

## **Monografia**

**“CONCRETO ARMADO: UM ESTUDO SOBRE O  
PROCESSO HISTÓRICO, CARACTERÍSTICAS,  
DURABILIDADE, PROTEÇÃO E RECUPERAÇÃO  
DE SUAS ESTRUTURAS.”**

Autor: Bruno Souza Oliveira Andrade  
Orientador: Professor Orientador: Antônio Neves de Carvalho Júnior

Rio de Janeiro(RJ)  
2016

BRUNO SOUZA OLIVEIRA ANDRADE

**“CONCRETO ARMADO: UM ESTUDO SOBRE O  
PROCESSO HISTÓRICO, CARACTERÍSTICAS,  
DURABILIDADE, PROTEÇÃO E RECUPERAÇÃO  
DE SUAS ESTRUTURAS.”**

Monografia apresentada a Universidade Federal de Minas Gerais – Escola de Engenharia, do Curso de Especialização em Construção Civil - Ênfase: Tecnologia e produtividade das construções, como requisito final de avaliação para a obtenção do título de especialista.

Professor Orientador: Antônio Neves de Carvalho Júnior

Rio de Janeiro(RJ)  
2016

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha família pelo apoio constante, a Natália pela compreensão, ao meu irmão Renan que mesmo distante me dá total apoio e em especial aos meus pais José Fernando e Stela, por toda atenção, carinho e dedicação.

## **AGRADECIMENTOS**

A todos aqueles que de alguma forma me apoiaram participaram direta ou indiretamente da minha jornada até aqui.

## RESUMO

Este estudo relacionou os diferentes tipos de concretos existentes, os materiais adicionais que o compõe, os agregados e as condições de sua durabilidade. E tem como foco principal, relatar os materiais adicionais que o compõe, os agregados e as condições de sua durabilidade. Apontamos também as prováveis causas de deterioração que podem ocorrer de acordo com as condições adversas nas estruturas construídas em concreto armado aparente , além de destacar , segundo o referencial teórico estudado, as formas de manutenção, conservação e recuperação do concreto, apresentando algumas técnicas eletroquímicas sofisticadas para reabilitação de estruturas de concreto, como a realcalinização e a dessalinização, ainda sem utilização no Brasil. Como opção metodológica, o estudo contou de uma revisão bibliográfica em anais eletrônicos e publicações periódicas , com fichamentos e destaque dos fatores relevantes, resultando assim, na sistematização das práticas dos profissionais da construção para a relevância da manutenção, maximizando a vida útil das estruturas e mantendo a confiabilidade e preferências de utilização.

**Palavras-Chave:** Concreto, conservação, manutenção, patologias, recuperação.

## RESUME

This study lists the different types of concrete, additional materials that compose it, households and the conditions of its durability. And its main focus, report the additional materials that compose it, households and the conditions of its durability. We also point out the probable causes of deterioration that may occur under adverse conditions in structures built in exposed reinforced concrete, in addition to highlighting, according to the theoretical framework studied forms of maintenance, conservation and restoration of concrete, with some technical electrochemical sophisticated for rehabilitation of concrete structures, such as desalination and realkalisation, not yet used in Brazil. As a methodological option, the study included a literature review in electronic proceedings and periodicals, fichamentos and highlight the relevant factors, thus resulting in systematic practices of construction professionals for the importance of maintenance, maximizing the service life of structures and maintaining the reliability and user preferences.

Keywords: Concrete, conservation, maintenance, disease, recovery.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
<b>Capítulo 1 – Histórico do Concreto Armado</b>	<b>13</b>
<b>Capítulo 2- Fundamentos Teóricos – Conceitos, Composição e Características</b>	<b>17</b>
2.1 – Conceitos	17
2.2 – Características	18
2.3 – Durabilidades do concreto	21
2.4 – Restrições do concreto	24
2.5 – Composição	25
2.5.1 <i>O cimento Portland</i>	25
2.6 - Agregados para Concreto	28
2.6.1 - Adições minerais	29
2.6.2 - Adição da água	31
2.6.3 - Aditivos	32
2.7 Tipos de concreto	33
<b>Capítulo 3 – Legislação</b>	<b>39</b>
3.1. - Principais Normas Brasileiras para concreto armado	39
3.2 Principais Notações da NBR 6118	40
<b>Capítulo 4 - Principais mecanismos de degradação das estruturas do Concreto e as possibilidades de prevenção, conservação e manutenção das estruturas..</b>	<b>44</b>

4.1 Deformações	44
4.2 Retração	44
4.3 Expansão	45
4.4 Deformação imediata	46
4.5 Fluência	47
4.6 Deformações térmicas	48
<b>Capítulo 5 - Manutenção das Estruturas</b>	<b>49</b>
5.1 - Ações para utilização e manutenção das estruturas de concreto	49
5.2 - Manutenção preventiva	49
5.3 - Registro das estruturas	50
5.4 - Vistoria Periódica	50
5.5 - Vistoria detalhada	51
5.6 - Limpeza	51
5.7 - Proteção superficial do concreto	51
5.8 - Proteção Superficial	52
5.9 - Serviços de reparo	54
5.9.1 - Realcalinização	55
5.9.2- Princípios da realcalinização	57
5.9.3- Durabilidade da realcalinização	59
5.9.4 - Dessalinização (extração de cloretos)	60
5.9.5 - Durabilidade da dessalinização	62
5.9.5.1- Efeitos colaterais possíveis	63
ANÁLISE E DISCUSSÃO	65
CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70



## LISTA DE SIGLAS

MPa: Mega Pascal

K: Potássio

OH: Hidróxido

A/C: Água/cimento

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C<sub>3</sub>A: Aluminato tricálcico

C<sub>2</sub>S: Silicato bicálcico

C<sub>3</sub>S: Silicato tricálcico aluminato tricálcico

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono

NaOH: Hidróxido de sódio

(SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>): Óxidos de enxofre

(H<sub>2</sub>S): Gás sulfídrico

CaCO<sub>3</sub>: Carbonato de cálcio

Ca (OH)<sub>2</sub>: Hidróxido de cálcio

NBR: Norma brasileira regulamentar

mm: Milímetros

pH : Potencial hidrogeniônico- é o semi-logarítimo decimal, de sinal invertido, da concentração em íons de hidrogênio. Escala que varia entre 0 a 14, onde valores menores que 7- meio ácido; valor igual a 7- neutro; valores acima de 7 meio- alcalino.

CAD: Concreto de alto desempenho

CPI: Cimento Portland comum

CP I-S: Cimento Portland comum com adição

CP II-Z: Cimento Portland com pozolana

CP II-E: Cimento Portland composto com escória

CP II-F: Cimento Portland composto com fíler

CP III (Com escoria): Cimento Portland de alto forno

CP IV: Cimento Portland pozolânico

CP V ARI: Cimento Portland de alta resistência inicial

CP (RS): Cimento Portland Resistente à sulfato

(CPBC): Cimento Portland de baixo calor de hidratação

(CPB): Cimento Portland branco

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Figura 1 – Retração química

Figura 2 – Figura 2: Retração Capilar

Figura 3 – Figura 3 – Retração por Carbonatação

Figura 4 - Figura 4 : Expansão

Figura 5 : Expansão

Figura 6 : Deformação Imediata

Figura 7 :Fluência

Figura 8 : Deformações térmicas

## INTRODUÇÃO

Visivelmente percebe-se que o concreto é um material muito empregado no mundo inteiro. Após a aplicação final, em algumas horas, revela-se de forma sólida, o que nos faz pensar que se trata de algo imensamente resistente, denso, indestrutível, durável, fácil de ser produzido.

É o material estrutural mais utilizado no mundo. Seu consumo anual é da ordem de uma tonelada por habitante. Entre eles, os mais utilizados pelo homem, o concreto perde apenas para a água. (Pinheiro, Muzardo & Santos, 2004). Outros materiais como madeira, alvenaria e aço também são de uso comum e há situações em que eles são imbatíveis.

É moldável, permitindo grande variabilidade de formas e de concepções arquitetônicas, apresentando boa resistência à maioria dos tipos de solicitação, desde que seja feito um correto dimensionamento e um adequado detalhamento das armaduras. A estrutura é monolítica, fazendo com que todo o conjunto trabalhe quando a peça é solicitada. Possui baixo custo em sua matéria prima, não exigindo profissionais com elevado nível de qualificação.

Por se tratar de processos construtivos bem conhecidos e bem difundidos em quase todo o país, tem como benefício, a facilidade e rapidez de execução, principalmente se forem utilizadas peças pré-moldadas. Os gastos de manutenção são reduzidos, desde que a estrutura seja bem projetada e adequadamente construída.

O concreto é pouco permeável à água, quando executado em boas condições de plasticidade, adensamento e cura. É um material seguro contra fogo, desde que a armadura seja convenientemente protegida pelo revestimento. É resistente a choques e vibrações, efeitos térmicos, atmosféricos e a desgastes mecânicos.

Quando instalado ou alocado, apresenta-se em estruturas de forma revestida ou aparente. Mesmo sendo um material sólido, robusto, sofre ações malélicas ao

longo dos anos, ocasionando assim, a degradação. Sua durabilidade vai depender da maneira que foi elaborado, desde a fase de projeto até o produto final, seguindo as fases de inspeções e manutenções ao longo da vida útil. Perante essas peculiaridades negligencia-se sua fabricação, aplicação, inspeção, manutenções e intervenções preventivas e corretivas antes da degradação das estruturas composta por este material.

Percebe-se que nas estruturas em concreto aparente, ou seja, sem proteções, não existe uma barreira de proteção, deixando assim totalmente exposto às intempéries da natureza e ao ambiente a qual está alocado. Sua durabilidade depende unicamente das concepções de projeto, fabricação, uso e manutenção.

Os recobrimentos nos concretos, se efetuados conforme as técnicas recomendadas, são fatores que propiciam ganhos na sua durabilidade, pois trabalham como barreiras de proteção ao concreto, aumentando assim sua vida útil.

Dados a estes fatores, concebeu-se este estudo com o objetivo de analisar as diversas patologias nas estruturas em concreto armado aparente, as maneiras de evitar tais problemas, como manter e recuperar as estruturas tornando-as confiáveis do ponto de vista de utilização, segurança e apresentação estética.

Como opção metodológica, optou-se pela revisão de literatura, através de estudos bibliográficos, tendo como base artigos e anais eletrônicos pesquisados no google, bem como livros e periódicos acerca das principais informações sobre concreto armado, suas características, apresentação, composições, conservação e legislação.

Em nossa revisão, no primeiro capítulo dissertamos sobre o processo histórico no mundo e no Brasil, destacando os diferentes marcos históricos que precederam o atual elemento, e as grandes edificações através dos tempos.

No segundo capítulo, apresentamos os conceitos em diferentes visões dos teóricos, acrescentando suas características e diferentes composições.

No terceiro, apontamos as principais normas regulamentares que regem a Legislação Brasileira, acerca do concreto armado, registrando as principais notações da NBR, 6118/2003.

A seguir, no capítulo quarto, registramos os principais fatores decompositores do concreto armado , bem como os principais mecanismos de degradação das suas estruturas,

No capítulo quinto, apontamos as principais ações de prevenção e manutenção das suas estruturas.

Finalizamos o trabalho com uma breve análise das teorias estudadas, sob a ótica dos autores e as conclusões entendidas, destacando e reiterando as principais práticas sistêmicas dos profissionais da construção , acerca das peculiaridades d concreto armado. .

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Capítulo 1 - Histórico do Concreto Armado

A cal hidráulica e o cimento pozolânico (de origem vulcânica) já eram conhecidos pelos romanos como aglomerante. O cimento Portland, tal como hoje conhecido, foi descoberto na Inglaterra por volta do ano de 1824, e a produção industrial foi iniciada após 1850.

A primeira associação de um metal à argamassa de pozolana remonta à época dos romanos. No ano de 1770, em Paris, associou-se ferro com pedra para formar vigas como as modernas, com barras longitudinais na tração e barras transversais ao cortante.

Considera-se que o cimento armado surgiu na França, no ano de 1849, com o primeiro objeto do material registrado pela História sendo um barco, do francês Labot, o qual foi apresentado oficialmente em 1855. O barco foi construído com telas de fios finos de ferro preenchidas com argamassa. Embora os barcos funcionassem, não alcançaram sucesso comercial.

A partir de 1861, outro francês, Mounier, que era um paisagista, horticultor e comerciante de plantas ornamentais, fabricou uma enorme quantidade de vasos de flores de argamassa de cimento com armadura de arame, e depois reservatórios (25, 180 e 200 m<sup>3</sup>) e uma ponte com vão de 16,5 m.

Foi o início do que hoje se conhece como “Concreto Armado”. Até cerca do ano de 1920 o concreto armado era chamado de “cimento armado”. Em 1850, o norte americano Hyatt fez uma série de ensaios e vislumbrou a verdadeira função da armadura no trabalho conjunto com o concreto. Porém, seus estudos não ganharam repercussão por falta de publicação.

Na França, Hennebique foi o primeiro após Hyatt a compreender a função das armaduras no concreto.

“Percebeu a necessidade de dispor outras armaduras além da armadura reta de tração. Imaginou armaduras dobradas, prolongadas em diagonal e ancoradas na zona de compressão. Foi o primeiro a colocar estribos com a finalidade de absorver tensões oriundas da força cortante e o criador das vigas T, levando em conta a colaboração da laje como mesa de compressão”, (VASCONCELOS, 1985).

