

# **AVALIAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS DEGRADADAS DE CONCRETO ARMADO**

## **Público-alvo**

Engenheiros civis, arquitetos, estudantes do quinto ano de engenharia civil.

Ementa

## **1. Parâmetros de qualidade do concreto armado**

### **1.1 Importância do concreto armado**

### **1.2 Características e qualidade do concreto armado**

1.2.1 compacidade;

1.2.2 endurecimento (velocidade; processo)

1.2.3 cura

1.2.4 cobrimento das armaduras

1.2.5 agressividade do meio ambiente

1.2.6 aditivos e adições (uso na durabilidade do concreto): redutores de água; super-plastificantes; retardadores de pega; aceleradores de pega ( $\text{CaCl}_2$ ); impermeabilizantes; hidrofugantes; concreto bombeável; concreto projetado

### **1.3 Concreto de cimento Portland**

1.3.1 propriedades: porosidade; permeabilidade

1.3.2 tipos de cimento: RC; fcj/fc; A/C; Escolha do cimento;

1.3.3 resistência a compressão (classe); Módulo de Elasticidade

### **1.4 Estruturas internas do concreto**

1.4.1 Composição

1.4.2 Estrutura do concreto úmido – Gel de cimento

1.4.3 Estrutura da zona de transição – Retículos espaciais de gel + Poros e capilares de água + Vapor de água e ar

1.4.4 Estrutura do concreto endurecido – Cristais maiores (estringita +  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; Cristais menores (C.S.H

1.4.5 Água: Livre; Capilar (maiores); retida por tensão capilar (menores); adsorvida; quimicamente combinada

### **1.5 Generalidades sobre Durabilidade**

Diretrizes de durabilidade ABNT 6118 2014

**1.6 Critérios de Desempenho** Classe do concreto; Controle de fissuração

**1.7 Critérios de Segurança** Estados Limites; Confiabilidade

## **2. Avaliação Das Estruturas Degradadas De Concreto Armado**

### **2.1 Conceitos**

**2.1.1 Conceitos Vida Útil:** Vida útil; Vida útil de projeto; Vida útil de serviço; Vida útil última; Vida útil residual de serviço; Vida útil residual total.

**2.1.2 Conceitos Gerais:** Condições de exposição; Agentes, Degradação; Urgência de intervenção.

### **2.2 Degradação do Concreto Armado**

**2.2.1** Permeabilidade; Tipologia da estrutura; Posição da armadura; Natureza da degradação: Física (Macro, Meso e Microclima); Operacional (cultura do utilizador).

**2.2.2** Mecanismos

**2.2.3** Evolução no tempo

**2.2.4** Grau Inaceitável

### **2.3 Fatores de degradação e mecanismos de deterioração**

#### **2.3.1 Fatores Físicos:**

Gelo/Degelo: Congelamento antes e depois do endurecimento

Tensões térmicas: Mudanças volumétricas; choques térmicos

Deformação por retração: por secagem (hidráulica perda de água no concreto endurecido); plástica (perda de água no concreto úmido); térmica (calor de hidratação do cimento); por carbonatação (dissolução dos cristais de  $\text{CaCO}_3$ )

Deformação por fluência: carregamento contínuo (elástica; plástica; viscosa)

Desgaste por abrasão; Erosão; Cavitação

Efeito de altas temperaturas: 200°C reduz RC 5% ; 300°C reduz RC 10% ; 600°C reduz RC 50% ; 300°C reduz MD 20% ; 600°C reduz RT 100%

#### **2.3.2 Fatores Mecânicos:**

Choques; Impactos; Recalques

#### **2.3.3 Fatores Químicos**

Chuvas ácidas: Áreas Industriais; Florestas Tropicais; Penetração (difusão; pressão hidrostática; forças capilares)

Corrosão: Eletroquímica (expansão do aço e perda de aderência)

Troca de cátions (sais solúveis de cálcio e magnésio)

Eflorescência: hidrólise e lixiviação

Ataque por sulfatos: Sulfatos solúveis causam expansão

Reação álcali-agregado: Reações expansivas (estringita + álcalis do cimento)

Água pura: subterrânea contém cloretos, sulfatos e bicarbonatos

Ataque por ácidos: CO<sub>2</sub>; SO<sub>2</sub>

Água do mar: causa a corrosão do aço por íons cloretos e do concreto p/sulfatos

Carbonatação: da origem a compostos com pH mais baixo

Ca(OH)<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> (pH 13,5) = (pH 9,4) CaCO<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O (pH 13,2 8000 ppm ions Cl<sup>-</sup>)

Cloretos: Íons com alto potencial corrosivo (pH 11,6 71 ppm ions Cl<sup>-</sup>)

