



Monografia

“DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO APARENTES”

Autor: Anderson Anacleto de Amorim
Orientador: Prof. José Eduardo de Aguiar

Belo Horizonte
Janeiro 2010

Anderson Anacleto de Amorim

**“DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO
APARENTES”**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), como requisito para obtenção de titulação de Especialista em Construção Civil, sob Orientação do Professor: José Eduardo de Aguiar.

Belo Horizonte

Janeiro 2010

RESUMO

Este trabalho pretende relatar sobre o concreto com os diferentes tipos existentes, e os materiais que o constituem, incluindo seus agregados e as condições de sua durabilidade.

Diante desses dados, tem como objetivo avaliar os principais problemas apresentados pelas estruturas construídas em concreto armado aparente e as prováveis causas de deterioração que podem ocorrer de acordo com as condições adversas.

Descreve também quais são as maneiras de se evitar tais patologias, a importância da manutenção, aumentando assim a vida útil das estruturas, mantendo a confiabilidade de utilização.

Palavras-Chave: Concreto, concreto aparente, patologias, manutenção.

LISTA DE SIGLAS

MPa: Mega Pascal

K: Potássio

OH: Hidróxido

A/C: Água/cimento

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

C₃A: Aluminato tricálcico

C₂S: Silicato bicálcico

C₃S: Silicato tricálcico aluminato tricálcico

CO₂: Dióxido de carbono

NaOH: Hidróxido de sódio

(SO₂, SO₃): Óxidos de enxofre

(NO₃⁻): Nitritos

(H₂S): Gás sulfídrico

(S²⁻): Íons sulfeto

(CL⁻): Íons cloreto

CaCO₃: Carbonato de cálcio

Ca (OH)₂: 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

(CPBC): Cimento Portland de baixo calor de hidratação

(CPB): Cimento Portland branco

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Bolhas de ar na superfície do concreto.....	26
Figura 02: Falha na emenda da fôrma.....	30
Figura 03: Guarda roda de viaduto com armadura de aço exposta.....	32
Figura 04: Locais onde aves pousam na estrutura.	36
Figura 05: Escoamento de água na superfície do concreto.....	38
Figura 06: Umidade na parede de concreto.....	39
Figura 07: Congestionamento de barra de aço.....	44
Figura 08: Falta de selagem da junta de dilatação.....	44
Figura 09: Estrutura em concreto aparente de escada.....	45
Figura 10: Estrutura em concreto aparente de escada de emergência.....	46
Figura 11: Fissura vertical em pilar de concreto aparente.....	50
Figura 12: Teste de carbonatação com fenolftaleína.....	52
Figura 13: Corrosão da armadura.....	55
Figura 14: Quinas quebradas nas vigas de concreto.....	56
Figura 15: Parede e pilar de concreto aparente.....	58
Figura 16: Mapeamento de fissuras em blocos de fundação devido à reação álcali-agregado.....	60
Figura 17: Limpeza de parede de concreto.....	63
Figura 18: Estrutura em concreto aparente sem proteção superficial.....	65
Figura 19: Aplicação de proteção superficial.....	65
Figura 20: Viaduto com superfície pintada.....	66
Figura 21: Estrutura após tratamento superficial.....	67

ÍNDICE

Monografia	1
1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 Contextualização	9
1.2 Objetivos	10
1.2.1 <i>Geral</i>	10
1.2.2 <i>Específicos</i>	10
1.3 Justificativa/Relevância	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 Concreto	12
2.2 Materiais que constituem o concreto.....	13
2.2.1 <i>Cimento Portland</i>	13
2.2.2 <i>Agregados para Concreto</i>	15
2.2.3 <i>Adições</i>	16
2.2.4 <i>Água</i>	18
2.2.5 <i>Aditivos</i>	19
2.3 Tipos de concreto	19
2.4 Durabilidade do concreto.....	24
2.5 Fatores que influenciam a durabilidade das estruturas de concreto....	27
2.5.1 <i>Na etapa de concepção de projeto</i>	27
2.5.2 <i>Nas etapas de execução</i>	28
2.5.2.1 <i>Camada de superfície e cura</i>	29
2.5.2.2 <i>Permeabilidade no concreto</i>	30
2.5.3 <i>Nas etapas de utilização da estrutura</i>	31
2.6 Causas de deterioração do concreto	32
2.6.1 <i>Ações mecânicas</i>	33
2.6.2 <i>Ações do meio ambiente</i>	33
2.6.2.1 <i>Condições no meio ambiente que favorecem a deterioração das estruturas</i>	34
2.6.3 <i>Os diferentes ambientes em que as estruturas estão inseridas</i>	36
2.6.4 <i>A água como agente de deterioração do concreto</i>	38

2.7	Concreto Aparente.....	39
2.7.1	<i>Recomendação para se ter concreto com tonalidade uniforme e durável.</i>	42
2.7.2	<i>Detalhes construtivos a serem observados nas etapas de projeto</i>	43
2.7.3	<i>Cuidados a serem tomados para evitar mudanças de tonalidade</i>	46
2.8	Patologias.....	47
2.8.1	<i>Fissuras</i>	47
2.8.2	<i>Carbonatação.....</i>	50
2.8.3	<i>Corrosão.....</i>	53
2.9	Principais patologias em concreto aparente.....	57
2.10	Manutenção das Estruturas.....	60
2.10.1	<i>Estratégias para utilização e manutenção das estruturas de concreto</i>	61
2.10.2	<i>Conceito de manutenção estrutural.....</i>	61
2.10.3	<i>Cadastramento das estruturas</i>	61
2.10.4	<i>Inspeção Periódica</i>	62
2.10.5	<i>Inspeção detalhada.....</i>	62
2.10.6	<i>Serviços de limpeza.....</i>	63
2.10.7	<i>Processos de proteção superficial do concreto</i>	64
2.10.7.1	<i>Proteção Superficial do concreto aparente</i>	66
2.10.8	<i>Serviços de reparo.....</i>	68
2.10.9	<i>Decisão de recuperar ou não.....</i>	69
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
	REFERÊNCIAS.....	72

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O concreto é um material utilizado em larga escala no mundo inteiro. Em sua fase final de aplicação, após algumas horas, apresenta-se de forma sólida, passando a idéia de ser um produto altamente resistente, denso, indestrutível, durável, fácil de ser produzido.

Diante destas características negligencia-se sua fabricação, aplicação, inspeção, manutenções e intervenções preventivas e corretivas antes da degradação das estruturas composta por este material.

O concreto possui uma enorme gama de possibilidades de utilização, visando a melhoria e o bem estar da sociedade, facilitando os deslocamentos, melhoria do habitat, aplicações na indústria e várias outras.

Em sua forma final apresenta-se em estruturas, revestido ou aparente. Mesmo sendo um material sólido, robusto, sofre ações maléficas 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.

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

Nota-se que nas estruturas em concreto aparente, ou seja, sem revestimento, não há a barreira de proteção, ficando assim totalmente exposto à intempéries da natureza e ao ambiente a qual está inserido. Sua durabilidade depende unicamente das concepções de projeto, fabricação, uso e manutenção.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Este trabalho tem o objetivo 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.

1.2.2 Específicos

- Identificar as principais patologias apresentadas em estruturas de concreto aparente.
- Como evitar as ocorrências de tais patologias.
- As técnicas de inspeção e manutenção das estruturas em concreto.

1.3 Justificativa/Relevância

Observa-se que nas diversas estruturas que fazem parte do cotidiano da população, sejam nos grandes centros urbanos, no meio rural, indústrias, escolas; deparamos com a grande maioria das construções executadas em concreto armado aparente em condições de conservação ruins. Como em quase todas as obras não se tem um plano de inspeção e manutenção, as atenções são voltadas para as estruturas em concreto somente quando se encontram falhas graves, e que estão expondo vidas humanas ao risco.

Fora isto, o que se vê, são equipamentos urbanos apresentando várias patologias, péssima aparência, e também grande dificuldade de recuperação para torná-los confiável novamente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Concreto

Para Bueno (2000), o concreto é definido como duro, condensado, material de construção feito de cimento, areia, pedra britada e água.

Conforme Mehta (2008) descreve, concreto é um material compósito que possui uma pasta aglomerante ao qual se aglutina partículas ou fragmentos agregados. No concreto de cimento hidráulico o aglomerante é formado pela mistura de cimento hidráulico e água. Já agregado é material granular, como areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada, escória de alto forno ou resíduos de construção e de demolição, que é usado dentro de um meio cimentício para produzir concreto ou argamassa.

Segundo França (2004), 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.

O concreto de cimento Portland é o mais importante material estrutural e de construção civil da atualidade. Conforme descrito por Helene (2007), 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. “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 infra-estruturas” (Isaia, 2005, p.1).

Observa-se também que esses materiais supriram 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.

Conforme descreve Martin (2005), o concreto é um dos materiais essenciais da nossa civilização. Se for feita 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 trabalhabilidade, os tempos de pega, a densidade, as resistências mecânicas, o acabamento e especialmente sua durabilidade.

2.2 Materiais que constituem o concreto

2.2.1 Cimento Portland

O principal constituinte do cimento é o clínquer, material sinterizado e peletizado, resultante 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 consiste na moagem do clínquer previamente obtido com uma ou mais formas de sulfato de cálcio em pequenas proporções (3 a 5% do volume) com o objetivo de regular o tempo de pega ou endurecimento inicial.

Esses autores descrevem ainda que, no Brasil são fabricados diversos tipos de cimento para diversas aplicações, cuja fabricação em muitos casos depende da disponibilidade de matéria prima em cada região, como exemplos a seguir:

Cimento Portland Comum CP I: usado na maioria dos serviços de construção, quando não são exigidas 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 fíler 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 carbonático-filer. 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 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 projetado, 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 para obtenção deste cimento são a partir de materiais com baixo teor de óxido de ferro e manganês, usando caulim no lugar das argilas.

2.2.2 Agregados para Concreto

Material granular, sem forma ou volume definido, de dimensões e propriedades adequadas às obras de engenharia, para fabricação de concretos e argamassas de cimento portland, que podem ser: naturais, britados, artificiais, reciclados.