Os alemães estabeleceram a teoria mais completa do novo material, toda ela baseada em experiências e ensaios. “*O verdadeiro desenvolvimento do concreto armado no mundo iniciou-se com Gustavo Adolpho Wayss*” que fundou sua firma em 1875, após comprar as patentes de Mounier para empregar no norte da Alemanha (VASCONCELOS, 1985).

A primeira teoria realista ou consistente sobre o dimensionamento das peças de concreto armado surgiu com uma publicação, em 1902, de E. Mörsch, eminente engenheiro alemão, professor da Universidade de Stuttgart (Alemanha). Suas teorias resultaram de ensaios experimentais, dando origem às primeiras normas para o cálculo e construção em concreto armado. A treliça clássica de Mörsch é uma das maiores invenções em concreto armado, permanecendo ainda aceita, apesar de ter surgido há mais de 100 anos. (Idem)

As fissuras (trincas de pequena abertura,  $\approx 0,05$  a  $0,4$  mm), causadas pela tensão de tração no concreto, atrasaram o desenvolvimento do concreto armado devido à dificuldade de como tratar e resolver o problema. Como forma de contornar o problema da fissuração no concreto, M. Koenen propôs, em 1907, tracionar previamente as barras de aço, para assim originar tensões de compressão na seção, como forma de eliminar a tração no concreto e conseqüentemente eliminar as fissuras. Surgia assim o chamado “Concreto Protendido”. Porém, as experiências iniciais não lograram êxito. Outras datas e fatos significativos nos primeiros desenvolvimentos do concreto armado são:

- 1852 - Coignet executa elementos de construção com emprego de concreto armado (vigotas e pequenas lajes);
- 1867 a 1878 - Mounier registra patentes para construção, primeiramente de vasos, tubos e depósitos e, depois, de elementos de construção;
- 1880 - Hennebique constrói a primeira laje armada com barras de aço de seção circular;

- 1884 - Freytag adquire as patentes de Mounier para emprego na Alemanha;
- 1892 - Hennebique obtém patente do primeiro tipo de viga, como as atuais, com estribos;
- 1897 - Rabut inicia o primeiro curso sobre concreto armado, na França;
- 1902 a 1908 - São publicados os trabalhos experimentais realizados por Wayss e Freytag;
- 1902 - Mörsch, engenheiro alemão, publica a 1ª edição de seu livro de concreto armado, com resultados de numerosas experiências;
- 1900 a 1910 - São publicados os resultados de diversas comissões na França, Alemanha e Suíça. Com o desenvolvimento do novo tipo de construção, tornou-se necessário regulamentar o projeto e a execução, surgindo as primeiras instruções ou normas: 1904 - Alemanha; 1906 - França; 1909 - Suíça.

### **No Brasil**

Em 1901, ocorreram construções de galerias de água em cimento armado, com 47 m e 74 m de comprimento. Em 1904 foram construídas casas e sobrados em Copacabana, no Rio de Janeiro. Em 1909 foi construída a ponte na Rua Senador Feijó, com vão de 5,4 m. Em 1908, construção de uma ponte com 9 m de vão, executada no Rio de Janeiro pelo construtor Echeverria, com projeto e cálculo do francês François Hennebique.

Em São Paulo, no ano de 1910, foi construída uma ponte de concreto armado com 28 m de comprimento, na Av. Pereira Rebouças sobre o Ribeirão dos Machados. Essa ponte ainda existe em ótimo estado de conservação, segundo VASCONCELOS (1985), o qual afirma que em 1913, a “*vinda da firma alemã Wayss & Freytag constituiu talvez o ponto mais importante para o desenvolvimento do concreto armado no Brasil*”. Sua empresa no Brasil foi registrada somente em 1924, sob o nome de Companhia Construtora Nacional, funcionando até 1974. Imagina-se que, de 1913 a 1924, Wayss utilizou-se da firma de um alemão, L. Riedlinger, para construir várias obras no Brasil, como 40 pontes de concreto armado. Riedlinger importou mestres de obras da Alemanha, e a firma serviu de escola para a formação de especialistas nacionais, evitando a importação de mais estrangeiros.



O primeiro edifício em São Paulo data de 1907/1908, sendo um dos mais antigos do Brasil em “cimento armado”, com três pavimentos. A partir de 1924 quase todos os cálculos estruturais passaram a serem feitos no Brasil, com destaque para o engenheiro estrutural Emílio Baumgart.

No século passado o Brasil colecionou diversos recordes, vários mundiais, como os seguintes:

- Marquise da tribuna do Jockey Clube do Rio de Janeiro, com balanço de 22,4 m (recorde mundial em 1926);
- Ponte Presidente Sodré em Cabo Frio, em 1926, com arco de 67 m de v o (recorde na América do Sul);
- Edifício Martinelli em São Paulo em 1925, com 106,5 m de altura (30 pavimentos – recorde mundial);
- Elevador Lacerda em Salvador em 1930, com altura total de 73 m;
- Ponte Emílio Baumgart em Santa Catarina em 1930, com o maior v o do mundo em viga reta (68 m), onde foi utilizado pela primeira vez o processo de balanço sucessivo;
- Edifício “A Noite” no Rio de Janeiro em 1928, com 22 pavimentos, o mais alto do mundo em concreto armado, com 102,8 m de altura, projeto de Emílio Baumgart;
- Ponte da Amizade em Foz do Iguaçu em 1962, com o maior arco de concreto armado do mundo, com 290 m de v o;
- Museu de Arte de São Paulo em 1969, com laje de 30 x 70 m livres, recorde mundial de v o, com projeto estrutural de Figueiredo Ferraz;
- Edifício Itália em São Paulo em 1962, o mais alto edifício em concreto armado do mundo durante alguns meses;
- Ponte Colombo Salles em Florianópolis em 1975, a maior viga contínua protendida do mundo, com 1.227 m de comprimento, projeto estrutural de Figueiredo Ferraz;
- Usina Hidroelétrica de Itaipu em 1982, a maior do mundo com 190 m de altura, projetada e construída por brasileiros e paraguaios, com coordena o americano-italiana.

## Capítulo 2- Fundamentos Teóricos – Conceitos, Composição e Características

### 2.1 - Conceitos

Helene (1986) bem definiu o concreto como sendo duro, condensado, material para construção conseguido com a mistura de cimento, areia, pedra britada e água.

Já Mehta e Monteiro (2008) explicaram que o concreto é um material compósito<sup>1</sup> que tem uma pasta que une partículas ou fragmentos agregados. No concreto de cimento hidráulico o aglomerante é constituído pela combinação de cimento hidráulico e água. O agregado é material em grãos, como areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada, escória de alto forno ou resíduos de construção e de demolição, que é utilizado dentro de um meio cimentício para produzir concreto ou argamassa.

Mais uma definição, que partiu de França (2004), afirmou que concreto é um material de construção constituído de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo, água e eventualmente aditivos químicos e adições. Os aditivos são empregados com a finalidade de melhorar, modificar, salientar ou inibir determinadas reações, propriedades e características do concreto, no estado fresco e endurecidos.

Helene e Andrade (2007) complementaram que o concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade. Mesmo sendo o mais recente dos materiais de construção de estruturas, pode ser considerado como uma das descobertas mais interessantes da história do desenvolvimento da humanidade e sua qualidade de vida.

---

<sup>1</sup> Compósito é basicamente um material em cuja composição entram dois ou mais tipos de materiais diferentes. Alguns exemplos são metais e polímeros, metais e cerâmicas ou polímeros e cerâmicas. Os materiais que podem compor um **material compósito** podem ser classificados em dois tipos: matriz e reforço (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

“Os materiais cimentícios podem ser considerados como materiais mais importantes de todas as épocas da civilização humana, porque possibilitou suprir as necessidades de edificações e obras de infraestruturas” (Isaia, 2005, p.1).

Notável também que esses materiais preencheram as necessidades de segurança, habitação e fortificação, de higiene, transporte, ensino, saúde, lazer, religião e obras públicas. Isto foi possível graças a grande quantidade de matérias-primas encontradas na natureza.

De acordo com a descrição de Martin (2005), o concreto é um dos materiais fundamentais da nossa civilização. Se for utilizada uma seleção correta dos componentes, e um ótimo estudo para dosagens, as propriedades do concreto podem ser modificadas profundamente, respondendo as necessidades exigidas. É possível atuar sobre a empregabilidade, os tempos de pega, a densidade, as resistências mecânicas, o acabamento e especialmente sua durabilidade.

## **2.2 - Características:**

Concreto é um material de construção proveniente da mistura, em proporção adequada, de: aglomerantes, agregados e água.

### **a) Aglomerantes**

Unem os fragmentos de outros materiais. No concreto, em geral se emprega cimento Portland, que reage com a água e endurece com o tempo.

### **b) Agregados**

São partículas minerais que aumentam o volume da mistura, reduzindo seu custo. Dependendo das dimensões características  $\phi$ , dividem-se em dois grupos:

- Agregados miúdos:  $0,075\text{mm} < \phi < 4,8\text{mm}$ . Exemplo: areias.
- Agregados graúdos:  $\phi \geq 4,8\text{mm}$ . Exemplo: pedras.

### **c) Pasta**

Resulta das reações químicas do cimento com a água. Quando há água em excesso, denomina-se nata.

#### **d) Argamassa**

Provém da pela mistura de cimento, água e agregado miúdo, ou seja, pasta com agregado miúdo.

#### **e) Concreto simples**

É formado por cimento, água, agregado miúdo e agregado graúdo, ou seja, argamassa e agregado graúdo.

CONCRETO SIMPLES ↔ CIMENTO + AREIA + PEDRA + ÁGUA

Depois de endurecer, o concreto apresenta:

- boa resistência à compressão;
- baixa resistência à tração;
- comportamento frágil, isto é, rompe com pequenas deformações.

Na maior parte das aplicações estruturais, para melhorar as características do concreto, ele é usado junto com outros materiais.

#### **f) Concreto armado**

É a associação do concreto simples com uma armadura, usualmente constituída por barras de aço. Os dois materiais devem resistir solidariamente aos esforços solicitantes. Essa solidariedade é garantida pela aderência.

CONCRETO ARMADO ↔ CONCRETO SIMPLES + ARMADURA + ADERÊNCIA

#### **g) Concreto protendido**

No concreto armado, a armadura não tem tensões iniciais. Por isso, é denominada armadura frouxa ou armadura passiva. No concreto protendido, pelo menos uma parte da armadura tem tensões previamente aplicadas, denominada armadura de protensão ou armadura ativa.

CONCRETO PROTENDIDO ↔ CONCRETO + ARMADURA ATIVA

## **h) Argamassa armada**

É constituída por agregado miúdo e pasta de cimento, com armadura de fios de aço de pequeno diâmetro, formando uma tela. No concreto, a armadura é localizada em regiões específicas, Na argamassa, ela é distribuída por toda a peça.

### **i) Concreto de alto desempenho – CAD**

Pode ser obtido, por exemplo, pela mistura de cimento e agregados convencionais com sílica ativa e aditivos plastificantes. Apresenta características melhores do que o concreto tradicional. Em vez de sílica ativa, pode-se também utilizar cinza volante ou resíduo de alto forno.

O concreto é a mistura de areia, cimento, água e agregados. Como características principais tem a dissipação de calor após o início da reação água/cimento, grande resistência a compressão e baixa a tração. Não é o mais antigo, porém é o mais utilizado no mundo. A engenharia vem desenvolvendo métodos para melhorar o concreto. Diversos aditivos foram criados, esses têm por função modificar as propriedades físicas do concreto. De um simples retardo ou acelerador de pega, um aumento de resistência, plastificadores redutores de água, dentre diversos outros. Conforme a necessidade vem surgindo novos métodos surgem, o concreto armado veio a suprir a necessidade de maiores vãos, pouco tempo depois o concreto protendido, onde a tensão é inserida de forma prévia.

Pode-se afirmar que o concreto foi o material que desde o Império Romano vem sendo empregado e vem evoluindo, adequando-se as novas normas, aumentando sua durabilidade e com perspectiva de longevidade na construção civil.

Os principais fatores que influem nas propriedades do concreto são:

- Tipo e quantidade de cimento;
- Qualidade da água e relação água-cimento;
- Tipos de agregados, granulometria e relação agregado-cimento;
- Presença de aditivos e adições;

- Procedimento e duração da mistura;
- Condições e duração de transporte e de lançamento;
- Condições de adensamento e de cura;
- Forma e dimensões dos corpos-de-prova;
- Tipo e duração do carregamento;
- Idade do concreto; umidade; temperatura etc.

Os materiais que compõe o cimento podem ser vários, cada tipo de material compõe um tipo de cimento diferente. Temos o CPI, CPI-S, CII-z, CII-E, CII-f, CIII, CIV, CPV ARI, CPBC, CPB. Cada tipo de cimento tem diferentes propriedades, estas são transferidas para os concretos em que são utilizados.

Além do cimento o concreto também contém: agregados, adições minerais, adição de água (reagente do cimento, que faz a composição da pasta) e os aditivos. Os diferentes tipos de concreto se encaixam com as necessidades dos profissionais em cada obra e com seu resultado específico.

