃO CIVIL

NOTAS DE AULA PARA A DISCIPLINA "MANUTENÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS"

Tema 01: Generalidades sobre patologias das edificações. Conceituação de patologia, terapia e sintomas apresentados pelas edificações.

IMPORTÂNCIA DO TEMA:

- Melhoria da qualidade das construções ⇒ Exigência do consumidor.
  - ● Vida Útil adequada para as obras ⇒ Aspectos legais decorrentes.
  - ● Economia de recursos naturais e financeiros.
  - Desenvolvimento tecnológico.
  - Competitividade.
- re trabalho  
Gastar o que foi  
previsto*

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

- Aspecto legal: Código de Hamurabi:
  - i- Se um construtor faz uma casa para um homem e não a faz firme e seu colapso causa a morte do dono da casa, o construtor deverá morrer.
  - ii- Se causa a morte do filho do dono da casa, o filho do construtor deverá morrer.
  - iii- Se causa a morte de um escravo do proprietário da casa, o construtor deverá dar ao proprietário um escravo de igual valor.
  - iv- Se a propriedade for destruída, o construtor deverá restaurar o que foi destruído, por sua própria conta.
  - v- Se um construtor faz uma casa para um homem e não a faz de acordo com as especificações e uma parede cai, o construtor reconstruirá a parede por sua conta.



## VARIÁVEIS A CONSIDERAR

- Características da obra:
  - Geometria.
  - Materiais empregados.
  - Processo executivo utilizado.
  - Tempo e condições de uso.
- Fatores ambientais:
  - Sobrecarga de utilização.
  - Agressividade do meio-ambiente:
    - FÍSICA
    - QUÍMICA
    - BIOLÓGICA
- Aspectos sócio-econômicos:
  - Importância econômico-social da obra.
  - Importância ambiental da obra.



- PATOLOGIA:** *Parte da engenharia que estuda os sintomas, o mecanismo, as causas e as origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.*
- TERAPIA:** *Conjunto de ações objetivando a correção e a solução dos problemas patológicos. Para a obtenção de êxito nas medidas terapêuticas, é necessário que o estudo precedente, o DIAGNÓSTICO da questão, tenha sido bem conduzido.*
- SINTOMAS:** *Sinais, visíveis a olho-nu ou não, de manifestação de problemas patológicos, a partir dos quais se pode deduzir a qual a natureza, a origem e os mecanismos envolvidos.*
- MECANISMO:** *Processo que condiciona a ocorrência e desenvolvimento do problema patológico.*
- ORIGEM:** *Os problemas patológicos podem ter origem no projeto, na execução, nos materiais e no uso das obras.*
- CAUSAS:** *Agentes causadores dos problemas patológicos: cargas, variação na umidade ou temperatura, presença de sais,...*



CEFET-RN / GECON  
Curso Técnico de Construção Predial  
Disciplina de "Manutenção e Recuperação de Estruturas"

Prof.: Valtencir Gomes

PATOLOGIAS EM FUNDAÇÕES DE EDIFÍCIOS

**1- INTRODUÇÃO:**

As fundações são elementos construtivos da maior importância nas edificações. Portanto devem ser projetadas corretamente e executadas com o máximo rigor. A elas são atribuídas freqüentemente as causas de lesões surgidas nos prédios. Quando não são encontradas explicações para o aparecimento de trincas em paredes, a saída mais cômoda é culpar as fundações, até que se prove o contrário. Não há melhor "bode expiatório".

Para efeito do estudo das patologias das fundações vamos, por questões didáticas, dividir o capítulo em:

- Fundações Rasas.
- Fundações Profundas.

**2- FUNDAÇÕES RASAS:**

**2.1- Considerações iniciais:**

São ditas rasas as fundações projetadas pouco abaixo da superfície do terreno, para as quais não é levada em conta a resistência lateral confinante do solo. São divididas em dois grandes grupos: fundações rasas contínuas (alicerces) e isoladas (blocos e sapatas). Como apropriada denominação indica, a fundação é dita contínua quando acompanha toda a extensão da parede que sustenta. Pode ser executada em pedra, concreto ciclópico ou armado.