Nos primeiros estudos sobre o concreto pensava-se 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.

Os materiais utilizados como agregados na fabricação do concreto são encontrados na crosta terrestre originados de rochas ígneas ou magmáticas como, basalto granito, diabásio; rochas sedimentares como, arenito, argilito, calcário, gipsita, turfa; rochas metamórficas como, gnaisse, mármore, xisto, filito. Segundo

Neto (2005), dentre as origens das rochas as que apresentam melhores resultados são as ígneas, pois são mais densas, compactas ex.: 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) descreve que, além da constituição mineralógica e a composição química do agregado, um dos conceitos básicos da ciência dos materiais a microestrutura do material, 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. Agregados graúdos conforme norma NBR 7211 (ABNT, 2004) é o agregado cujos grãos passam na peneira com abertura de malha com 152 milímetros (mm), e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75 mm. O agregado miúdo é aquele cujos grãos passam 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) (NETO, 2005).

2.2.3 Adições

A utilização de adições minerais nos concretos reflete benéficamente, pois elas incorporam grandes qualidades ao produto. Os efeitos benéficos das adições resultam; do efeito físico associado ao pequeno tamanho das partículas, pelo efeito químico pozolânico. A eficiência das adições está diretamente ligada à quantidade utilizada e das condições de cura.

Segundo menciona Molin (2005), surgiram outras adições que geralmente são obtidos por meio 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. Dos materiais empregados nas adições podemos destacar:

- **Pozolanas naturais:** são rochas que não necessitam de nenhum tipo de processo além da moagem para serem empregados.
- **Cinza volante:** material finamente particulado proveniente da queima de carvão em usinas termelétricas. São as cinzas de textura mais fina que arrastadas pelos gases da combustão das fornalhas das caldeiras e recolhidas por precipitadores eletrostáticos ou mecanicamente.
- **Sílica ativa:** é um subproduto resultante do processo de obtenção do ferro silício (insumo usado na produção da maioria dos aços comuns) e silício metálico (insumo usado na produção de componentes eletrônicos, silicone e alumínio). Conforme Molin (2005), na redução do quartzo a silício produz-se o monóxido de silício gasoso, que é levado à parte superior do forno a temperaturas mais baixas, e ao entrar em 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 – obtida da calcinação, entre 600 a 900°C de alguns tipos de argilas, como as caulínicas e os caulins. Na indústria produtora de cobertura de papel possui um resíduo que após tratamento constitui um caulin beneficiado de extrema brancura, finura e pureza gerando um metacaulin de alta reatividade.
- **Cinza de casca de arroz:** material resultante da combustão da casca de arroz, usado pelas indústrias beneficiadoras de arroz como fonte calorífica e vapor nos processos de secagem e parboilização dos grãos.
- **Escória granulada de alto-forno:** Resíduo não metálico proveniente da produção de ferro-gusa em alto forno. São obtidas através da 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 CaCO_3 .

2.2.4 Água

Torna a mistura suficientemente trabalhável, facilita seu transporte, lançamento 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, Yazigi (2007).

Deve-se 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, a durabilidade estão diretamente ligados à quantidade de água que é adicionada na mistura.

A água a ser utilizada na produção de concreto tem ser de boa qualidade, guardadas em caixas estanques para evitar a contaminação por substâncias estranhas, pois para França (2004), deve 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 potável devem atender aos requisitos da norma NBR 6118 para serem utilizadas como água de amassamento e cura

2.2.5 Aditivos

São produtos adicionados ao concreto com a finalidade de melhorar ou modificar suas características. Se usados corretamente facilitam a trabalhabilidade, diminui a segregação, a pega, o endurecimento, o conteúdo de ar ou de outros gases no concreto, a resistência a ações físicas, as ações mecânicas, ações químicas, melhora a durabilidade e a resistência mecânica do concreto.

Nota-se que os aditivos proporcionam uma regularidade na fabricação do concreto ou argamassa e na sua qualidade, ampliando o campo de aplicação do concreto.

De acordo com Martin (2005), diversos fatores devem ser analisados para aplicação dos aditivos de forma a proporcionar os efeitos desejados, e dentre os fatores a serem verificados 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.

2.3 Tipos de concreto

Para Mehta e Monteiro (2008), os concretos são classificados em três categorias:

- Concreto de densidade normal em torno de 2400 kg/m^3 obtido com o uso de areias naturais ou artificiais, agregados graúdos britados, pedregulhos é o mais comum para fins estruturais.

- Os concretos leve massa específica menor que 1800 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 kg/m^3 .

Em vários países a classificação dos concretos é 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.

Observa-se que, por ser o concreto um produto resultante da misturas de vários materiais, onde se pode variar a quantidade de cada matéria prima produzindo assim uma grande gama de tipos de concreto, em que a escolha depende do local onde será aplicado. Para melhor compreensão, França (2004) descreve, dentre as variações podemos destacar alguns mais usuais, conforme abaixo:

- **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. Caracteriza pelo baixo consumo de cimento, em torno de 100 a 150 kg/m^3 , 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 ou 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 (± 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 (± 20 mm), a fluidez do concreto para ser bombeado, é obtida adicionando maior quantidade de; agregado miúdo, água, cimento e aplicação de aditivos plastificantes.
- **Concreto auto-adensável:** Produto com plasticidade e elevada consistência medida através do ensaio de abatimento em torno 220 mm (± 20 mm). Indicado para concretagem de peças com dimensões reduzidas, grande concentração de ferragens. Dispensa o uso de vibradores permite a obtenção de peças bastante compactas sem segregação ou brocas.
- **Concreto projetado:** É concreto de pega ultra-rápida, projetado no local de aplicação, também podendo ser empregado por via seca ou úmida. Na via seca, o concreto é misturado sem água juntamente com 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 do mangote 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, e apresentando a variação de tonalidade dos agregados, esta camada retirada geralmente é inferior a 1 cm. Quanto ao 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, que será adensado, nivelado e receberá um acabamento superficial 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/m³ para 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 aços. A característica básica e massa específica superior a 3000 kg/m³ 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 kg/m³) e baixo consumo de água.
- **Concreto para pavimento rígido:** Na maior parte das estruturas de concreto a resistência, a compressão que define as características. No caso de concreto para pavimento rígido, 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, durável, 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 da 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 maior velocidade de construção; são aplicados também em pontes e obras de arte especiais recuperação de estruturas; aplicação em peças estruturais pré-fabricadas tem como vantagem a reutilização de formas mais rápida.
- **Concreto com fibras:** tipo concreto caracterizado pela sua baixa capacidade de deformação antes da ruptura. A resistência a tração é

muito reduzida quando comparada a resistência à compressão. Com a função de minimizar as 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.

2.4 Durabilidade do concreto

Durabilidade do concreto de cimento portland, é definida como sendo a capacidade de resistir a intempéries, ataques químicos, abrasão ou outros processos de deterioração. O concreto preservará sua forma, qualidade e capacidade de uso original quando exposto ao ambiente ao qual foi projetado. Verifica-se que, nenhum material é durável devido às ações ambientais, a microestrutura muda, e conseqüentemente, as 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.

Com a finalidade de aumentar a produtividade, reduzir custos e atender as demandas de reconstrução no pós-guerra, os projetistas reduziram seções das peças estruturais, aumentando a esbeltez das estruturas e reduzindo cobrimento das armaduras e incrementando as tensões de trabalho. Estas mudanças refletiram negativamente nas construções tendo reflexo 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.

A durabilidade dos materiais de construção a ser empregados nas estruturas deve ser bem analisada, tanto quanto os outros aspectos de projeto e custo inicial, pois, o custo de reparo e substituição das estruturas por falhas dos materiais é parte substancial no orçamento total da construção.

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), o concreto é um material que desperta grandes interesses de sua utilização por parte dos projetistas de estruturas devido a sua resistência. Porém, 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.

Com o crescente número de estruturas deterioradas, a partir dos anos 90 no Brasil, desenvolveu-se varias pesquisas e criou núcleos de estudos sobre a durabilidade das estruturas de concreto. Com a revisão da NBR 6318 (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, conforme Andrade (2005), 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.

O desempenho das estruturas de concreto armado dependerá dos cuidados a serem adotados nas fases, de projeto, execução, controle de materiais, programa de manutenção.

Deve-se dar ênfase em fatores que determinam 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.

O concreto é constituído de três fases: pasta, agregado e zona de transição. Por ser um material poroso devido à quantidade de água ser maior do que necessita 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. Na Figura 01 observa-se uma parede em concreto aparente em que apresenta diversas bolhas na superfície, provocadas por excesso de água, ou ar incorporado.



FIGURA 01- Bolhas de ar na superfície do concreto.

De acordo com Silva (1995), a água ocorre sob forma de vapor ou líquido nos poros, ou como água de cristalização incorporada pelos constituintes hidratados do cimento ou ainda contida no gel que se desenvolve na fase iniciais da hidratação de silicatos e aluminatos do clínquer.

Dependendo das condições climáticas e ambientais o concreto estará sujeito a efeitos de um conjunto de agentes agressivos e diferentes fatores destrutivos que podem ocorrer de forma isolada ou em conjunto que podem ser: mecânicos (impactos), físicos (lixiviação), químicos e biológicos. Devido às ações ambientais atuantes no concreto, que vai interagir com a microestrutura e as propriedades do concreto, podem ocasionar mudanças com o tempo.

A porosidade das peças de concreto facilita a penetração de substâncias agressivas como: CO_2 (gás carbônico), Cl^- (cloreto), O_2 (oxigênio) e H_2O .

Conforme com Silva (1995), o concreto chegou ao fim da vida útil quando o uso da estrutura tornou-se inseguro e a recuperação antieconômica.

2.5 Fatores que influenciam a durabilidade das estruturas de concreto

No estudo de durabilidade, deve-se analisar o meio ambiente em que o concreto será utilizado, a permeabilidade e a camada de superfície a ser coberta, sempre avaliando suas etapas de preparo, como na concepção e execução do projeto, até a sua utilização.