### **2.3 Durabilidade do concreto**

Helene e Andrade (2007) explicaram que a durabilidade do concreto de cimento *Portland* é determinada como sendo a capacidade de resistir a intempéries, ataques químicos, abrasão ou outros processos de deterioração. O concreto conservará sua forma, qualidade e capacidade de uso original quando exposto ao ambiente ao qual foi projetado.

Ainda de acordo com os referidos autores é possível afirmar que nenhum material é durável em contato com as forças ambientais. A microestrutura se modifica, transformando as suas propriedades, determinando assim sua vida útil. Um material chega ao fim de sua vida útil quando suas propriedades, sob condições de uso, tiverem sido deterioradas de maneira que a sua utilização se torna insegura e caro para ser recuperada.

Mehta e Monteiro (2008) lecionaram que com o objetivo de aumentar a produtividade, reduzir custos e atender as demandas de reconstrução no pós-guerra, os projetistas reduziram seções das peças estruturais, aumentaram a formosura das estruturas, diminuíram revestimento das armaduras e incrementaram as tensões de trabalho.

Os citados autores completaram que estas modificações tiveram reflexo negativo nas construções repercutindo direto sobre a durabilidade das estruturas de concreto armado, favorecendo assim a tendência a fissuração e reduzindo a proteção das armaduras. A partir da segunda metade do século XX surgiu em grandes proporções danos causados as construções pela deterioração das estruturas de concreto armado e os grandes custos para repará-las. Devido a estes fatos surgiram os primeiros estudos para conhecimento dos principais agentes de deterioração e a inclusão em normas de parâmetros de projeto relativos à durabilidade das estruturas de concreto armado.

Conclui-se do exposto acima que a durabilidade dos materiais de construção a ser utilizados nas estruturas deve ser bem pesquisada, tanto quanto os outros aspectos de projeto e custo inicial, pois, o custo de reparo e substituição das estruturas por falhas dos materiais constitui em parte substancial no orçamento total da construção.

Mehta e Monteiro (2008) complementaram que o concreto é um material que oferece ótima resistência, fato pelo qual sua utilização é alvo dos interesses da maioria dos projetistas de estruturas. Entretanto, tem que se ter idéia de sua durabilidade, mesmo sendo aplicado com todos os cuidados necessários para se obter um produto de qualidade, como dosagens, lançamentos e cura. Pode ser um material durável na maioria dos ambientes, mas, nos casos de deterioração prematura, podem trazer grandes lições para os responsáveis pelas estruturas.

Andrade (2005) constatou que devida a grande concentração de estruturas deterioradas, a partir dos anos 90 no Brasil, desenvolveu-se varias pesquisas e concebeu-se núcleos de estudos sobre a durabilidade das estruturas de concreto.

Com a revisão da NBR 6118 (ABNT, 2003) um grande avanço foi dado, onde se define parâmetros de projeto em função da agressividade do ambiente a qual está inserida a estrutura.

Mas o grande desafio é, de acordo com o supracitado autor, possibilitar a interação entre os envolvidos nos processos de construção civil (engenheiros projetistas e de campo, arquitetos, fabricantes de materiais e outros participantes da cadeia produtiva) para que conscientizem da importância da durabilidade das estruturas em função dos critérios socioeconômicos e segurança para a sociedade.

Isaia (2005) completou que o modo como se comportará as estruturas de concreto armado está sujeito aos cuidados a serem seguidos nas fases, de projeto, execução, controle de materiais, programa de manutenção.

O citado autor explicou que é necessário dar-se ênfase em fatores que decidem à durabilidade das estruturas, produzindo peças menos permeáveis, mais compactas, treinar a mão de obra para que se aplique o produto de acordo com as especificações, executar a cura do concreto com eficiência, desenvolver mecanismos para barrar os agentes agressivos que estão presentes na atmosfera como, o gás carbônico, oxigênio, e chuvas ácidas.

Segundo Kihara e Centurione (2005), o concreto é concebido em três fases: pasta, agregado e zona de transição. Por ser um material poroso em consequência da necessidade de aplicação de quantidade maior de água para hidratar o cimento, parte da água em excesso evapora ficando poros e água no interior do concreto. Durante o processo de mistura do concreto é incorporado ar no material que também vai propiciar vazios nas peças de concreto.

A durabilidade do concreto de cimento Portland depende de diversos fatores, como: quais as características do cimento utilizado, o recobrimento da estrutura, o fator água/cimento e além de outras várias seria a manutenção do mesmo. Caracteriza-se como durabilidade do concreto a capacidade de resistir à



deterioração, que vem a ser influenciado também pelas condições do local onde é aplicado.

## **2.4 Restrições do concreto**

Para Figueiredo (2005) o concreto apresenta algumas restrições, que precisam ser analisadas. Devem ser tomadas as providências adequadas para atenuar suas consequências.

As principais são:

- Baixa resistência à tração,
- Fragilidade,
- Fissuração,
- Peso próprio elevado,
- Custo de formas para moldagem,
- Corrosão das armaduras.

Por isso, segundo os autores Andrade (2005) e Figueiredo(2005) na preparação do concreto, com a mistura dos agregados graúdos e miúdos com cimento e água, tem início a reação química do cimento com a água, resultando gel de cimento, que constitui a massa coesiva de cimento hidratado.

A reação química de hidratação do cimento ocorre com redução de volume, dando origem a poros, cujo volume é da ordem de 28% do volume total do gel. Durante o amassamento do concreto, o gel envolve os agregados e endurece com o tempo, formando cristais. Ao endurecer, o gel liga os agregados, resultando um material resistente e monolítico – o concreto.

A estrutura interna do concreto resulta bastante heterogênea: adquire forma de retículos espaciais de gel endurecido, de grãos de agregados graúdo e miúdo de

várias formas e dimensões, envolvidos por grande quantidade de poros e capilares, portadores de água que não entrou na reação química e, ainda, vapor d'água e ar. Fisicamente, o concreto representa um material capilar pouco poroso, sem continuidade da massa, no qual se acham presentes os três estados da agregação – sólido, líquido e gasoso. (FIGUEIREDO, 2005 )

O concreto apresenta algumas restrições, os engenheiros estão sempre procurando soluções para maximizar a utilização do concreto mesmo quando há necessidade de uma maior resistência à tração, por exemplo.

A fissuração do concreto também é um fator que influencia muito em sua resistência, pois a dependência da água para a reação, além da necessidade da mistura, gera além da água um pequeno volume de ar, que acaba criando um concreto mais poroso e por consequência frágil, diminuindo assim sua resistência.

## **2.5 – Composição - Materiais que compõem o concreto**

### **2.5.1 O cimento Portland**

O fundamental constituinte do cimento é o clínquer, material sinterizado e pelotizado, oriundo da calcinação a aproximadamente 1450 °C de uma mistura de calcário e argila e eventuais corretivos químicos de natureza silicosa, aluminosa ou ferrífera, empregados de modo a garantir o quimismo da mistura. De acordo com Kihara e Centurione (2005), a mais simples formulação do cimento Portland resulta na moagem do clínquer previamente obtido com uma ou mais forma de sulfato de cálcio em pequenas proporções (3 a 5% do volume) com o objetivo de regular o tempo de pega ou endurecimento inicial.

Os referidos autores lecionaram ainda que, no Brasil são fabricados vários tipos de cimento para diversas aplicações, cuja fabricação em muitos casos depende da disponibilidade de matéria prima em cada região, como exemplos listados a seguir:

- **Cimento Portland Comum CP I:** utilizado na maioria dos serviços de construção, quando não são demandadas propriedades especiais do cimento. Não deve ser aplicado em locais onde haja a presença de águas subterrâneas e ou exposição a sulfatos.
- **Cimento Portland Comum com Adição CP I-S:** adições em 5% em massa de material pozolânico ou escoria granulada de alto forno, ou filer calcário. Possui as mesmas características e recomendações do cimento Portland comum.
- **Cimento Portland CP II-Z:** (com adição de material pozolânico) – Gera calor em menor velocidade do que o cimento comum. Seu uso é recomendado em lançamentos maciços de concreto, em que o grande volume da concretagem e a superfície pequena reduzem a capacidade de resfriamento da massa. Representa maior resistência ao ataque de sulfatos contidos no solo. Pode ser empregado em obras civis em geral, subterrâneas marítimas, e industriais, na produção de argamassas, concretos simples, armado, protendido, peças pré-moldadas, forma-se um produto mais impermeável.
- **Cimento Portland Composto CP II-E:** com adição de escoria caracteriza-se por ser um produto intermediário ao cimento de alto forno, recomendado para estruturas que exijam desprendimento lento de calor ou que possam ser atacadas por sulfatos.
- **Cimento Portland Composto CP II-F:** Com adição de material carbonáticofiler. Recomendado para aplicações gerais. Também é resistente a sulfatos.
- **Cimento Portland de Alto Forno CP III (Com escória):** Apresenta maior impermeabilidade, maior durabilidade, baixo calor de hidratação, alta resistência a expansão devido a reação álcali-agregado, resistente a sulfatos. Recomendado em aplicações gerais, barragens, peças de

grandes dimensões, fundações de máquinas, obras em ambientes agressivos, esgotos, efluentes indústrias, pilares de pontes, pavimentação de estradas e aeroportos.

- **Cimento Portland Pozolânico CP IV:** com adição de Pozolana utilizado em obras correntes, argamassas, concreto simples, armado, protendido. Indicado para obras locais com água corrente, ambiente agressivo. O concreto produzido com o cimento CP IV torna-se mais impermeável, mais durável e com resistência mecânica superior ao concreto de cimento comum após um período de tempo, aplicado em grandes volumes apresenta baixo calor de hidratação desprendido.
- **Cimento Portland CP V ARI:** de alta resistência inicial - apresenta resistência a compressão de 26 MPa a um dia e 53 MPa aos 28 dias. Utilizado em larga escala em indústria de pré-moldados, pré-fabricados, pode ser aplicado em qualquer situação que necessite de alta resistência inicial. O desenvolvimento deste produto diferencia-se pela dosagem de calcário e argila na produção de clínquer e pela moagem mais fina de cimento. Com isso, ao reagir com a água, adquire elevadas resistências, com maior velocidade.
- **Cimento Portland CP (RS):** resistente a sulfatos – oferece resistência aos meios agressivos sulfatados, como redes de esgotos de água servidas ou industriais, água do mar. Indicado para concretos de alto desempenho, obras de recuperações estruturais e industriais, concretos projetados, concretos submetidos ao ataque de meios agressivos.
- **Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC):** este tipo de cimento tem a propriedade de retardar o desprendimento de calor em peças de grande volume, evitando o aparecimento de fissuras de origem térmica durante a hidratação do cimento; como por exemplo, CP III-32 (BC)

- **Cimento Portland Branco (CPB):** está classificado em estrutural e não estrutural. O estrutural é aplicado em concretos brancos para fins arquitetônicos com classes de resistência similares aos demais cimentos. E o não estrutural é usado em rejuntamento de azulejos e aplicações não estruturais. As matérias primas deste cimento são obtidas a partir de materiais com baixo teor de óxido de ferro e manganês, usando caulim no lugar das argilas.

## 2.6 - Agregados para Concreto

Agregados são constituídos de material granular, sem formato ou volume determinado, de dimensões e propriedades apropriadas às obras de engenharia, para fabricação de concretos e argamassas de cimento *Portland*, que podem ser: naturais, britados, artificiais, reciclados (KIHARA e CENTURIONE, 2005).

Equivocadamente nos primeiros estudos sobre o concreto havia o falso pensamento de que os agregados eram apenas materiais para enchimento na composição do concreto e que sua única função era de baratear a fabricação, sendo considerados como inertes. Mostrou-se a necessidade de conhecer melhor este material, pois muitas das propriedades dos concretos estão influenciadas pelas características dos agregados como: porosidade, composição granulométrica, absorção d'água, estabilidade, forma e textura superficial dos grãos, resistência mecânica, módulo de deformação e substâncias deletérias (NETO, 2005).

De acordo com Neto (2005) os materiais empregados como agregados na produção do concreto são localizados na crosta terrestre originários de rochas ígneas ou magmáticas como, basalto granito, diabásio; rochas sedimentares como, arenito, argilito, calcário, gipsita, turfa; rochas metamórficas como, gnaisse, mármore, xisto, filito.

Ainda segundo o citado autor, dentre as origens das rochas as que revelam melhores resultados são as ígneas, pois são mais densas, compactas como por exemplo granitos, basaltos (exceção dos basaltos com estrutura vesicular que são vazios na forma de cavidade). As rochas metamórficas como o gnaisse e o quartzito apresentam bons potenciais como agregado. As rochas sedimentares são as que apresentam menores condições de serem utilizados como agregado devido a grande porosidade, menor resistência mecânica, somente são usados quando o nível de exigência é baixo, como por exemplo arenito e os argilitos.

Neto (2005) complementou expondo que, além da constituição mineralógica e a composição química do agregado, um dos conceitos básicos da ciência dos materiais, a microestrutura, deverá ser levada em conta, exemplo disto é a porcentagem de absorção d'água que deve ser considerado na hora de avaliar a qualificação dos agregados para concreto. Uma das formas mais comuns para classificar os agregados é em função do tamanho dos grãos.