As fundações são ditas isoladas quando recebem as cargas das paredes através de vigas que as interligam no nível do piso (térreo). Pela dupla função que exercem, de sustentar as paredes e interligar as fundações, estas vigas são denominadas de cintas de amarração.

As fundações isoladas são construídas em concreto armado (sapata) ou concreto ciclópico (blocos). Existe também um tipo especial de fundação executada com uma laje contínua em toda a área do prédio: Radier.

**2.2- Agentes desencadeadores de defeitos nas fundações rasas:**

a) **Movimentação térmica:**

As fundações contínuas normalmente não são afetadas pelas movimentações térmicas, tendo em vista não estarem submetidas a grandes variações de temperatura na massa do terreno ( $\Delta t \approx 0$ ) e, ainda, pela reação do atrito com o terreno. Contudo, as alvenarias apoiadas sobre elas podem ser afetadas pela movimentação térmica por estarem



submetidas a variações de temperatura significativas, além de serem pouco resistentes a tensões de tração.

As fundações isoladas são afetadas indiretamente pelas movimentações térmicas que ocorrem nas cintas de amarração. Em conseqüência, as alvenarias apoiadas sobre as cintas, pouco resistentes à tração, apresentarão fissuras. Deve-se também verificar a ação do empuxo horizontal no topo do pescoço da sapata.

As fissuras provocadas pelas movimentações térmicas nas alvenarias normalmente iniciam-se em sua base, em razão das restrições que a fundação oferece ao deslocamento. Isto nos casos de fundações contínuas. Dependendo da resistência da alvenaria (do tijolo e da argamassa de assentamento) as fissuras poderão acompanhar o caminho das juntas ou mesmo desenvolverem-se verticalmente, fraturando os tijolos.

No caso das fundações isoladas as fissuras poderão ser provocadas tanto pelo alongamento das cintas como pela dilatação da própria alvenaria, que, por serem de natureza diferente, podem não coincidir.

**b) Variação brusca na carga (sobrecargas):**

As fundações rasas contínuas são as mais sensíveis às variações de sobrecargas distribuídas uniformemente sobre as mesmas. Como a largura é constante neste tipo de fundação, as tensões transmitidas ao solo variam, mesmo em terrenos homogêneos. Em conseqüência, os trechos mais carregados abaterão em relação aos vizinhos, ocorrendo fissuras nas regiões de transição que se estendem às alvenarias de tijolos.

A introdução de cinta de transição entre a fundação e a alvenaria atenua os danos nestes últimos. Naturalmente que o dimensionamento correto das larguras de fundações entre trechos com grande variação nas sobrecargas eliminaria o problema, contudo, este procedimento é fora da prática devido à sua difícil aplicabilidade.

**c) Deformabilidade excessiva das cintas:**

As cintas de grande esbeltez deformam excessivamente, fazendo com que as paredes apoiadas sobre as mesmas, pouco resistentes à tração, fissurem. A compatibilidade da deformação da cinta com a resistência à tração da alvenaria permite evitar o surgimento das referidas fissuras.

**d) Recalque do terreno:**

Quando as fundações rasas são projetadas sobre terrenos de naturezas heterogêneas ou que sofrem alteração de suas características face à ação de fatores pós-projeto, tais como a infiltração de água, rebaixamento do lençol freático, descompressão do solo, surgimento e crescimento de raízes de árvores, etc., recalcam, mesmo que estejam submetidas, em toda sua extensão, a carga uniformemente distribuída constante. A diferença de recalques em diferentes trechos produzem fissuras nas fundações, que se prolongam pelas alvenarias sobre elas apoiadas.

### **2.3- Particularidades das fundações isoladas:**

As fundações isoladas, por serem implantadas em horizontes do terreno mais profundos que as contínuas, são menos sensíveis aos fatores citados anteriormente. Por outro lado, por serem contraventadas ao nível do terreno por elementos estruturais de concreto armado, os danos das alvenarias que apóiam sobre elas ocorrem com menor freqüência. A infiltração d'água e a descompressão do terreno por cavas pouco profundas praticamente não afetam a este tipo de fundação, tendo em vista assentarem em nível abaixo do solo alterado. O fluxo dos canais de infiltração de água situa-se acima do



nível de assentamento das fundações. Nas fundações contínuas o fluxo situa-se sob as fundações.