Segundo Souza e Ripper (1998), diversos fatores influenciam nos problemas apresentados nas estruturas de concreto conforme descrito abaixo.

2.5.1 Na etapa de concepção de projeto

Na concepção do projeto é fundamental que atenda todas as solicitações a que a estrutura será submetida durante a vida útil, questões como durabilidade deve ser bem analisada levando-se em consideração o ambiente a qual a estrutura será submetida, Andrade e Silva (2005).

Várias são as falhas possíveis de ocorrer durante a etapa de concepção da estrutura. Elas podem se originar durante o estudo preliminar (lançamento da estrutura), na execução do anteprojeto, ou durante a elaboração do projeto de execução, também chamado de projeto final de engenharia. (Souza e Ripper, 1998, p.24).

Souza e Ripper (1998) descrevem que falhas originadas na fase de estudos preliminares ou anteprojetos acarretam em processos construtivos a custos mais elevados ou gerar transtornos na fase de utilização da obra, e as falhas geradas no processo de concepção do projeto final de engenharia podem criar problemas patológicos sérios como:

- Falta de compatibilização de projetos (arquitetônicos, estruturais, hidráulicos, elétricos etc.).
- Má especificação de materiais.
- Detalhamentos incorretos ou insuficientes.
- Erros de dimensionamento.
- Má definição de concepções estruturais, erro de dimensionamento de cargas atuantes etc.

2.5.2 Nas etapas de execução

Como as obras são executadas em sua maioria de forma artesanal, com prazos e orçamentos curtos, são grandes as chances de ocorrer erros. Seja por falta de qualificação profissional, por falha de fiscalização e condições ambientais, emprego de materiais não adequados etc.

Muitos problemas encontrados durante o uso das edificações têm sua origem na etapa de execução. Os problemas gerados na execução são devido ao grande número de atividades envolvidas, e grande número de profissionais atuando sem que se faça compatibilização dos trabalhos, Andrade e Silva (2005).

A quantidade de água é fator importante na fabricação e durabilidade das estruturas de concreto armado. Conforme cita Guimarães (2005), o consumo de água está diretamente ligado a trabalhabilidade e quanto maior o consumo de água mais fluido é o concreto, tornando se mais fácil o manuseio, mas se aumentar o volume da água e manter os volumes dos demais materiais diminuem-se a relação água/cimento, com isto perde-se em resistência e vida útil da estrutura; a grande quantidade de líquido aumenta a porosidade do concreto.

Atualmente as construções tendem a serem menos duráveis do que em épocas anteriores, devido às mudanças ocorridas no processo de fabricação de cimentos, consegue-se atingir altas resistências com menor quantidade de cimento. Geralmente as especificações dos concretos são em função da resistência a compressão, não levando em consideração a relação água/cimento, com isso na maioria das vezes utiliza-se concretos com grande quantidade de água ocasionando

maior porosidade, alta permeabilidade; facilitando a entrada de umidade e agentes agressivos no interior das peças de concreto. Outro fator de redução da durabilidade das construções é a baixa qualidade da mão de obra.

2.5.2.1 Camada de superfície e cura

É importante que se obtenha uma camada de superfície de alta qualidade para proteger a estrutura da entrada de agentes agressivos. A espessura da camada de superfície pode variar, conforme a opinião de alguns autores, entre 10 a 20 mm ou 20 a 40 mm.

As falhas das camadas de superfície são devido à heterogeneidade do concreto contido nesta área, que podem ser causadas por: efeito parede, segregação, fôrma e adensamento.

Segregação: Separação dos materiais que compõem o concreto devido às diferenças de massas específica e diferentes relações massa/superfície.

Fôrmas: fabricadas com material que absorvem a água do concreto levando as partículas mais finas do cimento para superfície formando uma área mais densa.

Adensamento: A vibração incorreta faz com que partículas mais finas e bolhas de ar tendem a dirigir-se para a origem da vibração.

Silva (1995) descreve que o objetivo da cura é manter saturado o concreto evitando a secagem prematura até que os espaços preenchidos pela água no concreto sejam reduzidos pelo resultado da reação do cimento com a água. O tempo de cura depende do traço da temperatura do concreto, das condições ambientais, da exposição da estrutura ao ambiente,

Percebe-se que a cura inadequada pode gerar uma camada superficial fraca, porosa, permeável, facilitando a entrada de agentes agressivos para interior do concreto.

A cura é uma etapa importante para garantir a qualidade do concreto de cobertura. Sem a cura adequada torna o concreto permeável, pode criar canais superficiais facilitando a penetração de água, gases, retenção de fuligem e difusão de elementos agressivos.

Para melhor compreensão, segundo o autor Helene (1986), a cura em lajes não traz dificuldades, pode ser feita preenchendo uma lâmina d'água de 3 cm de espessura ou cobrir com areia úmida, serragem, algodão, recomenda-se o lançamento de água pelo menos 30 dias, evitando o ressecamento, e o aparecimento de dilatação térmica e retração, por secagem. Não tendo condições de usar água potável, podem utilizar membranas impermeáveis de cura obtidas através soluções ou emulsões aquosas de resinas e parafinas que depositam sobre o concreto e impedem a secagem prematura. São eliminadas naturalmente.

Na Figura 02 observa-se falhas de concretagem na emenda das fôrmas devido a perda da pasta de cimento, vibração incorreta.



FIGURA 02 - Falha na emenda da fôrma.

2.5.2.2 Permeabilidade no concreto

A água está presente no concreto desde o seu início, sendo substância essencial para as reações de hidratação do cimento e é produto facilitador da mistura dos materiais do concreto. Parte da água é perdida ou evapora deixando poros vazios ou não saturados.

Conforme descrito por Silva (1995), a permeabilidade é a propriedade que governa o fluxo do fluido para dentro de um material sólido. O coeficiente de permeabilidade, o vapor de água e gases são menores que o da água, e a medida do coeficiente no concreto geralmente é feito com água.

O concreto apresenta poros de ar que geralmente são ocasionados por falhas de execução e são de dimensões maiores, já os poros na pasta de cimento podem ser: de gel e capilares sendo de dimensões menores. Os poros maiores são os que mais afetam a durabilidade do concreto, e a secagem da pasta de cimento aumenta a permeabilidade devido à retração gerando fissuras.

Para Silva (1995), a redução do fator a/c reduz a permeabilidade do concreto, mas deve ter atenção à compactação e cura do concreto. Para fator a/c acima de 0,6 aumenta bastante a permeabilidade do concreto favorecendo o transporte de substâncias nocivas para o interior do concreto.

2.5.3 Nas etapas de utilização da estrutura

Observa-se que, a falta de manutenção e de conhecimento por parte dos usuários sobre elementos agressivos e sobre a estrutura de concreto como no caso de: exposição prolongada a umidades, aplicação de produtos agressivos ao concreto e às armaduras, podem gerar graves problemas para a estrutura, vindo a comprometer todo o trabalho até então realizado nas etapas anteriores. Um bom programa de manutenção reduz muito os custos com reparação, mas na maioria dos casos não se tem cuidado com a manutenção da edificação. Grandes exemplos são as pontes, viadutos, que são construídos e nunca mais recebem nenhum tipo de tratamento para manter a durabilidade. O uso inadequado ocasiona grandes problemas nas estruturas, como não identificar em local visível a capacidade de carga de pontes, os impactos de veículos em pilares de edifícios, viadutos. Na Figura 03 mostra um guarda rodas de um viaduto em que a armadura de aço está exposta em processo de corrosão, deslocamento de concreto, muita fuligem depositada na superfície do concreto, indicando falta de manutenção da estrutura.



FIGURA 03 - Guarda roda de viaduto com armadura de aço exposta.

2.6 Causas de deterioração do concreto

O concreto é um material durável por isso tornou-se um material muito utilizado no mundo inteiro. Mas diversos agentes naturais atuam sob o concreto provocando o envelhecimento, ou seja, a perda gradual de desempenho estético, funcional e estrutural. As causas da deterioração provêm de diversas ações mecânicas, física, físico-químicas, biológicas. Estas ações ocorrem isoladamente ou na maioria das vezes de forma simultânea e progressiva, a velocidade depende do meio a que se esta inserida, como por exemplo, em meios agressivos, Andrade (2005).

A água geralmente está presente na maioria dos casos de deterioração de estruturas de concreto, a facilidade com que penetra nos sólidos porosos determina a taxa de deterioração. Outros efeitos que influenciam a durabilidade do concreto são: o desgaste das superfícies, fissurações, exposição a temperaturas extremas, congelamento ou fogo, efeitos químicos, Mehta e Monteiro (2008).

2.6.1 Ações mecânicas

Dentre as causas da deterioração do concreto destacamos o desgaste superficial: os elementos de concreto estão susceptíveis a ações de desgaste por agente abrasivo ocasionando perdas de material na superfície. A abrasão é um desgaste em que ocasiona perda de desempenho mecânico, o atrito entre diversos objetos e o concreto.

2.6.2 Ações do meio ambiente

A ação do meio ambiente influencia muito na durabilidade do concreto, o local de instalação e os agentes que incidem sobre a estrutura que determina os fatores de deterioração do concreto. Por isso o conhecimento do clima e suas variações são importantes para determinar a escolha correta no projeto da estrutura a ser executada.

Para Lima (2005), a vida de serviço de uma estrutura de concreto, as condições do ambiente em que será exposta são tão importantes quanto às propriedades mecânicas.

Diversos fatores influenciam na degradação da estrutura: a temperatura, a umidade relativa, o vento, a poluição e a agressividade da água.

A temperatura, a umidade e o vento influenciam tanto no concreto fresco como no concreto endurecido, o que pode gerar retração do concreto, surgindo tensões que provocam fissuras. Este fenômeno facilita a penetração de oxigênio e umidade, ocasionando corrosão das armaduras.

Os fatores isolados não determinam o nível de degradação da estrutura, mas a combinação de diversos fatores pode aumentar significativamente, como no caso de elevação de temperatura, que intensificam as reações na estrutura e a velocidade de degradação.