Neto (2005) finalizou que os agregados graúdos de acordo com a norma NBR 7211 (ABNT, 2004) são os agregados cujos grãos atravessam na peneira com abertura de malha com 15,2 milímetros (mm), e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm. O agregado miúdo é aquele cujos grãos cruzam na peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 0,075 em ensaios conforme NBR 7217 (ABNT, 2004).

### **2.6.1 - Adições minerais**

França (2004) explicou que o emprego de adições minerais nos concretos é capaz de beneficiá-lo, pois elas adicionam grandes qualidades ao produto. Tais efeitos são resultados do efeito físico ligado ao pequeno tamanho das partículas, pelo efeito químico pozolânico. A eficiência das adições está diretamente ligada à quantidade utilizada e das condições de cura.

Molin (2005) explicou que outras adições foram obtidas por meio da utilização da mistura de subprodutos (resíduos), o que reduz a extração de matéria prima para fabricação de produtos cimentícios. Grande exemplo de subproduto da indústria que é utilizado como adição é a escória de alto, cinza da casca de arroz.

Abaixo se listam alguns dos materiais empregados nas adições mais comuns:

- **Pozolanas naturais:** Molin (2005) afirmou que são rochas que não precisam de nenhum tipo de processo além da moagem para serem empregados.
- **Cinza volante:** França (2004) ensinou que este material finamente particulado oriundo da queima de carvão em usinas termelétricas. São as cinzas de textura mais fina que deslocadas pelos gases da combustão das fornalhas das caldeiras e recolhidas por precipitadores eletrostáticos ou mecanicamente.
- **Sílica ativa:** Molin (2005) disse se tratar de um subproduto proveniente do processo de obtenção do ferro silício (insumo utilizado na produção da maioria dos aços comuns) e silício metálico (insumo utilizado na produção de componentes eletrônicos, silicone e alumínio). O citado autor continuou explicando que na redução do quartzo a silício produz-se o monóxido de silício gasoso, que é transportado à parte superior do forno a temperaturas mais baixas, e ao estabelecer contato com o ar oxida formando o dióxido de silício que se condensa em forma de partículas esféricas, de minúsculas dimensões e amorfas, denominadas sílica ativa.
- **Metacaulin:** adição mineral aluminossilicosa – conseguida da calcinação, entre 600 a 900°C de alguns tipos de argilas, como as caulínicas e os caulins. A indústria produtora de cobertura de papel é responsável pela produção de um resíduo que após tratamento resulta em um caulin beneficiado de extrema brancura, finura e pureza concebendo um metacaulin de alta reatividade (FRANÇA, 2004).

- **Cinza de casca de arroz:** As indústrias beneficiadoras de arroz utilizam este material obtido da combustão da casca de arroz, como fonte calorífica e vapor nos processos de secagem e parboilização dos grãos (MOLIN, 2005).
- **Escória granulada de alto-forno:** França (2004) explicou que se trata de resíduo não metálico oriundo da produção de ferro-gusa em alto forno. São conseguidas mediante a fusão das impurezas do minério de ferro, juntamente com a adição de fundentes (calcário e dolomita) e as cinzas do coque. A escória fundida é uma massa que fica na parte superior do ferro-gusa e é conduzida por canais até o lugar de resfriamento. Esta escória, quando moída, pode ser usada na fabricação de cimento, substituindo o clínquer, ou como adições em concretos.
- **Fíler:** É um material finamente moído com diâmetro médio próximo ao do cimento. Quando usado em pequenas quantidades, menor que 15% sobre a massa de cimento, devido a ação física traz melhorias a algumas propriedades do concreto como a trabalhabilidade, a permeabilidade, a exsudação e a tendência a fissuração. O fíler pode ser obtido de materiais inorgânicos processados. O material carbonático utilizado como fíler deve ter no mínimo 85% de  $\text{CaCO}_3$ .

### 2.6.2 - Adição da água

Segundo Yazigi (2007) a água faz com que a mistura fique em condições de trabalho, ajuda no deslocamento, fixação e adensamento, reage quimicamente com o cimento. O excesso de água permanece na argamassa até se evaporar, deixando canais capilares e pequenas bolhas no produto. Quanto mais água existir, maior será o número de vazios e tendência de uma mistura menos resistente. Sempre



haverá vazios no concreto, pois é necessária a utilização da água para hidratação do cimento *Portland*.

O supracitado autor advertiu que é preciso evitar o excesso, utilizando somente o necessário para ocorrer as reações químicas, e facilitar a trabalhabilidade do concreto. O fator água/cimento é de extrema importância na produção do concreto. A resistência a estanqueidade e a durabilidade estão diretamente ligados à quantidade de água que é adicionada na mistura.

Franca (2004) complementou que a água a ser empregada na produção de concreto tem ser de boa qualidade, guardadas em caixas estanques para evitar a contaminação por substâncias estranhas. Segundo ele, isto pode ser comprometedor para a qualidade do concreto, sendo assim, é prioritário o cuidado em se evitar contato direto dos operários com a água para evitar a contaminação com óleos, graxas, sabões, detergentes e outros. A princípio considera toda água potável como apropriada para uso em concreto. Águas não potáveis devem atender aos requisitos da norma NBR 6118 para serem utilizadas como água de amassamento e cura.

### **2.6.3 - Aditivos**

França (2004) revelou que aditivos são produtos que são acrescentados ao concreto com a intenção de potencializar ou transformar suas peculiaridades. Sua correta utilização favorece a empregabilidade de forma geral: a segregação, a liga, o enrijecimento, o conteúdo de ar ou de outros gases no concreto, a resistência a ações físicas, as ações mecânicas, ações químicas, promove a durabilidade e a resistência mecânica do concreto.

Dado ao exposto acima, é possível perceber que os aditivos propiciam uma regularidade na fabricação do concreto ou argamassa e na sua qualidade, ampliando o campo de aplicação do concreto.

Martin (2005) advertiu que devem ser observados diversos fatores para aplicação dos aditivos a fim de se conseguir os efeitos desejados, e dentre os fatores a serem averiguados destacam-se:

- Tipo de cimento: composição do clínquer, principalmente conteúdo de  $C_3A$  e  $C_3S$ ; adições, classe características (composição química, finura, forma), quantidade, conteúdo dos compostos alcalinos, finura, quantidade de cimento.
- Tipos de agregados: características; diâmetro máximo, granulometria, conteúdo de finos, porosidade, forma.
- Tipos de aditivos: quantidade e dosagem, temperatura ambiente, condições para realizar a mistura.

## **2.7 Tipos de concreto**

Mehta e Monteiro (2008) bem classificaram o concreto em três categorias, a saber:

- Concreto de densidade normal: em torno de  $2400 \text{ kg/m}^3$  obtido com o uso de areias naturais ou artificiais, agregados graúdos britados, pedregulhos é o mais comum para fins estruturais.
- O concreto leve: massa específica menor que  $1800 \text{ kg/m}^3$ , obtidos através de agregados naturais ou processados termicamente com menor densidade de massa.
- Concreto pesado: usado como blindagem em locais para resistir a radiações, produzidos com agregados de alta densidade. Possui massa específica maior que  $3200 \text{ kg/m}^3$ .

De acordo com os referidos autores, em alguns países a classificação dos concretos ocorre em função da resistência a compressão: concreto de baixa

resistência (menos de 20 MPa), concreto de resistência moderada (entre 20 e 40 MPa) e concreto de alta resistência (acima de 40 MPa).

Fácil visualizar que, por ser o concreto um produto oriundo de misturas de vários materiais, com variedade da quantidade de cada matéria prima, o que passa a originar diversas qualidades de concreto, em que a escolha depende do local onde será trabalhado.

Com o intuito de facilitar o entendimento, França (2004) apontou, dentre as variações possíveis, as mais usadas, conforme segue:

- **Concreto magro:** Sem função estrutural, geralmente é usado em pisos sem movimentação de cargas, contra pisos, revestimentos em fundos de valas, para proteção de armaduras contra umidade do solo.

Caracterizado pelo baixo consumo de cimento, em torno de 100 a 150 kg/m<sup>3</sup>, pouca trabalhabilidade, tendência a segregação e exsudação devido a pouca quantidade de pasta de cimento.

- **Concreto ciclópico:** Utilizado em tubulões, muro de arrimo de gravidade, peças de grandes dimensões e baixa concentração de ferragens. É composto de concreto convencional onde se adiciona durante o lançamento até 30% de pedras de mão (pedras com dimensões aproximadamente 150 mm). Há grandes controvérsias quanto à adição de pedras no concreto bem com a porcentagem ideal.
- **Concreto convencional:** É o concreto comum em que é feito o lançamento manual através de carrinhos de mão, latas, calhas, caçambas. É aplicado em todo tipo de estrutura como: fundações, pilares, vigas, lajes, muros de arrimo, cortinas, caixas d'água. Consistência medida através do ensaio de abatimento em torno 60 mm ( $\pm 20$  mm).
- **Concreto bombeável:** Material desenvolvido para que o lançamento na estrutura seja feito de forma mecanizada, através de bombas hidráulicas, podendo alcançar grandes alturas e distâncias através de dutos,

reduzindo assim o tempo de trabalho e número de pessoas envolvidas. É um produto de consistência mais fluida para que reduza o atrito interno dentro da tubulação. Consistência medida através do ensaio de abatimento em torno 100 mm ( $\pm 20$  mm), com fluidez para ser bombeado, sendo obtida adicionando maior quantidade de agregado miúdo, água, cimento e aplicação de aditivos plastificantes.

- **Concreto auto-adensável:** Produto com plasticidade e elevada consistência, medidas através do ensaio de abatimento em torno 220 mm ( $\pm 20$  mm). Indicado para concretagem de peças com dimensões reduzidas, grande concentração de ferragens. Dispensa o uso de vibradores e permite a obtenção de peças bastante compactas, sem segregação ou brocas.
- **Concreto projetado:** É concreto de pega ultra-rápida, projetado no local de aplicação, podendo ser empregado por via seca ou úmida. Na via seca o concreto é misturado sem água e o aditivo acelerador de pega é inserido dentro do equipamento de projeção que funciona a ar comprimido. O concreto é injetado através de um mangote, na extremidade deste o material entra em contato com água em quantidade controlada, e são lançados na superfície a ser concretada, onde ocorre a reação e endurece em poucos segundos. Na via úmida, o concreto previamente misturado à água, é inserido no equipamento de projeção. Este concreto é bombeado através do mangote que na sua extremidade possui um injetor de aditivo acelerador de pega, que em contato com o concreto e a superfície a ser concretada, reage e endurece.
- **Concreto aparente:** Todo concreto em que a superfície não recebe tratamento ou recobrimento com argamassas, tinta, revestimentos cerâmicos, rochas ornamentais. No preparo utiliza-se uma maior quantidade de agregado miúdo e melhor escalonamento granulométrico

do agregado graúdo. Geralmente usado em pontes, viadutos, pavimentos, túneis, edifícios.

- **Concreto arquitetônico:** Sua característica principal é o aspecto estético e tem como tipos de concreto o desativado e o estampado.

Concreto desativado: Consiste na dosagem de concretos com agregados de várias colorações, argamassas pigmentadas ou não. Após o lançamento do concreto é adicionado um aditivo desativador superficial das reações de cimento. Depois de um período de tempo é projetado jatos d'água sob pressão e lava-se a camada superficial do concreto, expondo desta forma a variação de tonalidade dos agregados, sendo que a camada retirada geralmente é inferior a 1 cm.

Concreto estampado: Elaborado com brita 0 e 1, alto teor de argamassa, pigmentado ou não, lançamento feito de forma convencional geralmente em passeios ou áreas externas, adensado, nivelado e com acabamento superficial feito através do pressionamento de fôrmas emborrachadas em alto relevo formando estampas com diversas configurações geométricas. França (2004) ainda menciona que era usado em forma esporádica na década de 80. Desenvolveram-se na década de 90 pigmentos com melhor qualidade, onde o consumo por metro cúbico de concreto era de apenas 10 kg. O concreto colorido também deve ser bem estudado, pois vários fatores podem influenciar na tonalidade tais como: o tipo de areia, o agregado graúdo, a coloração do cimento e outros.

- **Concreto leve:** É aquele que possui massa específica variando entre 500 a 1800 kg/m<sup>3</sup>. Para a sua obtenção utilizam-se agregados leves como escoria de alto forno, vermiculita, argila expandida, perolas e flocos de isopor, incorporação de ar. Geralmente não é utilizado com a função estrutural, mas apenas para enchimento ou revestimento obtendo grandes característica de isolamento térmico. À medida que reduz a massa específica reduz drasticamente à resistência a compressão.