É comum, em razão do exposto, alguns prédios atingidos por infiltrações apresentarem afundamento do piso térreo, sem que as alvenaria sofram danos. Quando o nível das cavas encontra-se acima do nível de assentamento das fundações estas não são afetadas. As alterações do terreno produzidas por rebaixamento do lençol freático ou por sua heterogeneidade, atingem tanto as fundações rasas corridas como as isoladas.

#### **2.4- Fundação Rasa: Recalques próprios da natureza do solo.**

Um dos grandes problemas da Mecânica dos Solos reside na avaliação dos recalques absolutos das fundações. Um dos processos mais precisos ainda é o da prova de carga, mesmo assim para a estimativa dos recalques imediatos.

Para a patologia das fundações interessa a avaliação dos recalques diferenciais, responsáveis que são pelo surgimento das fissuras de um modo geral. Para quantificá-los teoricamente a Mecânica dos Solos admite parâmetros elásticos, para as diversas naturezas dos solos, principalmente o módulo de deformação ( $E_s$ ) e o coeficiente de Poisson ( $\mu$ ).

Devido a fatores de ordem econômica e de disponibilidade técnica, a determinação do módulo de deformação do solo é muitas vezes estimado correlacionando-o com resultados do ensaio SPT (*Standard Penetration Test*), realizado para a maioria das obras. Também o valor de  $E_s$  pode ser determinado em função dos resultados de prova de carga.

### **3- FUNDAÇÕES PROFUNDAS:**

#### **3.1- Considerações iniciais:**

São ditas profundas as fundações projetadas muito abaixo da superfície do terreno, para as quais é levado em consideração, em sua grande maioria, a resistência confinante do solo. São geralmente divididas em dois grandes grupos: Tubulões e Estacas.

As fundações profundas são projetadas para obras de grande porte, portanto, submetidas a fortes solicitações. O estudo do recalque nesse tipo de fundação cabe a especialista no assunto. O projeto das fundações profundas deve ser sempre acompanhado de avaliações de recalque, o que não ocorre para a maioria das fundações rasas, submetidas a baixos níveis de tensão.

#### **3.2- Recalques diferenciais em fundações profundas:**

A estimativa do recalque em uma estaca é geralmente realizado utilizando-se dos resultados de prova de carga em estaca padrão, isolada. Para sua avaliação é levado em consideração o módulo de deformação do material constituinte da estaca, do módulo de deformação do solo e da geometria da seção transversal da estaca. A partir do valor do recalque da estaca padrão se realizaria a correção para o caso do solo tratado e para a situação de grupo de estacas.

Entre os agentes desencadeadores de recalques diferenciais previsíveis em fundações profundas podemos citar, entre outros:

- Fundação sobre terreno heterogêneo.
- Consolidação de aterro com altura variável.



- Diferença acentuada de carregamentos.
- Sistemas de fundações diferentes.
- Superposição do bulbo de pressões.
- Drenagem ou Saturação de camada argilosa.

Como agentes desencadeantes de recalques diferenciais imprevisíveis, podemos citar os seguintes:

- Rebaixamento de lençol freático posterior à construção do edifício.
- Descompressão do solo por execução de escavações em terrenos contíguos à edificação.
- Arrasamento do terreno por erosão.
- Abalos sísmicos.
- Vibração do solo por cravação posterior de estaca nas proximidades.

Por serem imprevisíveis, estes recalques não oferecem condições para sua avaliação e, conseqüentemente, a consideração dos seus efeitos no desenvolvimento de um projeto. E, pelo fato de não ocorrerem devido a falhas na concepção do projeto, teríamos o dano causado com origem nas eventuais alterações que se realizaram nas condições consideradas no projeto das fundações.