O concreto de cimento portland é susceptível a variação térmica, por isso não é capaz de absorver as deformações provocadas pelas variações. Grandes amplitudes térmicas desencadeiam contração e retração, gerando esforços de tração no concreto com a possibilidade de aparecimento de fissuras que são prejudiciais à estrutura.

A Norma Brasileira 6118 (ABNT, 2004), prevê valores entre 10 e 15°C como amplitudes máximas anuais, valores acima destes deve-se ter cuidados especiais com a estrutura. O vento e a radiação solar influenciam na temperatura interior do concreto.

2.6.2.1 Condições no meio ambiente que favorecem a deterioração das estruturas

A chuva e a umidade relativa do ar: são fatores que determinam a presença ou não de água no interior dos poros do concreto e provocam a reação de degradação. O grande movimento de absorção e perda de água para o meio ocorre quando da incidência de chuva direta ou elevada umidade do ar. O concreto, por ser material poroso, absorve esta água que fica armazenada no interior da estrutura. Quando a umidade abaixa tende-se ao equilíbrio e a água presente nos poros tende a sair. Neste movimento a água transporta também substâncias havendo uma troca com o meio ambiente.

De acordo com Lima (2005), a umidade no interior dos poros interfere na velocidade de corrosão das armaduras, sendo este processo é eletroquímico, e necessita de água para que os íons possam movimentar e gerar corrente de corrosão.

Chuva ácida: O ambiente urbano e industrial está carregado de substâncias lançadas na atmosfera que precipitam de forma seca ou úmida nas edificações. Os compostos lançados na atmosfera pelas indústrias e os veículos automotores, como por exemplo, o dióxido de enxofre reage com o vapor de água produzindo ácido sulfúrico, que é diluído pelas águas de chuva, e que em contato com o concreto desencadeia sua degradação.

Vento e chuva dirigida: A intensidade, a velocidade e a direção do vento em uma região também influenciam nos fatores de deterioração das estruturas. O vento também deve ser levado em consideração ao projetar uma estrutura e não só pelos esforços atuantes, mas como fator intensificador de deterioração. Quanto maior a velocidade e intensidade, maior será a incidência de chuva e deposição de partículas na estrutura. A cada nova edificação construída em um local acarretará em alterações na velocidade e direção do vento.

Portanto, não se pode projetar baseando somente em fatores históricos. É preciso analisar o instante, as mudanças ocorridas, e desenvolver projetos levando em consideração todos os fatores.

A força em que a chuva incide sobre a estrutura está relacionada com a velocidade e direção dos ventos, do tempo e quantidade de chuva incidente, principalmente nas fachadas das edificações.

Poluentes: Na atmosfera existem várias substâncias agressivas e que devem ser levadas em consideração como fator de degradação das estruturas de concreto armado. Uma das principais substâncias nocivas às estruturas está o CO_2 - Dióxido de carbono, que desencadeia o processo de carbonatação do concreto e a conseqüente corrosão das armaduras. A reação do CO_2 com os compostos hidratados do cimento, principalmente o Ca(OH)_2 , forma-se o carbonato de cálcio $\text{Ca(O}_3)_2$ e água. Com essas reações o pH do concreto baixa alterando a estabilidade da película de passivação do aço, favorecendo o início da corrosão da armadura, que é uma das patologias que mais afetam as estruturas de concreto armado.

No processo de carbonatação a velocidade e a profundidade são em função da exposição da estrutura ao meio ambiente, da concentração do CO_2 na região, da umidade, da temperatura, da qualidade do concreto (porosidade e alcalinidade).

Pode-se destacar também como substância nociva presentes na atmosfera, partículas sólidas que se depositam nas estruturas tais como: sementes; fezes de animais, que com as chuvas produzem ácidos, crescimentos de fungos e vegetações prejudicando as estruturas expostas.

Insolação: A insolação somente é prejudicial quando associada a outros fatores. A insolação direta pode acarretar aumento da temperatura interna das peças estruturais. Um fator em que é conseqüência direta deste fenômeno é a degradação das películas de proteção das estruturas tais como tintas, vernizes, silicões.

A Figura 04 mostra parte de uma estrutura em concreto aparente, que sua forma arquitetônica facilita a acomodação de aves, acumulando fezes, fuligens, águas de chuva, propiciando a degradação do concreto.



FIGURA 04 - Locais onde aves pousam na estrutura.

2.6.3 Os diferentes ambientes em que as estruturas estão inseridas

As estruturas de concreto estão inseridas em diversos ambientes que devem ser estudados para a definição do projeto das estruturas prevendo as diversas ações de degradação, conforme descrito em Lima (2003), no Brasil quem estudou e diferenciou os diversos ambientes foi Helene (1986), que dividiu em ambiente urbano, ambiente marinho e outros ambientes com características específicas, como atmosferas viciadas e industriais.

Ambiente urbano: A concentração populacional provoca diversas alterações no meio ambiente em toda a área de abrangência. Essas alterações influenciam na degradação das estruturas de concreto.

Para atender as necessidades humanas são necessárias diversas atividades, que aos poucos vão modificando todo o sistema natural causando prejuízos ao próprio homem. A ocorrência de chuvas ácidas, a deposição de partículas sólidas, o lançamento de dióxido de carbono, que provoca a carbonatação, a alteração no regime de ventos intensificando chuvas dirigidas, todos são fatores que intensificam a degradação das estruturas. Lima (2005).

Ambiente marinho: é o mais prejudicial às estruturas de concreto, grande concentração de agentes agressivos, alta velocidade de ataque.

Lima (2005) explica que a água salgada é o maior agente de deterioração das estruturas, sendo composta por diversos elementos químicos que provocam degradação física, química e também biológica.

Dentre as patologias das estruturas de concreto em ambiente marinho a que mais preocupa é a corrosão das armaduras, pois afeta diretamente a segurança estrutural e também a grande dificuldade e alto custo para repará-las.

Ambientes diferenciados (esgotos): As redes de esgotamento sanitário que são construídos de concreto. Estas estão sujeitas a degradação pela ação de compostos de enxofre que atacam o cimento hidratado e as armaduras de aço. Também se podem ressaltar os ataques por bactérias anaeróbicas e aeróbicas presentes nos sistemas de esgotos.

Lima (2005) ainda menciona que, a formação de sulfato de cálcio provoca reações em que aumentam o volume das matérias acarretando fissuração, desagregação do concreto deixando as armaduras expostas em contato com o meio agressivo dando início ao processo de corrosão.

Grandes são os problemas apresentados em estruturas de concreto das estações de tratamento de esgoto, devido a não tomar o cuidado em especificar concretos especiais para resistirem ações degradantes proveniente dos esgotos.

Ambiente industrial: são bastante degradantes no que se refere às estruturas de concreto. Devido ao fato de possuir inúmeros ramos de atividade industrial, onde cada um desses, devido à natureza dos processos, emite diversos fatores de degradação, não é possível relacionar todos. Mas, a grande maioria lança na atmosfera substâncias como: monóxidos, dióxidos, derivados de sulfatos, partículas sólidas. Estas substâncias em contato com a água de chuva são absorvidas pelas estruturas de concreto dando origem as patologias. Lima (2005).

2.6.4 A água como agente de deterioração do concreto

É fundamental tanto na criação quanto da destruição dos materiais naturais. Costuma ser agente principal na maioria dos problemas que ocorrem no concreto. Na maioria dos sólidos porosos é a causadora de processos químicos de degradação, atua como fonte de transporte de íons agressivos. Para os autores Mehta e Monteiro (2008), o concreto não é o único material suscetível aos processos de deterioração causados pela água, e esta pode se apresentar em variadas formas como água do mar, subterrânea, de rio, de lago, de neve, gelo, de chuva, vapor. É um material abundante, suas moléculas são pequenas e com isso conseguem penetrar em cavidades ou poros extremamente finos, por ser um solvente muito eficaz consegue dissolver diversos tipos de matérias, e a presença de íons e gases são fundamentais para a decomposição de materiais sólidos.

Na Figura 05 o escoamento de água constante proveniente de limpeza de pisos acarreta na absorção de umidade pelo concreto levando a degradação da estrutura.



FIGURA 05 - Escoamento de água na superfície do concreto.

Na Figura 06 a umidade existente que é absorvida pela estrutura já apresenta sinais de corrosão e deslocamento do concreto.



FIGURA 06 - Umidade na parede de concreto.

2.7 Concreto Aparente

O concreto aparente foi introduzido como concepção arquitetônica no início do século XX na Europa, por arquitetos modernistas. O concreto foi amplamente difundido logo após a 2ª guerra mundial no processo de reconstrução das partes afetadas, onde buscavam o menor custo e menor tempo de execução. Somente neste período conseguiu-se produzir concretos homogêneos com aparência regular, com as novas tecnologias implementadas, Silva (1995).

Em meados do século XX o uso do concreto consolidou-se no Brasil, com a abundância de matéria prima, e a facilidade de se produzir estruturas dando liberdade à imaginação dos projetistas. A plasticidade do concreto, a resistência, a ousadia dos projetistas, junto da necessidade de construir grandes estruturas, com grandes vãos e formas estruturais diferenciadas, possibilitou produção de obras de

arte especiais como pontes, viadutos, túneis, portos, aeroportos, pistas de rolamento, plantas industriais, repartições públicas, escolas. Geralmente essas são construções com grandes áreas edificadas, com os arquitetos utilizando todo o potencial que o concreto pode oferecer. A aparência acinzentada do concreto, explorada como elemento de arte, e o acabamento final da superfície, deu origem ao concreto aparente.

A partir do momento em que se passou a explorar a textura natural do concreto, não executando o revestimento superficial para esconder as possíveis imperfeições do concreto, perdeu-se uma camada de proteção da estrutura, ficando assim o concreto exposto às intempéries e outras agressões à estrutura. O concreto agora conta apenas com sua capacidade de suportar todos os agentes agressores, não cabendo mais nenhum tipo de erro, em sua fabricação e utilização, sob pena de reduzir sua vida útil, comprometendo toda sua durabilidade. O material até então considerado indestrutível, durável, apresenta sinais de degradação, sua aparência com o passar dos tempos vai ficando longe do que foi um dia inspirado como conceito arquitetônico.