- **Concreto pesado:** Desenvolvido com agregados de grande massa específica tipo: barita, limonita, minérios de ferro, esferas de aço. A característica básica e massa específica superior a  $3000 \text{ kg/m}^3$  fazem com que geralmente seja usado em locais para substituir painéis de chumbo em locais que emitem radiação. Deve-se ter cuidado especial na preparação, lançamento e cura, sendo às vezes necessária a utilização de gelo para reduzir a temperatura de hidratação da mistura.
- **Concreto compactado com rolo:** Utilizado como sub-base de pavimentos rígido e pavimento intertravado, barragens, estacionamentos, pisos industriais. Possui baixo consumo de cimento ( $100$  a  $130 \text{ kg/m}^3$ ) e baixo consumo de água.
- **Concreto para pavimento rígido:** Na maior parte das estruturas de concreto a resistência à compressão é que define as características. Já no caso de concreto para pavimento rígido existem outras características, como a resistência a tração na flexão, a resistência ao desgaste, a resistência a ataque a meio agressivos como óleos, graxas, combustíveis, águas ácidas. Dosado com consumo alto de cimento, pouca água para reduzir a retração e conseqüente redução de fissuras, produzido com britas 1 e 2.
- **Concreto de alto desempenho – CAD:** nome adotado para designar novo tipo de concreto, mais resistente, mais durável e mais trabalhável em obra do que o concreto convencional. É o mais promissor material em termos de garantia de vida útil ampliadas, de maiores resistências mecânicas, maior durabilidade em face de ataques por agentes agressivos presentes no ambiente, com isso, menores despesas potenciais com manutenções e recuperações. Já para Almeida (2005), o CAD é uma evolução tecnológica dos concretos tradicionais, em que foram pesquisados novos produtos químicos e adições minerais tornando o concreto mais resistente, na ordem de três a cinco vezes superiores aos

concretos convencionais. As utilizações deste material são em pilares, reduzindo áreas e volumes de peças estruturais, proporcionando maior liberdade arquitetônica e maior velocidade de construção; são aplicados também em pontes e obras de arte especiais, recuperação de estruturas. Em aplicação em peças estruturais pré-fabricadas tem como vantagem a reutilização mais rápida das formas.

- **Concreto com fibras:** O concreto é caracterizado pela sua baixa capacidade de deformação antes da ruptura, sendo a resistência a tração muito reduzida quando comparada a resistência à compressão. Com a função de minimizar estas limitações é feito o uso de fibras, que podem ser produzidas a partir materiais tais como: aço, vidro, náilon, polipropileno. Para o autor Figueiredo (2005), as fibras são elementos descontínuos, cujo comprimento é bem maior que a dimensão da seção transversal. Aplicações principais são: pavimentos de concreto, revestimento para túneis, indústrias de pré-moldados, regiões sujeitas a abalos sísmicos ou fadiga por esforço cíclico.

## Capítulo 3 – Legislação

### 3.1. - Principais Normas Brasileiras para concreto armado

A principal norma para o projeto de estruturas de concreto armado e protendido é a NBR 6118/2003 - *Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*.

Outras normas que regulamentam o projeto e a execução de obras de concreto são:

- NBR 6120/80 - Cargas para o cálculo de estruturas de edificações - Procedimento;
- NBR 6122/96 - Projeto e execução de fundações – Procedimento;
- NBR 6123/87 - Forças devido ao vento em edificações - Procedimento;
- NBR 6349/91 - Fios, barras e cordoalhas de aço para armaduras de protensão - Ensaio de tração
- NBR 7187/03 – Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido - Procedimento;
- NBR 7188/84 - Cargas móveis em ponte rodoviária e passarela de pedestre;
- NBR 7189/85 - Cargas móveis para projeto estrutural em obras ferroviárias;
- NBR 7191/82 - Execução de desenhos para obras de concreto simples ou armado;
- NBR 7477/82 - Determinação do coeficiente de conformação superficial de barras e fios de aço destinados a armaduras de concreto armado - Método de ensaio;
- NBR 7480/96 - Barras e fios destinados a armaduras de concreto armado –
- NBR 7481/90 - Tela de aço soldada – Armadura para concreto – Especificação;
- NBR 8522/84 - Concreto - Determinação do módulo de deformação estática e diagrama -
- NBR 8548/84 - Barras de aço destinadas a armaduras para concreto armado com emenda mecânica ou por solda - Determinação da resistência à tração - Método de ensaio;
- NBR 8681/84 - Ações e segurança nas estruturas – Procedimento;
- NBR 8953/92 - Concreto para fins estruturais -
- NBR 8965/85 - Barras de aço CA 42S com características de soldabilidade destinadas a armaduras para concreto armado – Especificação;
- NBR 9062/85 - Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado –



- NBR 11919/78 - Verificação de emendas metálicas de barras de concreto armado – Método de ensaio;
- NBR 12142/92 - Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos - Método de ensaio;
- NBR 14432/00 - Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações –

### **3.2 Principais Notações da NBR 6118**

A NBR 6118/03 indica uma série de notações para as estruturas de concreto. Apenas as principais notações são apresentadas na sequência. A simbologia completa deve ser consultada na própria norma e estão descritas abaixo;.

#### **Letras Minúsculas**

- a - Distância ou dimensão, deslocamento máximo (flecha);
- b – Largura de um retângulo;
- bw - Largura da alma de uma viga;
- c - Cobrimento da armadura em relação à face do elemento;
- d - Altura útil, dimensão ou distância;
- f – Resistência;
- h – Dimensão, altura;
- k – Coeficiente;
- l - Altura total da estrutura ou de um lance de pilar, comprimento, vão;
- r - Raio de curvatura interno do gancho, rigidez;
- s - Espaçamento das barras da armadura;
- u – Perímetro;
- w - Abertura de fissura;
- x - Altura da linha neutra;
- z - Braço de alavanca, distância.

#### **Letras Maiúsculas**

- Ac - Área da seção transversal de concreto;

As - Área da seção transversal da armadura longitudinal de tração;  
A's - Área da seção da armadura longitudinal de compressão;  
D – diâmetro dos pinos de dobramento das barras de aço;  
E - Módulo de elasticidade;  
(EI) – Rigidez;  
F – Força;  
G - Ações permanentes;  
Gc - Módulo de elasticidade transversal do concreto;  
H – Altura;  
Ic - Momento de inércia da seção de concreto;  
M - Momento fletor;  
M1d - Momento fletor de 1ª ordem de cálculo;  
M2d - Momento fletor de 2ª ordem de cálculo;  
MRd - Momento fletor resistente de cálculo;  
MSd - Momento fletor solicitante de cálculo;  
Nd - Força normal de cálculo;  
NRd - Força normal resistente de cálculo;  
NSd - Força normal solicitante de cálculo;  
Q - Ações variáveis;  
R - Reação de apoio;  
Rd - Esforço resistente de cálculo;  
Sd - Esforço solicitante de cálculo;  
T – Temperatura, momento torçor;  
TRd - Momento torçor resistente de cálculo;  
TSd - Momento torçor solicitante de cálculo;  
Vd - Força cortante de cálculo.

### **Letras Gregas**

$\gamma_c$  - Coeficiente de ponderação da resistência do concreto;  
 $\gamma_f$  - Coeficiente de ponderação das ações;  
 $\gamma_m$  - Coeficiente de ponderação das resistências;  
 $\gamma_s$  - Coeficiente de ponderação da resistência do aço;  
 $\epsilon$  – Deformação;

$\epsilon_c$  - Deformação específica do concreto;  
 $\epsilon_s$  - Deformação específica do aço da armadura passiva;  
 $\lambda$  - Coeficiente para cálculo de comprimento de ancoragem, índice de esbeltez;  
 $\rho$  - Taxa geométrica de armadura longitudinal de tração;  
 $\rho_{mín}$  - Taxa geométrica mínima de armadura longitudinal de vigas e pilares;  
 $\sigma_c$  - Tensão à compressão no concreto;  
 $\sigma_{ct}$  - Tensão à tração no concreto;  
 $\sigma_{Rd}$  - Tensões normais resistentes de cálculo;  
 $\sigma_s$  - Tensão normal no aço de armadura passiva;  
 $\sigma_{Sd}$  - Tensões normais solicitantes de cálculo;  
 $\tau_{Rd}$  - Tensões de cisalhamento resistentes de cálculo;  
 $\tau_{Sd}$  - Tensão de cisalhamento de cálculo usando o contorno adequado ao fenômeno analisado;  
 $\tau_{Td}$  - Tensão de cisalhamento de cálculo, por torção;  
 $\tau_{wd}$  - Tensão de cisalhamento de cálculo, por força cortante;  
 $\varphi$  - Diâmetro das barras da armadura;  
 $\varphi_l$  - Diâmetro das barras de armadura longitudinal de peça estrutural;  
 $\varphi_n$  - Diâmetro equivalente de um feixe de barras;  
 $\varphi_t$  - Diâmetro das barras de armadura transversal;  
 $\varphi_{vibr}$  - Diâmetro da agulha do vibrador;  
 $\varphi$  - Coeficiente de fluência.

### **Símbolos Subscritos**

c – concreto;  
 d -c – concreto;  
 d - valor de cálculo;  
 ef – efetivo;  
 eq – equivalente;  
 fic – fictícia;  
 g - ações permanentes;  
 h – horizontal;  
 inf – inferior;  
 j - idade (referente à cura do concreto);

k - valor característico;  
m – média;  
máx – máximo;  
mín – mínimo;  
nec – necessário;  
nom – nominal;  
q - ações variáveis;  
s - aço de armadura passiva;  
sec – secante;  
ser – serviço;  
sup – superior;  
t – tração, transversal;  
tot – total;  
u – último, de ruptura;  
v – vertical, viga;  
vão – vão;  
vig – viga;  
w – alma, transversal;  
y - escoamento do aço;  
R – resistências;  
S – solicitações.

Para que se possa executar uma estrutura com qualidade é necessário que se tenha um projeto de qualidade. Para se ter um projeto de qualidade, tem que sempre estar atento as normas. A principal norma para projeto de estruturas de concreto é a NBR6118/2003, associada a esta existe outras normas muito importantes. Alguns símbolos e letras são utilizadas de forma vasta para poder indicar elementos, momentos, tensões, deformações, etc. É de suma importância seguir todas as normas para que se possa ter um excelente projeto e com o desempenho máximo.

## Capítulo 4 - Principais mecanismos de degradação das estruturas do Concreto e as possibilidades de prevenção, conservação e manutenção das estruturas..

Segundo Almeida (2002), Oliveira (2005); Isaia (2005) e Pinheiro(2003), os principais mecanismos de degradação das estruturas de concreto se estabelecem a partir dessas conjunturas:

### 4.1 Deformações

As deformações do concreto dependem essencialmente de sua estrutura interna.

### 4.2 Retração

Denomina-se retração à redução de volume que ocorre no concreto, mesmo na ausência de tensões mecânicas e de variações de temperatura.

Segundo Almeida (2002), as causas da retração são:

- **Retração química:** contração da água não evaporável, durante o endurecimento do concreto.

Figura 1 – Retração química



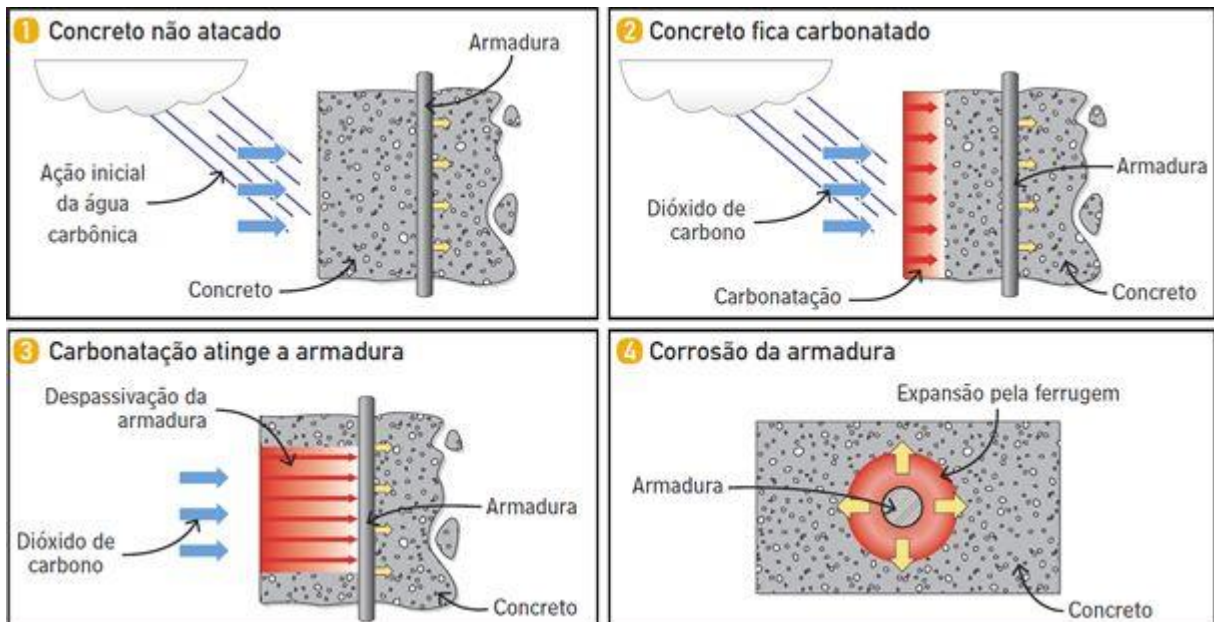
- **Retração capilar:** ocorre por evaporação parcial da água capilar e perda da água adsorvida. O tensão superficial e o fluxo de água nos capilares provocam retração.

Figura 2: Retração Capilar



- **Retração por carbonatação:**  $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$  (ocorre com diminuição de volume).