#### 4- CASO PARTICULAR DA RÚPTURA DO SOLO DE FUNDAÇÃO:

Sem considerar os casos onde ocorre a ruptura do próprio elemento da fundação, seja ela rasa ou profunda, os recalques diferenciais algumas vezes sinalizam a ocorrência da ruptura do próprio solo de fundação, fenômeno este que se caracteriza fundamentalmente pelo surgimento de uma superfície no interior no solo onde as tensões no mesmo superam a sua resistência ao cisalhamento. As superfícies de cisalhamento se apresentam geometricamente bastante diferenciadas para os casos das fundações rasas comparadas às profundas, embora denotem o mesmo fenômeno.

Uma diferença marcante do caso dos recalques por ruptura do solo de fundação em relação ao caso dos recalques por compactação ou adensamento dos solos é o caráter abrupto como ocorre, implicando em danos geralmente elevados e sem possibilidade de aviso.

#### 5- CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Pela importância que tem as fundações de uma edificação, principalmente aquelas de grande porte, jamais se deve executá-las sem que se conheça profundamente (literalmente) as características do solo.

Não se deve projetar fundações sem o adequado conhecimento do solo, ou seja, sem estar de posse da sondagem geotécnica, restrição feita apenas aos projetos de fundações rasas, em obras de pequeno porte, quando uma simples verificação de cava a céu aberto permite a sua identificação. A experiência profissional é de fundamental importância nestes casos.

Concluindo, é interessante salientar que, qualquer que seja a patologia das fundações, os sinais de sua presença sempre se apresentam, primeiramente, na forma de trincas nas alvenarias de vedação. O aparecimento de trincas em alvenarias é, bem comparando, a "febre do doente".



## PATOLOGIAS EM ALVENARIAS

### 1- INTRODUÇÃO:

As alvenarias são afetadas por muitos defeitos, conseqüências da má qualidade dos materiais de que são feitas (tijolos e argamassa, principalmente) e do processo inadequado de execução.

Entre estes defeitos, citaremos aqueles que mais ocorrem nas construções:

- Falha na execução.
- Eflorescência
- Criptoflorescências.
- Gelividade.
- Uso Inadequado.
- Mofo e limo.

### 2- FALHA NA EXECUÇÃO:

Dentre as falhas mais comuns, temos as seguintes:

- Paredes fora de prumo.
- Fiadas desencontradas e fora de nível.
- Juntas de assentamento muito espessas ou vazias.
- Falta de aderência do revestimento e do tijolo.
- Camada do reboco muito espessa.
- Argamassa de assentamento mal dosada.
- Alturas de construção excessivas (empenamento).

### 3- EFLORESCÊNCIA:

Denomina-se eflorescência o surgimento de formações salinas na superfície dos materiais, no nosso caso, na superfície das alvenarias. São causadas pela presença de sais de cálcio, de sódio, de potássio, de magnésio e de ferro, que normalmente fazem parte da composição dos materiais usados em construções. Os tipos mais comuns de eflorescência são os seguintes:

- Manchas de cor avermelhada ou caramelo.
- Manchas brancas, com aspecto de nuvem.
- Manchas brancas, escorridas.

### 4- CRIPTOFLORESCÊNCIA:

Como o próprio nome indica (CRIPTO = oculto + FLORESCÊNCIA = desenvolvimento), as criptoflorescências são formações salinas ocultas, ou seja, o



crescimento de sais ou cristais no interior dos materiais. Nas alvenarias, o tipo de criptoflorescência mais comum é a causada pela etringita (sal de Candlot), mas também podem ocorrer nos materiais que contenham carbonato de magnésio que comumente se encontra misturado com os materiais calcáreos (carbonato de cálcio) e em alvenarias construídas com presença de argila não cozida (barro), que expande muito quando umedecida.

#### 5- GELIVIDADE:

A gelividade é um fenômeno próprio das regiões muito frias. No Brasil, ela ocorre nos estados meridionais do país. O efeito de congelamento da água contida nos capilares e poros do material, com sua conseqüente expansão volumétrica, conduz a danos no material.