Quando se usa o concreto como forma de apresentação final da estrutura deve-se preocupar também com a aparência, e não só com a resistência e a durabilidade. Ao projetar uma estrutura em concreto aparente o projetista tem que pensar em todos os detalhes construtivos. A aparência final dependerá de um estudo minucioso do concreto, detalhes das fôrmas, pois ficará estampado na fachada. Especificar um concreto que suporte todos os efeitos nocivos que incidem sobre ele, e que estão presentes no meio ambiente; para que se mantenha a aparência por longos anos sem ser alterados suas características.

Devem-se desenvolver projetos e estudos para que ao longo da vida útil da estrutura se faça manutenções periódicas para que se restabeleça a aparência original, ao menor custo.

Conforme descrito em Silva (1995), concreto aparente é o meio mais econômico de fabricar estruturas de concreto armado devido ao baixo custo inicial e o reduzido custo de manutenção ao longo da vida útil. Para que esta economia se confirme é necessário que o projeto da estrutura esteja de acordo com a função que exercerá e que reduza a degradação do concreto devido à sua exposição direta aos agentes nocivos, deve-se pensar em cada detalhe construtivo como: saliências, inclinações, escoamento de água.

É preciso especificar um concreto que atenda as solicitações durante a vida útil. Necessita ser um material que resista a umidade, agentes nocivos presentes na atmosfera, variações de temperatura e que dê proteção às armaduras de aço.

Toda estrutura de concreto armado a ser executada deve ser bem estudada, principalmente se a superfície do concreto ficar exposta. Necessita de grande conhecimento e domínio das técnicas de fabricação e execução das estruturas. Ao ser bem executada beneficiará a resistência e durabilidade.

Silva (1995) descreve que as estruturas em concreto aparente são tratadas da mesma forma que o concreto revestido. O revestimento que é aplicado não garante que estará protegida se não houver um controle da qualidade dos revestimentos, que podem apresentar alta permeabilidade se for executado com a relação água/cimento alta.

Na confecção dos projetos muitas vezes não se verifica o local onde a estrutura estará inserida, a direção dos ventos, o escoamento das águas na superfície do concreto, além disto os detalhamentos de pingadeiras são importantes para o aumento da vida útil das estruturas.

Para Silva (1995), nas especificações de projetos não constam tipo e marca do cimento, mantendo assim a igualdade do produto durante a execução da obra, o mesmo vale para os outros constituintes do concreto, a fim de obter uniformidade na aparência final desejada. A água e os aditivos também podem influenciar a tonalidade do concreto, geralmente só verificam a influência destes materiais no que se refere a resistência a compressão e o ataque as armaduras.

De acordo com Silva (1995), os projetistas não especificam um fator A/C para garantir um concreto com baixa permeabilidade e alcalinidade do concreto suficiente para proteger as armaduras. Geralmente todo o processo de execução das estruturas em concreto armado aparente segue os mesmos procedimentos adotados para estrutura em concreto que irão receber algum tipo de revestimento.

Percebe-se que é importante já na etapa de projeto especificar o tipo de fôrma, detalhes de juntas entre os painéis, tipo de desmoldante, para que se tenha a superfície conforme o projeto. Para alcançar o resultado final satisfatório dependem muito das pessoas envolvidas no processo, engenheiros, mestres, operários. A grande dificuldade que se tem é em função da baixa qualificação e alta rotatividade da mão de obra. Com este quadro, o que mais tem ocorrido são construções com

vida útil não satisfatória, baixa durabilidade, levando a ter que executar reparos com pouco tempo após a execução, Silva (1995).

2.7.1 *Recomendação para se ter concreto com tonalidade uniforme e durável*

Observa-se que diversos cuidados devem ser seguidos para obter estrutura em concreto aparente que atenda todos os quesitos necessários para ser durável, e com bom aspecto visual. Dentre os cuidados para obter bons resultados, Silva (1995) destaca:

- Ainda na fase de projeto, utilizar forma arquitetônica adequada para que se possa alcançar todas as partes da estrutura para facilitar a inspeção e manutenção Silva (1995).
- Utilizar materiais bem selecionados para evitar agentes agressivos ao concreto na produção, fazer dosagens adequada às necessidades da estrutura contemplando o meio ambiente a qual será edificada. Na dosagem não pensar somente na resistência a compressão, mas também a durabilidade. Desenvolver projetos das peças estruturais de forma que facilite o lançamento e adensamento, do concreto, que resista aos agentes agressivos presentes na atmosfera, e na produção das peças para evitar os defeitos superficiais e seguir as especificações de cobertura exigida para cada situação.
- Limitar a ocorrência de fissuração, e utilizar produtos que protegem a superfície do concreto contra a ação dos agentes agressores, presentes no ambiente, e que não descaracterize a condição de concreto aparente.

2.7.2 Detalhes construtivos a serem observados nas etapas de projeto

Silva (1995) sugere que em meios agressivos, os cantos e bordos sejam arredondados reduzindo a possibilidade de acúmulo de agentes deletérios, no dimensionamento das armaduras evitem o congestionamento, ou seja, concentração de barras de aço muito próximo umas das outras, para não ocorrerem falhas no adensamento. Desenvolver pingadeiras nas bordas das vigas evitando o escoamento de água pela superfície do concreto, selar as juntas de dilatação.

Verifica-se que é importante observar a variação das tonalidades do cimento, da areia, relação a/c, mistura mal feita, aditivos concentrados em algum ponto, fôrmas com materiais diferentes e nº de utilizações diferentes, desformas em idades diferentes.

No detalhamento das estruturas Silva (1995) relata que, a relação entre a área exposta e o volume de concreto deve ser o menor possível, diminuindo o risco de penetração de agentes deletérios e com isto, fará com que a estrutura fique mais robusta, aumentando o custo da obra.

Na Figura 07 o congestionamento de armaduras de aço e falta de cobrimento, impossibilitou a passagem do concreto, tornando o canto frágil ocorrendo o deslocamento do concreto.



FIGURA 07 - Congestionamento de barra de aço.

Na Figura 08 estrutura em concreto aparente não foi feita a selagem das juntas de dilatação, ocorrendo escoamento de água e a conseqüente corrosão das armaduras e deslocamento do concreto.



FIGURA 08 - Falta de selagem da junta de dilatação.

Na Figura 09, em estrutura de escada de emergência o friso no concreto facilitou o acumulo de lodo e crescimento de plantas.



FIGURA 09 - Estrutura em concreto aparente de escada.

Na Figura 10 a pingadeira construída não foi eficiente deixando a água escoar pela laje danificando a estrutura, desenvolvimento de corrosão da armadura e início deslocamento do concreto.



FIGURA 10 - Estrutura em concreto aparente de escada de emergência

2.7.3 Cuidados a serem tomados para evitar mudanças de tonalidade

Manter a mesma marca e tipo do cimento, agregado miúdo de uma só jazida com granulometria controlada. Caso seja difícil fidelizar a origem e tipo de materiais, deve-se então guardar uma amostra no início de execução para utilizar como parâmetro de comparação nas análises dos materiais quando forem feitas novas compras.

Silva (1995) sugere que faça análises químicas periódicas para verificar os teores de adições no cimento. Uma boa seleção dos agregados é de vital importância, pois não devem conter minerais reativos evitando reações com os álcalis do cimento.

Outros fatores devem ser observados com a finalidade de manter uniformidade do concreto aparente como:

- Agregado miúdo isento, de materiais carbonosos e pirita que com o passar do tempo pode aparecer manchas avermelhada no concreto.
- Evitar o uso de agregados graúdos angulosos e com grande diferença de massa específica para não ocorrer segregação.

- Promover bem a mistura dos aditivos com os outros materiais componentes do concreto para evitar heterogeneidade e causar e causar problemas na resistência, durabilidade e variações de tonalidade apresentando aspecto ruim.

Para reduzir as diferenças de coloração do concreto Silva (1995) recomenda usar aditivo plastificante e o uso de aditivo incorporador de ar quando a areia estiver com pouco teor de finos. É importante verificar sempre a homogeneidade da cor, pH, teor de sólidos e cloretos e a massa específica dos aditivos.

2.8 Patologias

Na construção civil o termo patologia é empregado quando o desempenho de uma estrutura, ou parte, dela não está conforme planejado, seja na capacidade mecânica, funcional ou estética. São analisados também o tempo e condições de exposição, que remetem a associação a aspectos de durabilidade, vida útil e desempenho, Andrade e Silva (2005).

Dentre as principais causas e os problemas que podem acometer uma estrutura de concreto aparente, podemos citar algumas que prejudicam sua funcionalidade, a qualidade e sua durabilidade, destacando-se: fissuras, cloretos, carbonatação.

2.8.1 Fissuras

São aberturas que acontecem no concreto armado sendo o caminho mais rápido de penetração dos agentes agressivos até a armadura, Perdrix e Carmem (1992).

Designa-se genericamente por Patologia das Estruturas esse novo campo da Engenharia das Construções que se ocupa do estudo das origens, formas de manifestação, conseqüências e mecanismos de ocorrência das

falhas e dos sistemas de degradação das estruturas. (Souza e Ripper, 1998, p.14).

Para Souza e Ripper (1998), as fissuras são ocorrências características das estruturas de concreto, que mesmo sendo comum de ocorrer, chama muita atenção das pessoas, temendo que algo desastroso possa acontecer independente da característica do fato. Para caracterizar um problema estrutural dependerá da origem, intensidade, magnitude da fissuração, uma vez que o concreto por natureza fissurará sempre, devido a baixa resistência à tração.

Thomaz (1989), descreve que com a evolução dos materiais e o aparecimento de novas técnicas de projeto e execução as estruturas tornaram-se mais leves e mais esbeltas, tornando-as mais suscetíveis às movimentações, levando às ocorrências de fissurações.