Figura 3 – Retração por Carbonatação



### 4.3 Expansão

Expansão é o aumento de volume do concreto, que ocorre em peças submersas. Nessas peças, no início tem-se retração química. Porém, o fluxo de água é de fora para dentro. As decorrentes tensões capilares anulam a retração química e, em seguida, provocam a expansão da peça.

Figura 4 : Expansão



Figura 5 : Expansão

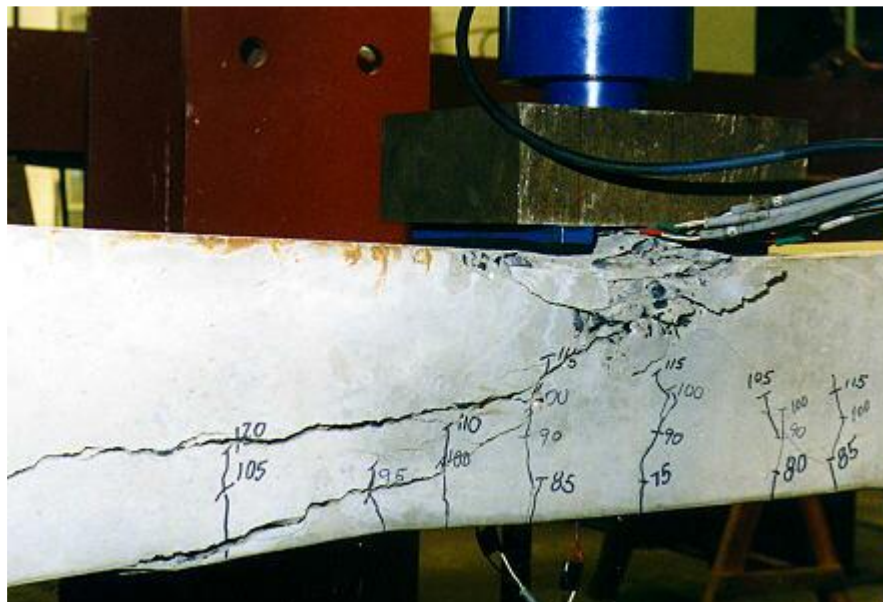


#### 4.4 Deformação imediata

A deformação imediata se observa por ocasião do carregamento. Corresponde ao comportamento do concreto como sólido verdadeiro, e é causada por uma acomodação dos cristais que formam o material.



Figura 6 : Deformação Imediata



#### 4.5 Fluência

Fluência é uma deformação diferida, causada por uma força aplicada. Corresponde a um acréscimo de deformação com o tempo, se a carga permanecer. Ao ser aplicada uma força no concreto, ocorre deformação imediata, com uma acomodação dos cristais. Essa acomodação diminui o diâmetro dos capilares e aumenta a pressão na água capilar, favorecendo o fluxo em direção à superfície. Tanto a diminuição do diâmetro dos capilares quanto o acréscimo do fluxo aumentam a tensão superficial nos capilares, provocando a fluência.

No caso de muitas estruturas reais, a fluência e a retração ocorrem ao mesmo tempo e, do ponto de vista prático, é conveniente o tratamento conjunto das duas deformações.



Figura 7 :Fluência



#### 4.6 Deformações térmicas

Define-se coeficiente de variação térmica  $\alpha_t$  como sendo a deformação correspondente a uma variação de temperatura de  $1^\circ\text{C}$ . Para o concreto armado, para variações normais de temperatura, a NBR 6118 permite adotar  $\alpha_t = 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ .

Os principais mecanismos de degradação de uma estrutura em concreto armado devem-se ao fato das deformações, retrações, fluência e expansão. As características do concreto são modificadas por reações químicas e até mesmo pelo meio que foi aplicado. Deve ser feito um estudo detalhado do local de aplicação sempre, pois assim minimiza o risco de ter problemas na durabilidade do concreto.

Figura 8 : Deformações térmicas



## **Capítulo 5 - Manutenção das Estruturas**

Diante desses fatores, Kihara e Centurione (2005) mapearam ações que auxiliam os procedimentos de manutenções e acompanhamento das condições das estruturas de concreto.

### **5.1 - Ações para utilização e manutenção das estruturas de concreto**

Kihara e Centurione (2005) afirmaram que é evidente a necessidade de definição de estratégias de manutenção levando-se em conta dois grandes grupos de classificação:

- Casos em que a estrutura terá, previsivelmente, um só responsável durante toda a sua vida útil: geralmente acontece com as chamadas estruturas de grande porte, como as pontes e viadutos, os estádios e ginásios, as galerias subterrâneas (metrô inclusive), estruturas e as grandes estruturas industriais.
- Casos de estruturas para construções em que são vários proprietários ou responsáveis, sucedendo-se durante a vida útil delas: esta é a situação mais comum, particularmente para os edifícios de escritório, e mesmo para os residenciais, em que a análise econômica revela horizontes previsivelmente curtos, como é compreensível em sistemas de propriedades privada ou de economia capitalista.

### **5.2 - Manutenção preventiva**

Kazmierczak (2005) explicou que manutenção preventiva é aquela que é realizada com fundamento nas informações providas por inspeções levadas a efeito

em intervalos regulares de tempo, de acordo com critérios preestabelecidos de redução das probabilidades de ruína ou de degradação da estrutura, visando uma extensão programada de sua vida útil.

### **5.3 - Registro das estruturas**

Almeida (2005) afirmou que é essencial para a manutenção que seja feito registro das grandes estruturas, pois com o cadastramento da estrutura se consegue manter um efetivo controle das atividades rotineiras de inspeção, programar e registrar, adequadamente, os reparos ou reforços porventura necessários durante suas vidas.

### **5.4 - Vistoria Periódica**

Cascudo (1997) lecionou que a inspeção periódica é fundamental e indispensável para o método de manutenção preventiva. Quando bem executada essa é uma grande ferramenta essencial para a garantia de durabilidade da construção, sendo sua finalidade a de registrar danos e anomalias e de avaliar a importância que os mesmos possam ter do ponto de vista das condições e segurança estrutural.

A vistoria pode ser executada utilizando-se alguns instrumentos para registro das estruturas como: marreta, ponteiro, nível, máquinas fotográficas, filmadoras. São importantes para vistoriar pontos críticos como fissuras, vestígios de corrosão, concreto e aço, juntas de dilatação, deformações permanentes e o estado geral do concreto (CASCUDO, 1997).

### **5.5 - Vistoria detalhada**

Figueiredo (2005) elucidou que este procedimento deve ser adotado todas as vezes que as vistorias periódicas acusarem a existência de situações anômalas em determinadas peças estruturais, ou em casos de danos emergenciais ou de alarme. Diferenciam-se das inspeções periódicas por serem realizadas por pessoal técnico especializado, com a utilização de sofisticada aparelhagem para medições, realização de ensaios especiais, análise de toda a documentação cadastral e emissão de laudo técnico, complementado, se for o caso, pelo correspondente projeto de recuperação ou de reforço, através de execução de memorial de cálculo e especificações.

### **5.6 - Limpeza**

Martin (2005) alertou para a necessidade de estabelecer rotinas de limpeza nas construções, com o intuito de maximizar a vida útil da obra. No caso de estruturas expostas à ação do tempo, ou localidades em zonas rurais, este serviço se reveste de uma importância ainda maior pela localidade, devendo ser removidas as vegetações de forma geral. Os drenos devem estar sempre desentupidos, além de ter todo o pessoal envolvido nos serviços de limpeza mantendo as estruturas limpas e isentas de poeiras e óleo.

### **5.7 - Proteção superficial do concreto**

Martin (2005) explicou que para prolongar a vida útil das estruturas em ambientes agressivos, faz-se necessária a utilização de revestimentos protetores de

superfície. Uma boa escolha do produto a ser aplicado na superfície do concreto é primordial para o sucesso do trabalho.

Kazmierczak (2005) asseverou que a aplicação de proteção superficial aumenta significativamente a durabilidade das estruturas de concreto. Segundo o autor, é uma opção para diminuir a velocidade de degradação das estruturas já existentes ou em estruturas novas, ajudando a atingir determinada vida útil.

De acordo com o supracitado autor, a proteção superficial do concreto pode ser executada pela aplicação de tintas, vernizes, silicones hidrofugantes ou hidrorrepelentes (impermeabilizantes) ou pela aplicação de argamassas, peças cerâmicas ou outros materiais que aumente a durabilidade da estrutura.

O autor completa, afirmando que um concreto projetado para atender todos os requisitos de durabilidade, em princípio, não necessita de proteção superficial, apenas a aplicação de tintas ou vernizes que cumpram função estética. Quando o projeto não prevê este tipo de concreto, ou existe falha na execução, a proteção é necessária. Dos produtos comerciais encontrados destacam-se: as tintas látex vinílica, tinta látex acrílica, verniz poliuretânico alifático, epóxi, borracha clorada, silicones hidrofugantes.

Acerca do exposto acima, pode-se concluir que no processo de seleção dos produtos deve ser levado em consideração o tipo de exposição em que o concreto estará submetido como, atmosfera urbana, superfícies submersas, superfícies enterradas, atmosfera industrial.

## **5.8 - Proteção Superficial**

Para Martin (2005) é necessário visualizar a aptidão que o produto oferece em resistir à absorção de água, a profundidade de penetração no substrato, a confiabilidade da eficiência para que possa planejar aplicações em intervalos

regulares, estabilidade em meios ácidos e alcalinos, além de não alterar a cor do concreto.

De acordo com o referido autor, da gama de produtos existentes é possível apontar dois tipos que não modificam muito o aspecto superficial do concreto aparente: os revestimentos hidrófugos (repelentes) e revestimentos impermeabilizantes. Para cada tipo deve ser observado o acabamento superficial quanto à porosidade, quantidade de bolhas na superfície, irregularidades, para fazer a escolha do revestimento protetivo adequado. A preparação da superfície é importante: fazer e reparações, se necessário. A superfície tem que estar seca, limpa, com pouca insolação, pouca ação dos ventos.

Kazmierczak (2005) mencionou que os produtos hidrófugos não modificam a cor do substrato, não criam película superficial e têm absorção maior que 10 mm, podendo alterar em função da porosidade e umidade. São indicados para fachadas verticais, nas quais a superfície aparente do concreto foi construída com fôrmas lisas ou fôrmas porosas (tábuas brutas). Nesta categoria encontram-se alguns produtos no mercado que devem ser observadas as características particulares de cada um e as condições ambientais que estará exposto, destaca-se: silicone de base água, silicone de base solvente, silano base solvente, siloxano oligomérico, base solvente, siloxano polimérico base solvente.

O acima citado autor aludiu que estes produtos revelam vantagens, como, a pouca absorção de água, possibilita a circulação de vapor, não mantém úmido substrato, são de fácil reaplicação, apresentam aspecto fosco, não amarelam pela ação ultravioleta. Os produtos hidrófugos não impedem a carbonatação, não resistem à água sob pressão, não resistem à penetração de agentes ácidos.

Figueiredo (2005) esclareceu que os produtos impermeabilizantes agem criando uma barreira contínua, que resulta de uma película superficial com baixa permeabilidade a vapor de água, gases, água. A maioria não absorve fissurações ocorrentes após aplicação do revestimento. Dos produtos disponibilizados no mercado realçam-se: poliuretano (alifático, ultravioleta), resina acrílica, resina acrílica

estirenada, resina epóxi. Os impermeabilizantes impedem a carbonatação, a lixiviação, concentração salina, reduzem a deposição de fuligem e desenvolvimento de fungos.

Entretanto, conforme entende o autor, as desvantagens são: impedimento da circulação de vapor d'água; o aspecto superficial apresenta brilhos; não auxilia na aplicação de nova pintura; a superfície para manipulação deve estar lisa. Os impermeabilizantes possuem dois tipos de solventes utilizados: o orgânico ou água.

Helene e Andrade (2007) alegaram que os solventes orgânicos revelam melhores resultados. Para uma maior proteção das superfícies do concreto podem ser usados sistemas de proteção duplos, que consiste em aplicar um primer, a base de silano ou siloxano, seguido da aplicação de uma camada de verniz como acabamento. Os sistemas duplos proporcionam um período maior entre aplicações se comparados a um só sistema de proteção superficial. Como por exemplo, os produtos hidrófugos de superfície duram em média 3 anos, verniz base solvente duram 5 anos e os sistemas duplos em media 6 a 7 anos.

Os citados autores explicaram que os sistemas duplos tendem a unir as propriedades de duas ou mais resinas, como por exemplo, o silano/siloxano-acrílico, combinando resistência e penetração de cloretos além da penetração de gás carbônico.

### **5.9 - Serviços de reparo**

Andrade (2005) revelou que é importante a execução de reparos nas partes danificadas dos pavimentos e de revestimentos, incluindo a remoção do pavimento ou do revestimento danificado, selagem de juntas de dilatação com elastômeros, modificação da declividade em pisos em casos em que poças d'água estejam sendo formadas, reconstituição de pingadeiras e de pinturas protetoras contra a ação das águas, pequenos trabalhos de reconstituição do cobrimento de armaduras que foram expostas por erosão do concreto ou por choque mecânico, além de contar com pessoal especializado para realização do serviço.

Ainda de acordo com o referido autor, são as vistorias técnicas e a estratégia de manutenção que determinarão como e a que razão uma determinada estrutura está a degradar-se, de forma a estabelecer a necessidade dos eventuais reparos e quando estes afetam o desempenho inicialmente esperado para a estrutura.