#### 6- USO INADEQUADO:

As alvenarias sofrem danos quando desvirtuadas de suas funções ou usadas inadequadamente. Entre as situações de uso inadequado de alvenarias, poderemos citar as seguintes:

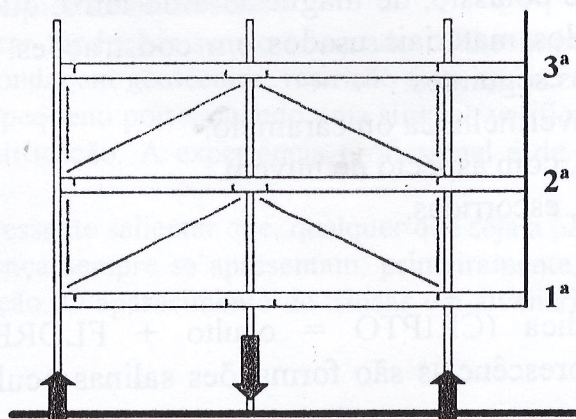
- Cargas pontuais elevadas aplicadas sobre as mesmas.
- Empuxos horizontais.
- Construções em locais permanentemente úmidos

#### 7- MOFO E LIMO:

O mofo é uma manifestação de um tipo de micro-vegetal, comumente conhecido como fungo. Os fungos são vegetais inferiores que se caracterizam por não possuírem clorofila, incapazes, portanto, de decompor as substâncias orgânicas mais complexas em substâncias mais simples em sua alimentação.

O limo não possui as mesmas características do mofo, embora também pertençam à classe dos vegetais inferiores. Na realidade são formados por agrupamento de algas. Por possuírem clorofila na sua estrutura, alimentam-se de substâncias orgânicas simples.

Obs.: Problema em alvenarias devidos a patologias de fundações.





CEFET-RN / GECON  
Curso Técnico de Construção Predial  
Disciplina de “Manutenção e Recuperação de Estruturas”

TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS

**3.1- INTRODUÇÃO:**

Antes da realização de atividades corretivas e protetoras em componentes de edificações, é necessário efetuar o diagnóstico adequado do problema.

Na maior parte dos casos, o trabalho de diagnosticar o problema é composto por duas etapas:

Vistoria prévia e Inspeção detalhada.

**3.2- VISTORIA PRÉVIA:**

Inspeção visual e exploratória cuidadosa, mapeando e localizando os problemas, coletando amostras para avaliação, registrando todos os dados disponíveis sobre a obra em documentos, contratos, diários-de-obra e informações prestadas por pessoas que trabalharam na época da construção, moradores, ...

Recomenda-se que as anomalias detectadas sejam mapeadas em croquis, e que se adote um “check list” para que itens importantes a ser observados e registrados não sejam esquecidos.

São os seguintes os instrumentos necessários para uma inspeção visual corriqueira:

- i) Papel e lápis.
- ii) Trena / Escala de aço / Paquímetro.
- iii) Escala para medida da espessura de fissuras (fissurômetro).
- iv) Lanterna / Lente / Binóculo / Máquina fotográfica (com zoom).
- v) Sacos para coleta de amostras.
- vi) Lápis marcador para todas superfícies / Giz de cera.
- vii) Marreta / Martelo com ponta.
- viii) Fio de prumo / Nível de bolha.
- ix) Frasco com fenolftaleína para aspersão.
- x) Esponja / Flanela ...

**3.3- INSPEÇÃO DETALHADA:**



Realização de ensaios destrutivos e/ou não-destrutivos, de campo e em laboratório, visando complementar os dados a serem analisados.

A análise criteriosa dos dados obtidos pela investigação e os resultados de ensaios, permitirão a identificação precisa da origem, causas e mecanismos dos problemas patológicos identificados.

### 3.4- METODOLOGIA GENÉRICA PARA A INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS CONVENCIONAIS:

A inspeção de estruturas compreende, geralmente, três etapas básicas:

- i) Levantamento de dados.
- ii) Análise.
- iii) Diagnóstico.