Dentre os inúmeros problemas patológicos que afetam os edifícios, sejam eles residenciais comerciais ou institucionais, particularmente importante é o problema das trincas, devido a três aspectos fundamentais: o aviso de um eventual estado perigoso para a estrutura, o comprometimento do desempenho da obra em serviço (estanqueidade à água, durabilidade, isolamento acústica, etc.), e o constrangimento psicológico que a fissuração do edifício exerce sobre seus usuários. (Thomaz, 1989, p.15)

O processo de fissuração pode ocorrer em uma estrutura como conseqüências de identificação, sendo necessário desenvolver sistemas para análise, para que se consiga a correta causa das ocorrências, dimensões e as variações ao longo do tempo. Souza e Ripper (1998).

Para melhor entendimento, Souza e Ripper (1998) relatam que são vários os fatores que levam a estrutura à formação fissuras, tais como:

Deficiências do projeto: podem ocorrer devido à falhas humanas, em que os projetistas não atentam ao modelo adequado da estrutura, erro na avaliação das cargas, falta de detalhamentos ou erro no dimensionamento, projeto inadequado ao ambiente, erro de dimensionamento de juntas de dilatação.

Contração plástica do concreto: ocorre antes da pega do concreto, a água em excesso presente no concreto evapora rapidamente ocorrendo a contração do concreto, podendo ser logo após a aplicação do material.

Assentamento e perdas de aderência das armaduras: movimentação de formas e escoramentos. Retração do concreto diferença de execução. Reações

expansivas, corrosão das armaduras, recalques, mudanças de temperaturas, ações aplicadas.

Conforme descrito em Thomaz (1989), os fatores que favorecem o aparecimento de fissuras em obras de construção civil são:

- Movimentações provocadas por variações térmicas e de umidade;
- Atuação de sobrecargas ou concentração de tensões;
- Deformidade excessiva das estruturas;
- Recalques diferenciados das fundações;
- Retração de produtos à base de ligantes hidráulicos;
- Alterações químicas de materiais de construção.

As trincas manifestam nos edifícios segundo processos que podem parecer totalmente aleatórios, mas que na realidade são originados na maioria das vezes por fenômenos físicos químicos ou mecânicos que já são de perfeito domínio técnico; a certa aleatoriedade peculiar aos estados de fissuração deve-se muito mais à enorme gama de variáveis envolvidas no processo, com combinações complexas que às vezes são de difícil entendimento. (Thomaz, 1989, p.173).

Para Thomaz (1989), as fissuras geram grandes polêmicas e ações judiciais, onde técnicos e empresas da construção atribuem uns aos outros a responsabilidade do problema e geralmente o consumidor tem que arcar com o custo da recuperação.

As fissuras podem ser minimizadas já na fase de projetos, as estruturas precisam movimentar com isso os profissionais precisam desenvolver detalhes que possibilitem essa movimentação sem que caracterize falha ou defeito da estrutura. No projeto diversos fatores devem ser considerados, como: estética, segurança, higiene, funcionalidade, custo de construção, custos de manutenção e durabilidade, Thomaz (1989).

A prevenção de fissuras nos edifícios, como não poderia deixar de ser, passa obrigatoriamente por todas as regras de bem planejar, bem projetar e bem construir. Mais ainda, exige um controle sistemático e eficiente da qualidade dos materiais e serviços, uma perfeita harmonia entre os diversos projetos executivos, estocagem e manuseio corretos dos materiais e componentes no canteiro de obras, utilização e manutenção corretas do edifício etc. (Thomaz, 1989, p.127)

Na Figura 11 mostra uma fissura vertical, devido à corrosão e expansão da armadura.



FIGURA 11- Fissura vertical em pilar de concreto aparente.

2.8.2 Carbonatação

É o processo físico-químico de neutralização da fase líquida intersticial do concreto, saturada de hidróxido de cálcio e de outros compostos alcalinos hidratados. O dióxido de carbono (CO_2), os óxidos de enxofre (SO_2 , SO_3), e o gás sulfídrico (H_2S), presentes na atmosfera desencadeiam processo de reações químicas em contato com a estrutura recebe o nome de carbonatação devido à maior incidência de CO_2 nas reações de neutralização.

A carbonatação reduz o pH do concreto que é acima de 12,5 para níveis abaixo de 9,5 com isso, o concreto perde a camada protetora que envolve as armaduras de aço. O avanço acontece a partir da superfície para o interior da peça de concreto, quando atinge as armaduras gera sua despassivação, ou seja, o início da corrosão das armaduras.

A velocidade e profundidade da carbonatação dependem do meio ambiente (concentração de CO_2 , umidade relativa do ar, temperatura), das características do

concreto endurecido (composição química do cimento, traço do concreto, execução, falhas, qualidade da cura).

Pode-se dizer também que, carbonatação é o processo químico que atua lentamente através do concreto, a partir da superfície até atingir as armaduras de aço, causando a corrosão eletroquímica. Ocorre quando o dióxido de carbono presente na atmosfera reage com umidade existente no interior dos poros de concreto transformando o hidróxido de cálcio com pH elevado, em carbonato de cálcio que tem um pH mais neutro.

O pH do concreto é alcalino, em torno de 12 a 13 e possui uma camada que protege as armaduras, com a reação do dióxido de cálcio e os elementos contidos na pasta de cimento, o pH do concreto abaixa deixando a camada passivadora que protege o aço vulnerável, facilitando as reações maléficas.

As maiores incidências de carbonatação, conforme descrito por Figueiredo (2005) está em locais onde a umidade relativa esta em torno de 50% a 60%, e em locais com umidades abaixo de 20% e maiores que 95% podem desencadear uma carbonatação lenta, ou até mesmo não desenvolver este processo de degradação.

Para dificultar os efeitos da carbonatação tem que ter atenção especial à escolha dos materiais analisando fatores como: tipo e quantidade de cimento, as adições no cimento, pois alguns materiais reduzem a resistência a carbonatação como, por exemplo, são as adições de escória e pozolanas. Cuidados como redução da relação A/C e cura adequada, reduzem a porosidade e fissuração tornando o concreto mais resistente, dificultando a carbonatação.

De acordo com Helene (1986) a alcalinidade do concreto obtida pela presença de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) pode reduzir com o tempo, em função do CO_2 presente na atmosfera e outros gases como SO_2 e H_2S . A carbonatação ocorre lentamente, a velocidade de carbonatação depende da porcentagem de CO_2 na atmosfera, da qualidade do concreto, permeabilidade, compacidade e umidade relativa.

Dos métodos para medir a carbonatação, utiliza-se estudo de seções microscópicas com prismas de nicol, que proporciona maior precisão. O método mais utilizado é através de soluções corantes que indiquem mudança de pH, como por exemplo, solução de fenolftaleína. Uma atenção especial deve-se ter com a obtenção da amostra para análise que não deve ser serrada ou molhada, a amostra ideal é obtida por quebra e aplicada a solução no momento da retirada da amostra

para não ocorrer alterações no resultado. Quando o teste for feito com fenolftaleína as regiões mais alcalinas apresentam cor violeta e as menos alcalinas ficam incolor ou pouco violeta. Outro material que pode ser usado também para medir a profundidade de carbonatação é a timolftaleína, onde as regiões mais alcalinas apresentam cor azul e as menos alcalinas são incolores, Helene (1986).

Na Figura 12 mostra um teste de carbonatação com fenolftaleína, indicando uma profundidade de carbonatação de 20 mm em amostra com 40 mm de cobrimento da armadura.



FIGURA 12 - Teste de carbonatação com fenolftaleína.

Fonte: AGUIAR, 2006, p. 51.

Para Figueiredo (2005), outras formas descritas para medir a profundidade de carbonatação são por difração de raios X, análise térmica diferencial (ensaios qualitativos) e termografia (análise quantitativa), observações microscópicas onde revela se existe ou não cristais de CaCO_3 .

Perdrix e Carmem (1992) descrevem que a alcalinidade do concreto é devida ao hidróxido de cálcio que se forma durante a hidratação dos silicatos do cimento e aos álcalis que geralmente estão incorporados como sulfatos, no clíquer. Estas substâncias deixam o pH da fase aquosa contida nos poros em valores entre 12,6 e 14, com o pH do concreto alcalino e a presença de oxigênio, o aço fica recoberto de

uma capa de óxidos transparente, compacta e contínua que o mantém protegido mesmo com a presença de umidade.

A destruição da camada passivante do aço tem como causas, grande quantidade de cloretos adicionados muitas vezes na fabricação do concreto, presente nos materiais ou até mesmo penetrados aos poucos pelos poros e capilares, como por sais espalhados para evitar congelamento de pavimentos e a diminuição da alcalinidade em função de substâncias ácidas e carbonatação.

Finalmente devemos entender, conforme esses mesmos autores, que a umidade do ar que favorece o processo de carbonatação é em torno de 50 a 80% para percentuais maiores o CO_2 têm mais dificuldade de penetrar devido à saturação dos poros, e com umidade inferior a 50% o CO_2 não reage devido à inexistência de meio líquido favorável.

2.8.3 Corrosão

Conforme descrito em Silva (1995), o concreto proporciona ao aço uma camada protetora ou passivadora, forma uma película em volta do aço devido a alta alcalinidade, pH acima de 12,5 sendo que esta película possui baixa condutividade iônica, baixa solubilidade, boa aderência ao aço, caracteriza-se por ser constituída de óxidos. Quando o pH fica abaixo de 11 a película pode ser destruída, proporcionando o aparecimento da corrosão. O aço é considerado passivo quando resiste à corrosão em meio onde existe tendência de passar do estado metálico para iônico.

Nota-se que, além da formação da película passivante, o concreto pode reduzir a tendência ao processo de corrosão se for empregado de forma a ter baixa permeabilidade, que pode minimizar a penetração de substâncias que provoquem a corrosão. A baixa permeabilidade eleva a resistividade elétrica do concreto, impedindo as correntes corrosivas eletroquímicas.

O início da corrosão ocorre após um período de tempo exposto as condições de neutralização da alcalinidade ou penetração de substâncias agressivas no

concreto que envolve o aço, e a concentração das substâncias que desencadeiam o processo de corrosão do aço, (silva 1995).

Das substâncias presentes no ambiente que são agressivas à estrutura de concreto podemos destacar: S^{-2} (cloretos), CO_2 (dióxido de carbono), NO_3^- (nitritos), SO_2 e SO_3 (óxido de enxofre) e fuligem; estas substâncias podem estar contidas no concreto ou absorvidas pelo concreto.