Para o referido estudo, optou-se pela abordagem de dois métodos sofisticados de recuperação do concreto, ainda sem casos conhecidos de utilização no Brasil: a Realcalinização e a Dessalinização (extração de cloretos), as quais são abordadas, a seguir.

### **5.9.1 - Realcalinização**

Eggers e Oliveira (1997) explicaram que o objetivo deste método não destrutivo é possibilitar que o concreto carbonatado readquira uma condição satisfatoriamente alcalina para o restabelecimento e manutenção da camada passivadora de óxido de ferro sobre a superfície das armaduras, sem que com isto seja necessário a remoção do concreto são. No desenvolvimento do processo de realcalinização, foram avaliadas três alternativas para o reestabelecimento da alcalinidade, ou seja:

- difusão e adsorção de uma solução alcalina por ação capilar e de forças hidráulicas;
- produção de íons hidroxila através de reação catódica na superfície das armaduras;
- transporte de uma solução alcalina para o interior dos poros capilares do concreto através de um fluxo eletro-osmótico.

Eggers e Oliveira (1997) acrescentaram que o primeiro mecanismo independe do campo elétrico e do fluxo de corrente aplicado, ao contrário do segundo. Já o terceiro mecanismo, fluxo eletro-osmótico, trata-se do transporte de um líquido



através dos poros capilares, sob a aplicação de um campo elétrico. A explicação do mecanismo é que nas paredes dos poros capilares, existe uma camada dupla de moléculas de água ligadas por forças elétricas. A camada mais interna é fortemente aderida às paredes dos poros enquanto a externa é menos intensamente ligada. Quando um campo elétrico é aplicado, uma parte da camada externa se move para um dos pólos, extraíndo a água livre dos poros.

De acordo com os referidos autores sem considerar a diferença de potencial elétrico aplicada, a taxa do fluxo eletro-osmótico é proporcional a espessura da camada dupla e decresce com o aumento da concentração iônica da água no poro capilar. Na verdade, o transporte eletro-osmótico é um fenômeno conhecido da engenharia de solos para estabilizar e remover a água de solos argilosos.

Uma vez que no concreto carbonatado a concentração iônica da água contida nos poros capilares é baixa, o transporte eletro-osmótico foi considerado como um possível mecanismo para aumentar a sua alcalinidade. Muitos eletrólitos foram pesquisados. Soluções saturadas de hidróxido de cálcio e de acetato de cálcio não demonstraram qualquer efeito de realcalinização por transporte eletro-osmótico. Como estes resultados indicaram que metais alcalino-terrosos não seriam eletrólitos eficientes, as pesquisas se concentraram em soluções contendo metais alcalinos. Soluções de carbonato de sódio foram então testadas com êxito. Ensaio de alcalinidade com solução de fenolftaleína comprovaram que o concreto se realcalinizou.

Gonçalves, Andrade e Castellote (2003) aclararam que para distinção entre a contribuição da migração de íons sódio para o interior do concreto e o possível transporte eletro-osmótico da solução alcalina para dentro dos poros, foram efetuadas investigações usando nitrato de sódio e cloreto de sódio. Estas duas soluções são constituídas por sais neutros e completamente dissociáveis em água. Durante o tratamento, o aumento do fluxo de corrente indicou a rápida redução da condutividade.

De acordo com os supracitados autores, após 13 dias de tratamento utilizando uma solução de cloreto de sódio à 3% como eletrólito, o aumento da alcalinidade, facilmente visível através da formação de um anel vermelho ao redor das barras de aço, atingiu a superfície do concreto. As análises do teor de cloreto confirmaram que não houve penetração de cloretos durante o tratamento. Ambos os eletrólitos mostraram que a realcalinização através de reações catódicas é possível, desde que seja promovido o ingresso de íons sódio. As principais conclusões são as seguintes:

- a solução de carbonato de sódio promove a realcalinização através do transporte da solução alcalina para o interior dos poros e pela produção de íons hidroxila na superfície das barras de aço;
- a produção de íons hidroxila depende da disponibilidade de cátions como o sódio;
- os íons cálcio não promovem o mesmo nível de realcalinização, provavelmente devido à sua baixa mobilidade sob o efeito de um campo elétrico;
- mecanismos independentes da instalação de um campo elétrico, tais como a difusão iônica e a capilaridade, também fornecem uma pequena contribuição à realcalinização.

### **5.9.2- Princípios da realcalinização**

Eggers e Oliveira (1997) esclareceram que a realcalinização é desempenhada pela aplicação de um campo elétrico entre a armadura de aço no interior do concreto e uma malha de aço inserida em uma solução alcalina, montada externamente à superfície do concreto. Durante o tratamento a solução alcalina é transportada para o interior do concreto carbonatado pelo efeito de um fluxo eletro-osmótico.

Simultaneamente, a eletrólise na superfície das armaduras produz um meio altamente alcalino.

Os citados autores aludiram que após 3 a 5 dias de tratamento, amostras são extraídas por uma técnica de perfuração em regiões de ensaio previamente demarcadas. As amostras extraídas são aspergidas com uma solução alcoólica de fenolftaleína para determinar a extensão da realcalinização. Quando a realcalinização atingir o nível desejado a corrente elétrica é cessada.

Gonçalves, Andrade e Castellote (2003) completaram que como o carbonato de sódio não é um material nocivo e de baixo custo, o mesmo tem sido adotado para uso em condições de obra. Utilizando-se uma solução 1 molar de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , a realcalinização aumenta o pH do concreto carbonatado inicialmente para valores superiores a 11,5, mantendo um pH final estabilizado, superior a 10,4, o que é suficiente para a repassivação das armaduras.

Os autores lembraram que é relevante a observação de que o transporte eletro-osmótico não ocorre sempre. Já foi confirmado através de experiências, que o concreto carbonatado contendo cloretos é fortemente suscetível aos efeitos do fluxo eletro-osmótico. Isto ocorre devido à redução da espessura camada dupla de moléculas de água nas paredes dos poros pela presença de sal.

Eggers e Oliveira (1997) já haviam observado que de forma igual, o subsídio do transporte eletro-osmótico em um concreto não carbonatado é limitada. Quando tentamos proceder a realcalinização de concretos impregnados, por exemplo com silano ou siloxano, pequenas contribuições da eletro-osmose têm sido observadas. Acredita-se que a razão deste fenômeno é que a continuidade da dupla camada elétrica é quebrada na superfície do concreto e, conseqüentemente, o fluxo eletro-osmótico é prejudicado.

Os referidos autores alegaram que nas estruturas de concreto carbonatadas e impregnadas, a realcalinização por eletrólise simples pode ser empregada. Se o volume de concreto não carbonatado for suficiente para prover uma quantidade

suficiente de íons alcalinos metálicos, a água tratada fornecida para uso doméstico pode ser utilizada como eletrólito ao invés da solução de carbonato de sódio. Porém, o tempo requerido para a realcalinização por eletrólise simples, é de 2 a 3 vezes superior do que quando a eletro-osmose é utilizada.

### **5.9.3- Durabilidade da realcalinização**

Gonçalves, Andrade e Castellote (2003) ilustraram que a solução de carbonato de sódio inserida já é um carbonato e somente pode reagir com uma pequena quantidade de dióxido de carbono da atmosfera. Sob condições atmosféricas normais, 12% de uma solução 1 molar de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  à  $20^\circ\text{C}$ , irá se converter em bicarbonato de sódio, resultando em um pH de equilíbrio de 10,4. Isto é suficiente para a manutenção das propriedades de passivação readquiridas pelas barras de aço.

Os autores apontados complementaram que no decorrer do processo de realcalinização por eletrólise simples, íons hidroxila são formados na superfície das barras de aço. Estes íons irão reagir com os íons sódio provenientes da própria matriz do concreto ou do meio exterior para formar hidróxido de sódio que por sua vez, reagirá com o dióxido de carbono formando carbonato de sódio. Uma vez adquirida esta nova condição, é como se retornássemos a estrutura no tempo, em uma condição de proteção próxima à de uma estrutura nova. Mas é sempre recomendável que seja utilizada uma pintura de proteção para que a proteção obtida com a realcalinização possa ser mantida. A partir deste momento, a manutenção da estrutura poderá passar a ser simplesmente refazer a pintura de proteção ao final da vida útil do sistema utilizado. O momento da repintura deverá ser definido com base em observações periódicas da estrutura recuperada e protegida. O espaço de tempo entre as intervenções para a manutenção do sistema de pintura será tão maior quanto melhor a qualidade e o desempenho do sistema de pintura adotado. Outra

observação pertinente é relativa à compatibilidade do sistema de pintura com a nova superfície de concreto obtida pela realcalinização. Os sistemas de pintura a serem adotados devem possuir uma boa resistência a substratos alcalinos e não é raro a ocorrência de saponificação, caso não haja compatibilidade química entre este e a superfície de concreto tratada.

#### **5.9.4 - Dessalinização (extração de cloretos)**

Eggers e Oliveira (1997) aludiram que no início dos anos 70, algumas experiências provaram que é possível remover íons cloreto do concreto pela indução de uma corrente elétrica. Há pouco mais de 5 anos, este conhecimento foi convertido em uma técnica viável de reparo, conhecida como dessalinização, remoção eletroquímica de cloretos ou extração de cloretos.

Os autores explicaram que o propósito desta tecnologia é retirar os íons cloreto do interior do concreto são. O método é um processo simples, em que os íons cloreto são transportados para fora do concreto, por migração. Durante o tratamento ocorre:

- migração de cátions para as armaduras;
- migração de ânions para um eletrodo externo (malha metálica);
- produção de íons hidroxila na superfície das armaduras como consequência da reação catódica.

Gonçalves, Andrade e Castellote (2003) ensinaram que o tratamento é executado pela aplicação de um campo elétrico entre as armaduras no interior do concreto e um eletrodo constituído por uma malha metálica fixada externamente à superfície do concreto e colocada no interior de um reservatório eletrolítico.

Eles continuam a explanação referindo que muitos eletrólitos foram avaliados durante a evolução do processo, mas a água tratada fornecida para uso doméstico

mostrou-se o mais eficiente. Esta descoberta não foi nenhuma surpresa, já que os íons cloretos são removidos por migração, ou seja, transportados pela corrente entre dois eletrodos. Usando a água tratada, a existência de outros íons estranhos ao processo é minimizada, impedindo uma concorrência indesejável no transporte através da corrente elétrica. O efeito do tratamento é avaliado pela análise de íons cloretos no interior do concreto. Quando o teor de cloretos é suficientemente reduzido, a corrente elétrica é desligada. O tempo de tratamento necessário depende de:

- tipo de contaminação (externa, agregados ou água contaminados);
- tipo de sal (NaCl, CaCl<sub>2</sub>);
- concentração e distribuição dos cloretos através do concreto;
- espessura de carbonatação;
- qualidade do concreto ( relação a/c, consumo e tipo de cimento, etc.);
- temperatura;
- densidade de armadura e espessura do concreto de recobrimento.

Eggers e Oliveira (1997) advertiram que é mais relevante a proporção de cloretos contidos no concreto sob a forma de cloroaluminatos. O equilíbrio entre os cloroaluminatos e os íons cloreto livres depende da quantidade de aluminatos (C3A) presentes no cimento, do pH do concreto e da quantidade e tipo dos íons cloretos.

Os citados autores complementaram que durante a dessalinização os cloretos livres são rapidamente removidos. Logo após, ocorre uma redução na densidade de corrente e na taxa de extração. A razão provável para isto é que os cloretos remanescentes estão mais confinados. Desligando a corrente por algum tempo e depois reativando-a, consegue-se obter uma extração adicional de cloretos. Acredita-se que isto se deve ao aumento da instabilidade dos cloroaluminatos durante a segunda indução de corrente, em decorrência da baixa concentração de cloretos livres e ainda devido a dissipação do elevado pH gerado. Os dois fatos

levam ao desprendimento dos cloretos mais confinados ou aderidos. Um reforço a esta teoria é o fato de concretos produzidos com cimentos com baixo teor de  $C_3A$  (cimentos resistentes aos sulfatos) e concretos carbonatados consumirem um menor tempo para a dessalinização. Nestes dois casos, praticamente todos os cloretos são livres.

Gonçalves, Andrade e Castellote (2003) adicionaram que o tempo típico de tratamento varia de 8 a 12 semanas. Quando se faz necessário a adoção de um período de repouso para reprocessar o processo, um procedimento que tem-se mostrado adequado é efetuar duas semanas de tratamento seguidas de uma semana de interrupção. Esta sequência é então repetida, até que o tratamento seja concluído. Ensaio demonstram que após o tratamento foi possível a redução do teor de íons cloreto foi reduzido a níveis abaixo de 0,4% sobre a massa de cimento.