**2.3.4 Bio-deterioração:** ação de microrganismos (algas, fungos e bactérias)

Física ou mecânica: ações deletérias pelo crescimento ou locomoção

Estética: manchas, mudança de cor

Química assimilatória: nutrientes – déficit de compostos

Química não assimilatória: produtos metabólicos prejudiciais a integridade

**2.3.5 Causas Eletroquímicas:** (natureza do eletrólito; oxigênio; resistividade)

Corrosão generalizada: perda de passivação (carbonatação; íons cloreto)

Corrosão localizada: pites de íons cloreto localizados

Corrosão sob tensão: concreto protendido ou pretendido

Corrosão galvânica: diferentes tipos de metais no mesmo meio

## **2.4 Condições de Exposição**

2.4.1 Risco de deterioração da estrutura

2.4.2 Grau de ataque CEB 1983 N.162

2.4.3 Características e quantidade de agentes agressivos

2.4.4 Tipos de exposição

2.4.5 Classes de agressividade ambiental NBR 6118/2014

## **2.5 Avaliação de estruturas degradadas - Parte I**

2.5.1 Conceitos de vida útil

Modelo teórico

Vida útil de projeto – Iniciação da corrosão

Categorias de vida útil de projeto

Critérios de vida útil de projeto

2.5.6 Parâmetros para avaliação da vida útil

2.5.7 Inspeção e escolha das técnicas de investigação

2.5.8 Ensaios de caracterização

2.5.9 Avaliação da estrutura

2.5.10 Escolha racional das técnicas de intervenção

## **2.6 Avaliação das estruturas degradadas - Parte II**

2.6.1 Escolha racional das técnicas de inspeção e avaliação (geométrica; pacométria; gamagrafia; ultrassom)

2.6.2 Vida útil de serviço: propagação

2.6.3 Parâmetros para avaliação da vida útil residual

2.6.4 Metodologias de avaliação, Softwares

2.6.5 Vida útil residual e urgência de intervenção

## **2.7 Escolha da metodologia de avaliação (com auxílio de software)**

2.7.1 Método Determinista (experiências anteriores)

Dados dos materiais e ambiente: ( $F_{ck}$ ; Tipo de cimento; Cobrimento; %CO<sub>2</sub>)

2.7.2 – Método Probabilista

Dados dos materiais e ambiente: ( $F_{ck}$ ; Tipo de cimento; Cobrimento; %CO<sub>2</sub>)

Durabilidade: CV Carbonatação (%); CV Cobrimento (%); Probabilidade de despassivação (%)

2.7.3 2a Lei de Fick – Penetração de Íons Cloreto (-CL)

2.7.4 Método com base em ensaios acelerados

2.7.5 Outros: Análise estrutural com rigidez degradada

## **3. Diagnosticando as Patologias das Estruturas de C.A.**

### **3.1 Considerações iniciais:**

3.1.1 Interações no concreto armado

3.1.2 Origem das patologias

3.1.3 Divisão segundo a origem das patologias

3.1.4 Causa (etapas do processo)

3.1.5 Conceitos

3.1.6 A importância da manutenção predial

3.1.7 Legislação aplicada: Código civil; Código do consumidor.

### **3.2 Manifestação Patológica**

3.2.1 Detectada pelo usuário

3.2.2 Inspeções periódicas

### **3.3 Vistoria no local**

Análise preliminar das manifestações: Concreto; armadura, dinâmica, geometria; durabilidade.

Metodologias

Urgência de escoramento e intervenções

### **3.4 Informações Orais e Formalizadas**

3.4.1 Informações Orais

3.4.2 Informações Formalizadas

### **3.5 Exames complementares**

3.5.1 Exames em laboratório

3.5.2 Exames in locu: Destrutivos, semi destrutivos e não destrutivos

3.5.3 Pesquisas

3.5.4 Diagnóstico

3.5.5 Prognóstico e Alternativas de intervenção

3.5.6 Definição da conduta a ser seguida

3.5.7 Avaliação da intervenção e registro do caso

### **3.6 Patologias do Concreto Armado**

3.6.1 Ações físicas;

Deformações excessivas: fluência; flexão composta; torção

Impacto

Corrosão física do concreto

3.6.2 Desgaste Superficial (abrasão, erosão, cavitação)

3.6.3 Fissuração em pilares, vigas e lajes

Porque o concreto fissura

Principais causas das trincas e fissuras

Trincas e fissuras ativas e passivas

Informações sobre a fissura e o produto aplicado

Fissuras de retração

Por troca de umidade e temperatura

Em vigas por flexão; cisalhamento; deficiência de armação

Fissuras por carga direta

Em lajes

Em pilares

Fissuras por deformações impostas

Aparecimento de fissuras por idade

Classificação de fissuras intrínsecas e localização

3.6.4 Reações por troca de cation

3.6.5 Reação álcali-agregado

3.6.6 Ações químicas; corrosão das armaduras

Mecanismos de despassivação:

Frente de carbonatação;  
Resistividade Elétrica;  
Corrosão das armaduras: Tipos  
Ph, Pilhas eletrolíticas;  
Penetração de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>  
Penetração de Íons CL<sup>-</sup> e SO<sub>4</sub>  
Potencial de corrosão: Mapeamento

### 3.6.7 – Processos de corrosão - manifestações

Em vigas  
Em lajes  
Em pilares  
Em galerias

### 3.6.8 – Falhas do processo construtivo

Falhas de concretagem

### 3.6.9 - Outros mecanismos de degradação

3.6.9.1 – Patologias típicas de falha no processo construtivo

3.6.9.2 – Ações sísmicas

3.6.9.3 – Dimensionamento de Juntas

3.6.9.4 – Corrosão biológica do concreto

3.6.9.5 – Defeitos congênitos Escorregamento

## **3.7 Prevenção**

3.8.1 4C – Cobrimento; Composição; Compactação e Cura

3.8.2 Conceito sobre extensão da vida útil

3.8.3 Soluções para aumentar a vida útil

3.8.4 Inibidores da corrosão: (tintas à base de zinco; pastilhas; malhas, bastões)

Manual do usuário

## **4. Recuperação das estruturas degradadas de C.A.**

4.1 Introdução

4.2 Conceitos sobre defeitos

4.3 Conceitos sobre sistemas de reparo

4.4 Classificação dos reparos

### **4.5 Recuperação e Reforço**

4.6 Divisão dos sistemas de reparo - problemas de corrosão

4.7 Divisão dos sistemas de reparo - conforme a forma de atuação

- 4.8 Etapas do serviço de avaliação e recuperação
- 4.9 Estimativa da capacidade resistente residual das peças; Projeto de recuperação e reforço – Abrangência da intervenção
  
- 4.10 **Recuperação** em pilares com segregação na base
- 4.11 Recuperação de pilares semidestruídos por incêndio
- 4.12 Recuperação estrutural – Procedimento pilares
- 4.13 Recuperação estrutural – Procedimento vigas
- 4.14 Recuperação estrutural – Materiais
- 4.15 Recuperação estrutural – Etapas
  
- 4.16 Recuperação estrutural – **Reforço**
- 4.17 Tipos de Reforços
- 4.18 Utilização de pré-moldados como reforço
- 4.19 Utilização da protensão como reforço
- 4.20 Adição de seção em pilares de concreto armado, erro de locação
- 4.21 Adição de armadura em elementos estruturais e concreto projetado
- 4.22 Aumento de capacidade de carga – Chapas de aço/perfis
- 4.23 Reforço com chapas de aço coladas
- 4.24 Aumento de capacidade de carga - Materiais compósitos
- 4.25 Encamisamento com CAD
- 4.26 Reforço com manta de fibra de carbono MFC
  
- 4.27 **Reparos** no concreto – Projeto
- 4.28 Reparos no concreto - Procedimentos
  - 4.28.1 – Caso 1
  - 4.28.2 – Caso 2
  - 4.28.3 – Caso 3
- 4.29 Reparos em áreas com eflorescência
  
- 4.30 **Tratamento** de elementos deteriorados por ações físicas
- 4.31 Tratamento de elementos deteriorados pelo fogo
- 4.32 Tratamento de elementos deteriorados por ações químicas
- 4.33 Tratamento de elementos deteriorados por reações expansivas
- 4.34 Tratamento da corrosão da armadura do concreto
- 4.35 Tratamento da corrosão do concreto
- 4.36 Tratamento da corrosão do concreto – Remoções
  
- 4.37 Destinos da obra
- 4.38 Materiais & Técnicas

## Objetivos

**Principal:** Como avaliar, orçar, planejar e executar a recuperação das estruturas de concreto armado.

### Específicos:

- Elaborar e/ou analisar os principais aspectos relacionados à recuperação e reforço das estruturas, tais como: tipos de materiais e suas propriedades.
- Apresentar os principais aspectos relacionados à recuperação e reforço, tais como procedimentos, sistemas e técnicas de execução, permitindo o atendimento das necessidades no aspecto de formação e organização do conhecimento, tanto de iniciantes no assunto, quanto dos profissionais que já atuam na área.
- Capacitar os profissionais a avaliar, orçar, planejar e recuperar estruturas de acordo com os procedimentos padronizados pelas normas.

### **Carga Horária:**

48 horas aula