### 3.5- TÉCNICAS PARA INSPEÇÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO:

- Propriedades Mecânicas:
  - i. Resistência à compressão:
    1. Extração de testemunhos para ensaios de rotura à compressão em laboratório.
  - ii. Homogeneidade do concreto:
    1. Ensaio ultrassônico (*in situ*).
    2. Ensaio com esclerômetro Schimidt (*in situ*).
  - iii. Resistência à tração:
    1. Ensaio de arrancamento (*in situ*).
    2. Extração de testemunhos para ensaios de ruptura à tração indireta em laboratório.
  - iv. Resistência à flexão:
    1. Ensaio a flexão / deformação (laboratório).
    2. Provas de carga (*in situ*).
  - v. Resistência à abrasão:
    1. Ensaio de abrasão.
- Propriedades químicas:
  - i. Atividade eletroquímica:
    1. Potencial de corrosão ... Semi-célula (probabilidade de corrosão).
    2. Resistividade elétrica ... Resistência de polarização (velocidade de corrosão).
  - ii. Profundidade de carbonatação:
    1. Dissolução de fenolftaleína.
    2. Lápis indicador de pH.
  - iii. Teor de íons cloreto.



- Condições físicas:
  - i. Integridade do concreto (fissuras) ... Ultrassom
  - ii. Porosidade e volume de vazios ... Determinação da porosidade em laboratório.
  - iii. Posição e condições das armaduras ... Pacômetro.
  - iv. Permeabilidade à água ou ao ar.
  - v. Absorção capilar.
  
- Manifestações externas:
  - i. Fissuras e lascamentos ... Martelo, Fissurômetro.
  - ii. Deformações / Movimentações ... Controle de recalque, Apoio topográfico, Selos, ...
  - iii. Vazamentos ... Observações visuais, Emprego de corantes, ...
  - iv. Condições de umidade e de temperatura ... Termo-higrômetro.
  - v. Medida da perda de seção em barras ... Pacômetro..

### 3.6- CONSIDERAÇÕES FINAIS:

O diagnóstico, consistindo na última etapa do processo de identificação de patologias, só poderá ser efetuado após a conclusão das etapas de levantamento e análise de dados.

Freqüentemente tem-se que retornar à primeira etapa, pois só após algumas tentativas de diagnóstico é que se consegue saber da necessidade de coleta e análise de novos elementos.

O diagnóstico, dependendo de uma série de fatores (econômicos, técnicos, de segurança e de conforto), poderá levar o analista a conclusões diversas, inclusive, em casos extremos, a recomendar a utilização condicionada da estrutura, ou mesmo a sua demolição, já que o binômio custo-benefício pode indicar a inviabilidade de se efetuar a recuperação ou o reforço, em virtude da extensão dos danos e do elevado custo envolvido.



CEFET-RN / GECON  
Curso Técnico de Construção Predial  
Disciplina de "Manutenção e Recuperação de Estruturas"

PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

**1- INTRODUÇÃO:**

Do mesmo modo como todos os materiais, o concreto armado se deteriora com o tempo, mas sua degradação depende fundamentalmente da maneira como é preparado e executado.

Se o concreto armado é dimensionado corretamente para resistir aos esforços a que será submetido e, ainda, receber conservação adequada, sua durabilidade pode ser comparada às rochas de natureza granítica.

Contudo, é evidente que o concreto armado não resiste infinitamente à ação da intempérie, atacados que são por agentes físicos, químicos e biológicos, principalmente quando submetidos a solicitações mecânicas exageradas.

Como sabemos, uma peça estrutural dimensionada incorretamente ou mal executada será, provavelmente, destruída em relativamente pouco tempo.

São vários os agentes que interferem negativamente na durabilidade do concreto armado. A eliminação da ação destes agentes na fase de projeto, bem como a adoção de medidas inibidoras, são indispensáveis à garantia de vida longa da estrutura.

As edificações devem ser projetadas para alcançar uma determinada vida útil (edifícios: 50 anos; pontes e viadutos: 100 anos e barragens pelo menos 200 anos), independentemente de intervenções de manutenção.