Para que a corrosão ocorra é necessário que exista um eletrólito (água ou solução dos poros do concreto), uma diferença de potencial (diferentes partes aeradas do concreto, cimentos de diversos tipos numa mesma peça), o oxigênio, independentemente da presença de substâncias agressivas Silva (1995).

Com a perda da alcalinidade do concreto e a conseqüente despassivação da armadura, forma-se uma célula de corrosão. As condições favoráveis à corrosão se encontram reunidas; anodo, catodo, o condutor metálico, e o eletrólito. Se houver uma diferença de potencial entre anodo e catodo haverá corrente elétrica podendo desencadear a corrosão.

No processo de corrosão do aço ocorre à formação de óxidos e hidróxidos aumentando o volume exercendo tensões de expansões no concreto e conseqüentemente, as fissuras na estrutura, facilitando a penetração de agentes agressivos. A velocidade de ocorrência de corrosão pode ser alterada conforme o aumento ou combinação de fatores facilitadores do processo, como por exemplo: umidade relativa dos poros, temperatura incidente na estrutura, composição química de agentes presentes nos poro que estão ao redor dos aços, a porosidade, o meio ambiente local, espessura do revestimento das armaduras.

Um fator importante de proteção das armaduras de aço são os cuidados com a espessura do revestimento que vai envolver o aço, fornecendo-lhe um meio alcalino e dificultando a penetração dos agentes agressivos. A norma NBR 6118 (2003) determina os revestimentos mínimos recomendados conforme a classe de agressividade ambiental que deve ser seguida, mas de nada adianta se não for tomado os cuidados necessários com a execução, a escolha correta do tipo de concreto, adensamento, cura e todos os cuidados com a estrutura que devem ser observados.

Na Figura 13, mostra a espessura do revestimento da armadura insuficiente em pilar de concreto aparente ocasionando a corrosão na armadura e o aparecimento de fissuras com deslocamento de parte do concreto.



FIGURA 13 - Corrosão da armadura.

Helene (1986) define corrosão como sendo interação destrutiva do material com o ambiente através de reação química ou eletroquímica.

Oxidação é o ataque provocado por uma reação gás-metal com formação de uma película de oxido. À temperatura ambiente este fenômeno é lento e não provoca deterioração relevante, a não ser que entre em contato com gases agressivos (Helene 1986). A oxidação é o processo em que ocorre o aumento do número de cargas positivas de um íon, ou processo de combinação de uma substância com o oxigênio, ou seja, perda de elétrons.

Nas estruturas de concreto armado a corrosão é descrita por (Helene 1986) como sendo ataque de forma eletroquímica em meio aquoso e ocorre quando uma película de eletrólito é formada sobre a superfície dos aços utilizados nas estruturas.

Nota-se que o processo eletroquímico é o fenômeno que ocorre na maioria das reações de corrosão com a presença de água ou ambiente com umidade relativa acima de 60%, ocorrendo a formação de óxidos. Para que desencadeie os processos corrosivos tem que haver um eletrólito, diferença de potencial, oxigênio e agentes agressivos sendo que este processo é chamado de corrosão em meio aquoso. No concreto sempre há água em quantidade ideal para criar o eletrólito perfeito nas estruturas expostas.

Segundo Helene (1986), produtos da hidratação do cimento como, a portlandita, e hidróxidos de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), solubilizam com a água formando solução saturada, presentes nos poros e capilares do concreto, originando um meio eletrólito. Em uma estrutura a água está sempre presente, sejam de forma direta, jatos de água ou em forma de vapor, através da umidade relativa do ar.

Helene (1986) descreve, que entre dois pontos quando ocorrem diferenças, de umidade, aeração, concentração salina, tensões no concreto e nas barras, produzem diferença de potencial, desenvolvendo a formação de células de corrosão (pilhas), ou uma cadeia de pilhas.

Nas estruturas submetidas à tração ocorre o aparecimento de fissuras, situações encontradas em lajes e vigas, a possibilidade de desenvolver corrosão é maior do que em peças comprimidas. Estruturas com superfície angulosas, cantos, arestas, têm grande facilidade de desenvolver corrosão, quando comparados com superfícies com cantos arredondados. Para prevenir o processo de corrosão, Helene (1986) sugere que aumente a espessura de cobrimento, ou quando possível, desenvolver cantos arredondados. A diferença de potencial pode ocorrer até mesmo por diferenças na composição, compactação do concreto. Para que ocorra a corrosão é necessário que se tenha o oxigênio presente e outros fatores que compõem o processo. A Figura 14 mostra cantos que quebrou parte do concreto, facilitando a penetração de umidade, e desencadeando a corrosão das armaduras.



FIGURA 14 - Quinas quebradas nas vigas de concreto.

O revestimento adequado das armaduras é fator importante para proteção contra corrosão, pois atua como barreira física e química.

A barreira física do revestimento é conseguida através de concretos bem dosados, conforme a necessidade do projeto, análise do ambiente, utilização, e aplicação conforme as normas, para que se consiga um concreto impermeável, compacto, que dificultará a penetração de agentes agressivos.

A barreira química é conseguida pela alcalinidade do concreto que forma uma película de proteção ao aço. A alcalinidade do concreto é alcançada pelas reações de hidratação dos silicatos de cálcio (C_3S e C_2S), que liberam hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), que dissolvem-se na água e preenche os poros e capilares, deixando o concreto alcalino pH em torno de 12,6 gerando a película de passivação do aço.

Pode-se, portanto afirmar sem receios que enquanto a armadura estiver passivada, não haverá corrosão, posto que a película impede o acesso de umidade, oxigênio e agentes agressivos à superfície do aço, bem como dificulta a dissolução do ferro, (Cascardo, 1997 p.40).

Quando não são observados os cuidados na produção, execução e utilização das estruturas de concreto a corrosão do aço é inevitável e progressiva, desencadeando a expansão do volume da armadura, provocando pressões nas paredes do concreto, desenvolvendo fissuras ao longo das armaduras, favorecendo ainda mais a ação de agentes agressivos como carbonatação, penetração de agentes agressivos, levando ao deslocamento do concreto Helene, (1986).

2.9 Principais patologias em concreto aparente

Na Figura 15 a parede de concreto aparente apresenta manchas escuras nas emendas das fôrmas, alteração da tonalidade do concreto, acúmulo de agentes deletérios que fixam na superfície das estruturas, revela a falta de manutenções preventivas periódicas.



FIGURA 15 - Parede e pilar de concreto aparente.

Após análises feitas em estruturas construídas em concreto aparente na cidade de São Paulo, segundo Silva (1995), identificou alguns problemas: falha na estanqueidade entre juntas dos painéis das fôrmas, falha no detalhamento do projeto devido à ausência de pingadeiras, armaduras expostas, acomodação de fuligem sobre a estrutura, concreto com tonalidade não uniforme, bolhas de ar, fissuras. Em prédio com apenas 12 anos identificou diversos problemas como: lixiviação, fissuração, corrosão das armaduras, entulho dentro do concreto, superfície aparente com variação da tonalidade, na montagem das fôrmas foi utilizado tábuas brutas e não foi feito tratamento das juntas das tábuas, lançamento e adensamento inadequados, falta de cobertura das armaduras, bolhas no concreto.

A falta de pingadeira faz com que a água escoe pela estrutura aumentando a degradação. A mistura do concreto se não for bem feita, a limpeza das fôrmas bem executada pode ocorrer diferenças nas tonalidades da superfície aparente, Silva (1995).

Silva (1995) descreve que em estrutura vistoriada foi feita manutenção corretiva e o resultado não foi satisfatório, pois em pouco tempo as anomalias voltaram. Os procedimentos de recuperação adotados foram: limpeza geral da estrutura, reparos, estucagem e aplicação de verniz para proteção do concreto.

Não se observou as recomendações do fabricante do produto, que orientava o tratamento de fissuras somente aplicou o verniz sobre a superfície.

Para Silva (1995), a utilização de mais de um tipo cimento e fabricantes diferentes, uso de desmoldante inadequado, acarreta em estrutura com coloração superficial não uniforme, o uso de fôrmas de materiais diferentes (metálica, madeira) houve variação de tonalidade.

Corrosão generalizada: Redução da alcalinidade através de circulação de águas puras ou pouco ácidas, por reações de compostos básicos com os componentes ácidos, dióxidos de carbono e de enxofre, Perdrix e Carmem (1992).

Cloretos: Ataques de cloretos: Podem ocorrer no concreto, no momento da fabricação, adicionados junto com a água, aditivos ou materiais que fazem parte da fabricação do concreto, também podem se inseridos no concreto de forma externa através dos poros, por exemplo, em ambientes marinhos.

Os cloretos que permanecem dissolvidos na fase aquosa dos poros são perigosos para a estrutura, pois destroem de forma puntual a camada passivante provocando uma corrosão localizada (pite) que progride em profundidade podendo levar a ruptura da barras. A quantidade média admissível de cloretos em torno de 0,4% em relação a massa de cimento ou 0,05% a 1,0% em relação a massa de concreto são valores limites sem que causem desp passivação da armadura, Perdrix e Carmem (1992).

Cascudo (1997), descreve que os íons de cloretos foram documentados como grandes causadores de corrosão dos aços no concreto, podem em muitas vezes ser introduzidos de forma intencional como agente acelerador de pega e endurecimento.

Figueiredo (2005), porém analisa que os cloretos são introduzidos no concreto de diversas formas:

- Aceleradores de pega;
- Impurezas nos constituintes do concreto;
- No ambiente marinho, através de água salgada e da maresia;
- Uso de sais de degelo em local muito frio;
- Em etapas de processo industriais.

Existe um valor aceitável em que a concentração de íons de cloreto possui baixo risco.

Reação álcali / agregado: Para Tomaz e Ripper (1998), a formação de um gel expansivo dentro da massa envolve lentamente, podendo levar vários anos para apresentar os sintomas mais comuns que são fissuras desordenadas.