#### **5.9.5 - Durabilidade da dessalinização**

Gonçalves, Andrade e Castellote (2003) evidenciaram que na corrosão por cloretos geralmente se formam "pits" de corrosão. Quando os cloretos são extraídos, o aço não será corroído embora ainda sempre haja alguma quantidade de cloretos no concreto. A maioria dos países aceita, para novas estruturas de concreto armado, teores de cloreto variando de 0,3 a 0,4% da massa de cimento. Sabe-se que estes valores são orientativos, uma vez que a quantidade de cloretos aceitável dependerá da quantidade de íons cloreto livres, já que exclusivamente estes causam a corrosão. O pH do concreto também é importante já que a quantidade de cloretos mais aderidos, como os cloroaluminatos, parece aumentar com o aumento do pH. Segundo os autores, durante a extração de cloretos, há um aumento de pH ocasionado pela produção de íons hidroxila. Uma vez que a concentração aceitável de íons cloreto aumenta com o aumento da concentração de íons hidroxila, um maior teor de cloretos pode ser admitido após o tratamento, em comparação aos

critérios estabelecidos para estruturas novas. O tratamento reestabelece a propriedade do concreto de oferecer proteção contra a corrosão, estendendo a vida útil da estrutura recuperada. As mesmas observações efetuadas no item 3.2 com relação a necessidade de se adotar um sistema de pintura de proteção de (neste caso também resistente a cloretos), é fundamental.

#### **5.9.5.1- Efeitos colaterais possíveis**

Eggers e Oliveira (1997) advertiram que quando a realcalinização e a dessalinização foram inseridas, surgiram também muitos questionamentos com relação à durabilidade e efeitos colaterais. Ao longo dos anos vários programas de pesquisa mostraram que não há efeitos colaterais relevantes que mereçam destaques.

Os principais efeitos estudados foram a aderência aço/concreto e a possibilidade do desencadeamento de reação álcali-agregado. A carga total durante a realcalinização é normalmente de 70 a 200 Ah, enquanto para a dessalinização a carga é de 650 a 2000 Ah, ambas por metro quadrado de superfície de concreto. A densidade de corrente é ajustada para  $1\text{A/m}^2$  de superfície de concreto.

Para a dessalinização, cujo processo dura algumas semanas, a densidade de corrente poderá cair com o tempo, obtendo-se uma densidade de corrente média entre 0,5 e  $1\text{ A/m}^2$ . Os ensaios realizados demonstraram que para estes níveis de corrente não há mudanças significativas na aderência aço/concreto. O perigo de haver manifestações de reação álcali-agregado varia para cada concreto e dependerá da quantidade e tipo de materiais reativos, teor de íons alcalinos metálicos, umidade, pH e temperatura. Neste caso específico, dado a natureza complexa deste fenômeno e as suas consequências estruturais, é prudente que se avalie cada estrutura que contenha agregados reativos, previamente ao tratamento.



Sabe-se que o meio mais barato de se manter uma construção é fazer as manutenções preventivas e periódicas. Não é de hoje que a engenharia vem criando meios melhores de recuperação de estruturas, visto que as manutenções nem sempre são feitas como deveriam. A algum tempo atrás para estruturas muito danificadas só existia uma solução, a demolição, hoje vemos que já existem técnicas sofisticadas para a recuperação, como: Realcanização e Dessalinização (extração dos cloretos), possibilitando assim uma recuperação satisfatória.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO

Após os estudos, podemos constatar que o concreto é o material mais utilizado no mundo nas construções, sendo estimado o uso de 1tonelada/habitante por ano.

Por se tratar de uma mistura de componentes simples, se tornou o bloco construtor de uma civilização, o principal elemento construtor de quase todas edificações.

O concreto é um composto de água, areia, brita e cimento, mas é a composição química do cimento que torna possível o concreto. O cimento passa por todo um processo, desde a implosão das rochas, a ida ao forno, e a criação do clínker. Esse uma vez frio é misturado com gesso e pulverizado, resultando no conhecido cimento Portland, nome designado pela semelhança com uma pedra que existe em Portland, Inglaterra. Posteriormente foi utilizado o aço como um reforço para a tração e compressão, a inserção do aço nas estruturas de concreto possibilitou o aumento de vãos e produção de diversas obras antes impossíveis.

Até mesmo Thomas Edson se interessou pelo concreto e criou sua fábrica de casas pré-moldadas em 1902. Logo após veio a pró tensão no concreto, o que possibilitou a execução de pontes com comprimentos enormes.

Para que se possa executar um concreto com qualidade precisa-se de boa matéria prima. Um bom concreto necessita primeiro de água limpa e com bons níveis em seu PH, precisa-se de cimento de qualidade, que ao longo dos anos foi incorporado por novos ingredientes, inclusive a escória de auto forno, que no início era um material obsoleto e que passou a agregar qualidade no produto; precisa-se de bons agregados, uma areia limpa e uma brita para poder dar resistência a abrasão.

A aplicação também é muito importante, seguindo os passos da concretagem da barragem Hoover – EUA, lá foi necessário mais de 3 milhões de metros cúbicos,

sempre aplicado com o uso de vibradores, para possibilitar a saída das bolhas de ar, tornando o concreto mais resistente. Além disso é importante calcular o resfriamento ideal do concreto, adicionando sempre a quantidade correta de água, para que a reação química do cimento com a água atinja seu máximo potencial. Após esta aplicação de forma correta, é importante saber que chuvas, ventos e até mesmo a salinidade. O modo como será o acabamento influencia drasticamente na durabilidade, se terá algum revestimento ou se será de concreto aparente.

De forma a atingir uma maior vida útil teremos de seguir o correto cobrimento da armadura, para que esta não seja prejudicada e não venha a corroer e vir a colapso. Procedimentos de aplicação, opção pelos revestimentos e a palavra chave para associar a durabilidade é a MANUTENÇÃO. A manutenção é extremamente importante, pois possibilita checar preventivamente se ocorrerá algum dano na estrutura, gerando tempo para que possa ser feito os serviços de reparo antes do colapso. Existe o desgaste natural e também o ocasionado por algum problema específico, nas vistorias periódicas é necessário avaliar a deterioração dos revestimentos, do cobrimento da armadura, do aparecimento de fissuras e trincas, quanto antes detectamos o problema mais barato de resolve-lo.

Por estes motivos é necessário que se faça sempre vistorias nas edificações, visado identificar problemas já existentes e até mesmo prever problemas futuros, minimizando problemas, economizando dinheiro e salvando vidas. Fazendo sempre com profissionais gabaritados.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, conclui-se que mesmo com a utilização de materiais de alta qualidade na execução de serviços, mesmo para grandes obras, deve ser levado em consideração que a qualificação dos profissionais envolvidos é fator primordial para o sucesso das tarefas. A equipe de comando, engenheiros, técnicos, mestres de obra, encarregados, precisam ter conhecimentos necessários para que possam acompanhar e orientar a equipe executora quanto aos procedimentos corretos para execução das tarefas. Devem ter conhecimento para fiscalizar e intervir nos momentos certos, treinar a equipe de execução para que os procedimentos sejam padrões a todos os integrantes, garantindo assim a qualidade dos serviços e consequentemente a durabilidade.

Também é possível acrescentar que os engenheiros estudem todo o trabalho a ser concebido, desde a etapa de projetos, aquisição e recebimento de materiais, formas de execução e o ambiente, evitando assim diversos problemas patológicos. Durante toda a obra devem ser relacionadas as fissuras, corrosão de modo geral, deformações aparentes, e por vezes o acúmulo exagerado de água. Deve-se também ter muita atenção quanto aos fatores que influenciam em uma estrutura como substâncias deletérias contidas no meio ambiente e outras ações da natureza que em contato direto por períodos maiores de tempo comprometem todo o trabalho e os cuidados até então exigidos.

Todas as manifestações patológicas que possivelmente podem ocorrer em uma estrutura, devem ser cuidadosamente sopesadas de imediato e os reparos necessários devem ser aplicados, evitando com esses procedimentos o aumento dos danos, maior gasto financeiro, e consequentemente perda do trabalho executado.

As modalidades de manutenções, sejam elas de caráter preditivo, preventivo ou corretivos, são de extrema relevância para a vida útil da estrutura. A ideia de que

o concreto é indestrutível tem que ser mudada, o planejamento e execução de inspeções periódicas, mapeamento dos problemas, estudo da evolução, e as intervenções nos momentos certos para que não ocorram maiores danos às estruturas, e que não seja onerosa para os responsáveis públicos ou privados.

Cabe aqui, ressaltar que nas estruturas em concreto aparente um grande problema quanto às manutenções preventivas e corretivas, está relacionado aos materiais e técnicas a serem utilizados, de tal forma que não modifique as características de tonalidades das superfícies. No caso de ações preventivas, utiliza-se com êxito produtos que protegem o concreto quanto à penetração de substâncias nocivas sem que ocorram as alterações na superfície, mas o mesmo não ocorre em casos que se tenha que fazer recomposição da superfície do concreto a danos causados por falhas de concretagem, fissuras, corrosão etc.

Pela imensa variedade de materiais cimentícios, variadas possibilidades de dosagens de concreto, a variação da tonalidade da superfície ao longo dos tempos por substâncias presentes na atmosfera, e ações ambientais como sol, chuva, temperatura, não é possível a reprodução fiel da tonalidade igual ao concreto existente. Nos serviços de reparo das estruturas atualmente não se consegue desenvolver produtos e técnicas capazes de reproduzir fielmente a tonalidade da parte reparada em comparação com a existente, para que não fiquem manchas aparentes e altere a concepção arquitetônica definida na fase de projeto.

Dado ao exposto acima, destaca-se a importância dos cuidados com as estruturas desde a fase de projetos para que não seja necessário em pouco tempo de utilização da estrutura a execução de reparos. É relevante que se faça um bom planejamento de manutenções periódicas para maximização da vida útil da estrutura. A durabilidade está diretamente ligada aos cuidados que tem com a estrutura em todas as fases, projeto, execução e utilização.

O profissional Engenheiro deve estar ciente que a execução da estrutura é uma tarefa “multidisciplinar”, ou seja, depende de diversos profissionais, além de seu parecer mais acurado sobre a estrutura, desde o projeto até entrega final.

Para um estudo posterior, sugere-se a pesquisa em campo de edificações e estruturas, com problemas apontados neste estudo, relacionando os tipos de manifestações patológicas, causas e as formas de prevenção, manutenção e conservação.

Sendo assim, a avaliação e observação das estruturas são primordiais, a fim de evitar uma situação de danos em estágios avançados para que não inviabilize a recuperação, mas é de extrema importância e fundamental que o profissional de Engenharia sempre acompanhe a obra e as estruturas de concreto com frequentes estratégias de inspeção e manutenção da obra.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Ivan Ramalho de. Concretos de Alto Desempenho. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e realizações**. São Paulo: Ibracon, 2005. V2, Cap. 38, p. 1159-1193.

ANDRADE, Tibério. Tópicos Sobre Durabilidade do Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Ed) **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V1. Cap. 25, p. 753-754, 761,762.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. NBR 6118, ABNT, 2014, 238p. 10.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. Execução de estruturas de concreto – Procedimento. NBR 14931, ABNT, 2004, 53p.

CASCUDO, Oswaldo. **O Controle da Corrosão de Armaduras em Concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas**. São Paulo: Editora Pini, 1997.

CASTELLOTE, M.; LLORENTE, I.; ANDRADE, C. **Influence of the external solution in the electroosmotic flux induced by realkalisation**. *Materiales de Construcción*, v. 53, n. 271-272, p. 101- 111. 2003.

EGGERS, M.; OLIVEIRA, P. S. F. **Realcalinização e dessalinização – Novas técnicas eletroquímicas de recuperação de estruturas de concreto**. *Revista Techne* nº 30. São Paulo: Editora Pini, p.41-45. 1997

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. Concreto com Fibras. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e realizações**. São Paulo: Ibracon, 2005. V2, Cap. 39, p. 1195-1224.

FRANÇA, Esdras Poty de. **Tecnologia Básica do Concreto**. In: Apostila Curso Engenharia de Produção Civil. Disciplina materiais de construção. CEFET. Belo Horizonte. 2004. p. 7-13.

GONÇALVES, A.; ANDRADE, C.; CASTELLOTE, M. **Procedimientos de reparación y protección de armaduras. Manual de rehabilitación de estructuras de hormigón**. São Paulo: Paulo Helene e Fernanda Pereira , 2003.p. 341-376.

HELENE, Paulo. ANDRADE, Tibério. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Ibracon, 2007. V2, Cap. 27, p. 905 -944.

ISAIA, Geraldo Cechella. O concreto da era clássica à contemporânea. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V1. Cap. 1, p. 1-41.

KAZMIERCZAK, Claudio de Souza. Proteção Superficial do Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e realizações**. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V2, Cap. 29, p. 879 - 900.

KIHARA, Yushiro; CENTURIONE, Sérgio Luiz. O Cimento Portland. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V1. Cap. 10, p. 295-321.

MARTIN (2005) MARTIN, Juan Fernando Matias. **Aditivos para Concreto**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V1. Cap. 13, p. 381-406.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e Materiais**. São Paulo: Editora Ibracon, 2008. p. 12-14, 121, 122.

MOLIN (2005) MOLIN, Denise Carpena Coitinho Dal. **Adições Minerais para Concreto Estrutural**. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V1. Cap. 12, p. 346-373.

NETO, Cláudio Sbrighi. Agregados para Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V1. Cap. 11, p. 323-326.

PINHEIRO, MUZARDO & SANTOS, **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios** – Monografia apresentada a USP – Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos - USP – EESC – Dep. Eng. de Estruturas, 2004.

YAZIGI, Walid. **A Técnica de Edificar**. São Paulo: Pini 2007. p. 256.