Os agentes agressivos do concreto podem ser classificados pela causa ou efeito do seu ataque:

- Causa:  $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Agentes Extrínsecos (externos à estrutura).} \\ - \text{Agentes Intrínsecos.} \end{array} \right.$
- Efeito:  $\left\{ \begin{array}{l} - \text{Deformação mecânica excessiva.} \\ - \text{Corrosão do concreto.} \\ - \text{Corrosão da armadura.} \\ - \text{Defeitos congênitos.} \end{array} \right.$

**2- DEFORMAÇÃO EXCESSIVA:**

O concreto armado, por ser um material sólido, tem limites de resistência para os diversos tipos de solicitações a que é submetido. Dimensionar uma estrutura é conferir a condição de resistir às diversas solicitações (fletor, cortante, compressão, torção,...) sem apresentar defeitos, como sejam deformações excessivas ou fissuração nociva.

Para que não ocorram deformações excessivas e fissuras nocivas, a NBR 6118 (Norma Brasileira para estruturas em concreto) estabelece padrões limites para uso das estruturas, denominando de estado limite de utilização. Ou seja, é o estado em que a estrutura é considerada inadequada para uso, sem, contudo, ser condenada quanto à sua segurança.

O estudo das deformações dos elementos estruturais em concreto armado é feito para cargas em serviço, ou seja, sem serem afetadas pelos coeficientes de majoração das cargas.



11

Fechas (projeção vertical da deformação máxima de um elemento fletido) excessivas provocam nas estruturas danos consideráveis, como esmagamento das alvenarias e esquadrias, além de originar no decorrer do tempo fissuras face o seu aumento devido à deformação lenta (fluência).

### 3- FISSURAÇÃO:

#### 3.1- Considerações Iniciais:

As fissuras, em elementos estruturais em concreto, iniciam sempre onde há tração. Como vimos no estudo anterior, mesmo que a causa seja a compressão, cisalhamento ou torção, a fissuração ocorrerá por tração.

A razão é simples: Sendo a resistência à tração do concreto aproximadamente 10 vezes menor que a resistência à compressão, as fissuras surgirão nas regiões tracionadas, uma vez que uma seção totalmente comprimida produz tração perpendicular a ela antes de produzir a sua ruptura por esmagamento.

Do mesmo modo como no caso da deformação excessiva, a NBR 6118 estabelece padrões limites acima dos quais as fissuras são consideradas inaceitáveis (nocivas às estruturas). Para peças não protegidas, 0,1mm (meio agressivo) ou 0,2mm (meio não agressivo) e para peças protegidas (revestidas), 0,3mm.

#### 3.2- Tipologia das Fissuras:

As fissuras decorrentes da ação das cargas externas apresentam características próprias. Nas vigas, as fissuras se apresentam com tipologia diferenciada segundo os seguintes esforços: Flexão, Escorregamento da Armadura (falha na ancoragem), Cisalhamento e Torção.

O espaço abaixo poderá ser utilizado para a elaboração de desenhos esquemáticos representando cada caso:

FLEXÃO:	FALHA NA ANCORAGEM:
CISALHAMENTO:	TORÇÃO:

Nas lajes, as fissuras se apresentam com tipologia diferenciada principalmente segundo seguintes esforços: Flexão, Escorregamento da Armadura (falha na ancoragem), Momento envolvente (na face superior), Cisalhamento e Punção.

15



O espaço abaixo poderá ser utilizado para a elaboração de desenhos esquemáticos representando cada caso:

FLEXÃO:	FALHA NA ANCORAGEM:
CISALHAMENTO:	PUNÇÃO:
MOMENTO ENVOLVENTE:	

A fissuração nos pilares se apresentam com tipologia diferenciada principalmente segundo os casos seguintes: Flambagem do pilar, Flambagem da Armadura, Assentamento Plástico e por Esmagamento do Concreto.



O espaço abaixo poderá ser utilizado para a elaboração de desenhos esquemáticos representando cada caso:

FLAMBAGEM DO PILAR:

FLAMBAGEM DA ARMADURA:

ASSENTAMENTO PLÁSTICO:

ESMAGAMENTO DO CONCRETO:

#### 4- CORROSÃO DO CONCRETO:

Denominamos de corrosão do concreto a sua degradação devido a ação de agentes químicos, físicos ou biológicos, de forma isolada ou simultânea.