Priszkulnik (2005) descreve reação álcali/agregado como processo químico em que constituinte do agregado reage com hidróxidos alcalinos que estão dissolvidos na solução dos poros do concreto. Esta reação forma gel higroscópico expansivo, que pode provocar diversas manifestações no concreto. Como expansões, movimentações diferenciais, fissuras, redução de resistências são identificados reações como álcali-sílica, álcali-silicato, álcali-carbonato. Na Figura 16 apresenta bloco de fundação com várias fissuras provenientes de reações álcalis-agregados.



FIGURA 16: Mapeamento de fissuras em blocos de fundação devido à reação álcali-agregado.

Fonte: AGUIAR, 2006, p. 43.

2.10 Manutenção das Estruturas

Souza e Ripper (1998) descrevem ações que favorecem os procedimentos de manutenções e acompanhamento das condições das estruturas de concreto.

2.10.1 Estratégias para utilização e manutenção das estruturas de concreto

Torna-se claro a necessidade de definir estratégias de manutenção considerando dois grandes grupos classificadores, casos em que a estrutura terá, previsivelmente, um só responsável durante toda a sua vida útil, o que 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. Têm-se também os casos de estruturas para construções em que os proprietários ou responsáveis serão vários, 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 comporta horizontes previsivelmente curtos, como é compreensível em sistemas de propriedades privada ou de economia capitalista.

2.10.2 Conceito de manutenção estrutural

Entende-se por manutenção preventiva aquela que é executada a partir das informações fornecidas 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.

2.10.3 Cadastramento das estruturas

É fundamental para a manutenção que seja feito registro das grandes estruturas, com base no cadastramento da estrutura é possível manter-se um efeito

controle das atividades rotineiras de inspeção, programar e registrar, adequadamente, os reparos ou reforços porventura necessários durante suas vidas.

2.10.4 Inspeção Periódica

É elemento importante e indispensável na metodologia da manutenção preventiva. Quando bem executado esse é um grande instrumento 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. Podem ser usados alguns instrumentos como marreta, ponteiro, nível, máquinas fotográficas, filmadoras, para registro das estruturas, conforme a situação, para vistoriar pontos críticos como fissuras, vestígios de corrosão, concreto e aço, juntas de dilatação, deformações permanentes e o estado geral do concreto.

2.10.5 Inspeção detalhada

Devem ser realizadas todas as vezes que as inspeções periódicas indicarem a existência de situações anômalas em determinadas peças estruturais, ou em casos de danos emergenciais ou de alarme, diferenciando-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, memorial de cálculo e especificações.

2.10.6 Serviços de limpeza

Espera-se que todas as construções estabeleçam rotinas de limpeza, de forma a atender as suas vidas úteis. 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 removidos vegetação de forma geral, e os drenos devem estar sempre desentupidos, além de ter todo o pessoal envolvido nos serviços de limpeza, onde as estruturas devem ser mantidas limpas e isentas de poeiras e óleo.

Na Figura 17 temos, uma parede concreto onde iniciou um trabalho de limpeza por jatos d'água, está nítida a diferença na tonalidade da estrutura onde os materiais fixaram estas ações periódicas favorecem a durabilidade da estrutura.



FIGURA 17 - Limpeza de parede de concreto.

2.10.7 Processos de proteção superficial do concreto

Para aumentar a vida útil das estruturas em ambientes em que a agressividade está cada vez maior, a utilização de revestimentos protetores de superfície se faz necessária. Uma boa escolha do produto a ser aplicado na superfície do concreto é primordial para o sucesso do trabalho, Silva (1995).

A aplicação de proteção superficial aumenta a durabilidade das estruturas de concreto, é uma alternativa para diminuir a velocidade de degradação das estruturas já existentes ou em estruturas novas como um sistema que em conjunto com o concreto ajuda a atingir determinada vida útil. A proteção superficial do concreto pode ser realizada pela aplicação de tintas, vernizes, silicões hidrofugantes, ou pela aplicação de argamassas, peças cerâmicas ou outros materiais que aumente a durabilidade da estrutura, Kazmierczak (2005).

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 por falha na execução, a proteção é necessária. Dos produtos comerciais encontramos destacamos as tintas látex vinílica, tinta látex acrílica, verniz poliuretânico alifático, epóxi, borracha clorada, silicões hidrofugantes, Kazmierczak (2005).

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. Na Figura 18 apresenta estrutura em concreto aparente sem tratamento superficial, em pouco tempo após a conclusão da obra, já apresenta sinais de acúmulo de fuligem, e apresentação estética ruim.



FIGURA 18 - Estrutura em concreto aparente sem proteção superficial.

A Figura 19 mostra estrutura em que está sendo aplicada proteção superficial através de pintura, em que o objetivo é a garantia da durabilidade e apresentação estética.



FIGURA 19 - Aplicação de proteção superficial.

A Figura 20 mostra um viaduto após aplicação de pintura, com boa apresentação estética, e com barreira que impede a penetração de agentes deletérios no interior do concreto.



FIGURA 20 - Viaduto com superfície pintada.

2.10.7.1 Proteção Superficial do concreto aparente

Para Silva (1995), deve-se observar; a capacidade que o produto possui 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, não alterar a cor do concreto.

Dos produtos existentes podem-se destacar dois tipos que não alteram 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 a ser aplicado é importante: fazer limpeza, reparações se necessário. A superfície tem que estar seca, limpa, com pouca insolação, pouca ação dos ventos, Silva (1995).

Os produtos hidrófugos não alteram a cor do substrato, não formam película superficial, deveriam ter penetração maior que 10 mm que pode variar 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. Apresentam vantagens; de pouca absorção de água, permite 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 resiste à penetração de agentes ácidos, Silva (1995).

A Figura 21 mostra uma estrutura em concreto aparente em que foi feito tratamento superficial através limpeza e aplicação de produtos hidrófugos a base de siloxano.



FIGURA 21- Estrutura após tratamento superficial.

Os produtos impermeabilizantes atuam formando barreira contínua, que consiste 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 encontrados destaca-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. Como desvantagens: impede a circulação de vapor d'água, o aspecto superficial apresenta brilhos, não favorecem a repintura, a superfície para aplicação deve estar lisa. Os impermeabilizantes possuem dois tipos de solventes utilizados, o orgânico ou água. Os solventes orgânicos apresentam melhores resultados, Silva (1995).

Quando se deseja uma maior proteção das superfícies do concreto, podem ser utilizados sistemas de proteção duplos, que consistem em aplicar, um primer a base de silano ou siloxano, e aplicar 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 média 6 a 7 anos, Silva (1995).

Os sistemas duplos procuram unir as propriedades de duas ou mais resinas, como por exemplo, o silano/siloxano-acrílico, combinam resistência à penetração de cloretos e à penetração de gás carbônico.

2.10.8 Serviços de reparo

Importante se fazer reparos de: 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.

2.10.9 *Decisão de recuperar ou não*

As inspeções técnicas e a estratégia de manutenção visam definir 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.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo que se utilizem materiais de alta qualidade na execução de serviços ou 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, terem 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 conseqüentemente a durabilidade.

Além desses quesitos, é importante que o Engenheiro avalie todo o trabalho a ser desenvolvido, desde a etapa de projetos, aquisição e recebimento de materiais formas de execução, o ambiente, evitando assim diversos problemas patológicos pra toda obra que podem ser relacionados com, 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.

As patologias que às vezes ocorrem em uma estrutura, devem ser avaliadas de imediato e os reparos necessários devem ser aplicados, evitando com esses procedimentos o aumento dos danos, maior gasto financeiro, e conseqüentemente perda do trabalho executado.

As manutenções sejam elas de caráter, preditivo, preventivo, ou corretivos são de extrema importância para a vida útil da estrutura. A idéia 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.

Portanto, deve-se observar e avaliar as estruturas antes de se deparar com 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 freqüentes estratégias de inspeção e manutenção da obra.

Nas estruturas em concreto aparente um grande problema quanto às manutenções preventivas e corretivas, refere-se aos materiais e técnicas a serem empregados de tal maneira que não altere 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.

Devido à grande variedade de materiais cimentícios, inúmeras 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 se consegue reproduzir a 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.

Portanto é imprescindível que se tenham cuidados com as estruturas desde a fase de projetos para que não seja necessário em pouco tempo de utilização da estrutura tenha que haver reparos. É importante que se faça um bom planejamento de manutenções periódicas para aumentar a vida útil da estrutura. A durabilidade está diretamente ligada aos cuidados que tem com a estrutura em todas as fases, projeto, execução e utilização.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, José Eduardo de. **Avaliação dos ensaios de durabilidade do concreto armado a partir de estruturas duráveis**. 2006. 173 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

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.

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

FRANÇA, Júnia L., VASCONCELLOS, Ana C.de. **Manual de Normalização de Publicações Técnico-Científicas**. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2004.

GUIMARÃES, André Tavares da Cunha. Propriedades do Concreto Fresco. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V1. Cap. 16, p. 473-476.

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.

HELENE, Paulo R. L. **Corrosão em Armaduras para Concreto Armado**. São Paulo: Editora Pini, 1986.

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.

LIMA, Maryângela Geimba de. Ação do Meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. (Ed) **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V1. Cap. 24, p. 713-752.

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, 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.

PERDRIX, Maria Del Carmen Andrade. **Manual para Diagnóstico de Obras Deterioradas por Corrosão de Armaduras**. São Paulo: Editora Pini, 1992.

PRISZKULNIK, Simão. Inspeção e Diagnóstico de Estruturas de Concreto Afetadas pelas Reações Cimento-Agregado. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Editora Ibracon, 2005. V2. Cap. 34, p. 1017-1070.

SILVA, Paulo Fernando Araújo. **Durabilidade das Estruturas de Concreto Aparente em Atmosfera Urbana**. São Paulo: Editora Pini, 1995.

SILVEIRA, Bueno. **Minidicionário da língua portuguesa**. São Paulo: Editora FTD, 2000.

SOUZA, Vicente Custódio de, RIPPER, Thomaz. **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Editora Pini, 1998.

THOMAS, Ercio. **Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação**. São Paulo: Editora Pini, 1989. p. 17.

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