##### 4.1- Ataque Químico ao Concreto:

Como é do nosso conhecimento, o concreto é formado essencialmente pela mistura de pedra britada e areia, aglutinadas pela pasta de cimento. Tanto a brita quanto a areia, se bem escolhidos na fase de análise dos componentes, dificilmente participam das reações químicas que se desenvolvem no endurecimento do concreto. Podemos, portanto, dizer que a corrosão do agregado do concreto é rara. Uma exceção à regra seria a reação álcali-agregado. Desta forma, a fase do concreto mais susceptível ao ataque dos agentes químicos é a pasta de cimento. O estudo da fase compreendida pela pasta de cimento é, portanto, fundamental no estudo dos processos de ataque químico ao concreto.



Apesar das diferenças, os diversos tipos de cimento ao reagirem com a água formam cristais hidratados, estáveis e alguns sais, como o hidróxido de cálcio, estes menos estáveis. Mesmo possuindo composições bastante variáveis e complexas, os cimentos ao endurecerem são quimicamente muito estáveis, e, portanto, resistentes à corrosão por agentes químicos.

A corrosão química do concreto pode ocorrer durante a hidratação ou após o endurecimento do material. A corrosão ocorre durante a hidratação quando substâncias estranhas à composição básica do cimento são adicionadas à mistura, alterando a ordem das reações, dando em consequência constituintes em proporções inadequadas. É uma corrosão devastadora pelo fato de acontecer no interior da massa do concreto e de forma imediata e generalizada. Após o endurecimento, a corrosão pode ocorrer mediante o ataque por agentes externos agressivos ao concreto. O processo de corrosão é geralmente lento e progressivo, da superfície para o interior da massa. Nestes casos, a velocidade de corrosão será tanto maior quanto maiores forem as facilidades de penetração dos agentes químicos na massa do concreto. Estes agentes químicos externos podem ser classificados em:

- Substâncias orgânicas.
- Ácidos inorgânicos.
- Sais inorgânicos.
- Água.
- Aditivos.

As substâncias orgânicas, geralmente ácidas, reduzem a alcalinidade no concreto e alteram as reações normais de hidratação, podendo, inclusive, interromper o processo de hidratação do concreto. Atuam geralmente sobre as propriedades do concreto fresco.

Os ácidos inorgânicos são agentes químicos que atuam tanto sobre o concreto fresco como sobre o concreto endurecido. No ataque, reage com o cimento produzindo sais de cálcio ou de magnésio. Quando esses sais são insolúveis, se depositam nos canais capilares, obturando-os, impermeabilizando a massa do concreto. Nestes casos são excelentes para o concreto pelo fato de impedir a penetração de outros agentes agressivos.

Entre os ácidos inorgânicos nocivos ao concreto, podemos citar os seguintes: Ácidos fluorídrico (o mais agressivo, dissolve o vidro), sulfúrico (forma sulfato de cálcio, expansivo), sulfídrico (podem se oxidar transformando-se em sulfúrico), nítrico (atacam a pasta, transformam a parte calcárea e argila em sais) e carbônico (atacam a mistura calcárea do cimento, carbonatando o concreto).

Os sais inorgânicos (cloretos, sulfatos, carbonatos e sais de magnésio, principalmente) também podem consistir em agentes agressivos ao concreto. Os cloretos, além de propiciar a despassivação das armaduras em relação ao processo de corrosão eletroquímica, aceleram o tempo de pega do cimento, levando a um aumento no calor de hidratação do material o que propicia a ocorrência de fissuras. Os sulfatos interferem nas reações retardando o tempo de pega da pasta de cimento e fazem cair a resistência do material, além dos efeitos prejudiciais derivados dos processos de expansão que ocorrem devido à formação de "etringita" pelo sulfato de cálcio. Os carbonatos atuam principalmente aumentando a solubilidade do concreto à água, danificando seriamente o concreto. Os sais de magnésio dissolvem o hidróxido de cálcio formado durante as reações de pega, transformando-os em hidróxido de magnésio (composto sem coesão), tornando o concreto menos resistente.