



1º ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA-PROJETO-PRODUÇÃO  
EM CONCRETO PRÉ-MOLDADO

São Carlos, 03 - 04 de novembro de 2005

## Considerações sobre vida útil do concreto

ROQUE, J. A. (1); MORENO JUNIOR, A. L. (2)

(1) Engenheiro civil, MSc, James Antonio Roque, Universidade Estadual de Campinas  
email: [jamesr@fec.unicamp.br](mailto:jamesr@fec.unicamp.br)

(2) Professor Doutor, Armando Lopes Moreno Junior, Universidade Estadual de Campinas  
email: [almoreno@fec.unicamp.br](mailto:almoreno@fec.unicamp.br)

Caixa Postal 6021 CEP: 13083-852 – Campinas - SP

### Resumo

Nenhum material é intrinsecamente durável, pois suas propriedades variam em decorrência da interação da sua estrutura, mais especificamente, da sua microestrutura com o meio ambiente. As variações decorrem ao longo do tempo e a vida útil de um determinado material é finalizada quando suas propriedades tornam seu uso inseguro ou anti-econômico. Discorrendo sobre o tema, atribui-se o problema atual da pouca durabilidade das construções à carência de conhecimento quanto aos materiais e componentes das estruturas de concreto. No caso de materiais e componentes “tradicionais”, o conhecimento do seu uso constitui uma fonte preciosa de dados para a estimativa de vida útil destes produtos, no entanto, quando se trata de materiais e componentes de características novas é necessário recorrer a métodos de ensaio que simulem o seu uso em obra. A durabilidade é uma das exigências do usuário que tem sido responsabilizada como a menos atendida. Porém, ela apresenta uma especificidade de que somente pode ser avaliada concomitantemente com outras exigências, tais como, segurança estrutural e bom desempenho em serviço. A durabilidade não é simplesmente uma característica dos materiais, mas um resultado da interação de um material ou componente com o meio ambiente. Esta interação provoca alterações na capacidade de atendimento das demais necessidades dos usuários, ou seja, pode provocar uma degradação. Ela pode, também, ser expressa em termos de vida útil, definida como o período de tempo durante o qual um produto atende às exigências dos usuários. Um bom desempenho do material ou componente ao longo da vida útil é considerado como sinônimo de durabilidade. Comumente considera-se a vida útil exigida ou esperada de um elemento estrutural como aquela que deve ser igual à do edifício. O resultado esperado está em indicar parâmetros de tempos de vida útil como períodos, no qual, o desempenho encontra-se acima do mínimo aceitável estabelecido. Observa-se a influência dos serviços de manutenção, entendida de uma forma probabilista, e não determinista. Assim, este artigo apresenta considerações da literatura, a partir de discussões de reconhecidos pesquisadores como Helene, Isaia, John, Neville, Metha e outros, sobre os temas durabilidade e vida útil do concreto, abordando alguns procedimentos de análise da vida útil, incluindo requisitos e critérios de desempenho e fatores e mecanismos de degradação, que poderão orientar reflexões sobre o desempenho relativo à durabilidade e sua correlação com a vida útil das estruturas de concreto.

*Palavras-Chave:* vida útil, durabilidade, degradação, desempenho, materiais, concreto.

## 1 Introdução

Segundo HELENE (2001), nos últimos anos tem crescido o número de estruturas de concreto armado com manifestações patológicas, como resultado do envelhecimento precoce das construções existentes. Essas constatações, tanto no âmbito nacional quanto no âmbito internacional, demonstram que as exigências e recomendações existentes nas principais normas de projeto e execução de estruturas de concreto vigentes, até o final do século passado, eram insuficientes.

Quando se objetiva a qualidade das estruturas, é imprescindível a adoção de medidas apropriadas que garantam a sua durabilidade. Muitas destas medidas constituem critérios a serem observados ainda na fase de projeto de uma estrutura.

Assim, na década de 90 do século passado houve um forte movimento para introdução e caracterização do conceito de vida útil no projeto das estruturas de concreto.

Um projeto bem elaborado deve conferir segurança às estruturas e garantir-lhes desempenho satisfatório em serviço, além de aparência aceitável. Portanto, devem ser observadas as exigências com relação à capacidade resistente, bem como às condições em uso normal e, principalmente, às especificações referentes à durabilidade. Quanto aos requisitos de segurança têm-se observado que, em geral, são satisfatoriamente atendidos, ao passo que as exigências de bom desempenho em serviço e durabilidade tem sido, muitas vezes, deixadas em segundo plano (BRANDÃO, 1999).

Nesse sentido, os erros de projeto, juntamente com a utilização de materiais inadequados, representam uma parcela relativamente grande das causas de patologias. Para que possam ser elaboradas especificações adequadas, torna-se imprescindível conhecer o comportamento dos materiais que compõem a estrutura quando submetidas às várias condições de exposição. Outro aspecto de extrema relevância é a avaliação do nível de agressividade do meio ambiente.

Assim, segundo HELENE (2001), o estudo da durabilidade das estruturas de concreto armado e protendido têm evoluído graças ao maior conhecimento dos mecanismos de transporte de líquidos e de gases agressivos nos meios porosos do material como o concreto, que possibilitaram associar o tempo aos modelos matemáticos que expressam quantitativamente esses mecanismos. Devido a isso, passou a ser viável a avaliação da vida útil expressa em número de anos e não mais em critérios apenas qualitativos de adequação da estrutura a um certo grau de exposição.

Os clássicos conceitos e métodos de introdução da segurança no projeto das estruturas de concreto não asseguram durabilidade nem são ferramentas adequadas para cálculo e previsão de vida útil, motivo pelo qual cada vez mais têm-se procurado introduzir novas exigências para a satisfação do citado desempenho.

Dentre as novas exigências os estudos tem demonstrado que os principais agentes agressivos à armadura, o gás carbônico  $\text{CO}_2$  e o cloreto  $\text{Cl}^-$ , não são agressivos ao concreto, ou seja, não o atacam deletariamente. Por outro lado, os agentes agressivos ao concreto como os ácidos, que contribuem para a redução do pH e conseqüente risco de despassivação da armadura, assim como os sulfatos e até a própria reação álcali-agregado, que geram produtos expansivos destruindo o concreto de cobertura e de proteção da armadura, atuam de forma dupla, atacando principal e primeiramente o concreto e secundariamente a armadura (HELENE, 2001).

Infelizmente, os efeitos da baixa durabilidade não se manifestam de imediato, como é o caso da falta de resistência mecânica. Isto interpõe uma maior necessidade de adequação dos projetistas às exigências dos dispositivos relativos à durabilidade e vida

útil das construções contidos nos normativos. Conforme JOHN (2001), a durabilidade é uma questão muito mais baseada em conhecimento do que em recurso, pois é possível aumentar a vida útil sem aumentar o impacto ambiental durante a fase de produção. A previsão de vida útil implica no conhecimento estimado desta para os componentes e de critérios adicionais de projeto.

JOHN (2001) afirma, por fim, que a durabilidade, expressa pela distribuição de vida útil de um conjunto de componentes, desempenha uma função importante para a obtenção de uma construção sustentável, finalidade importante de qualquer projeto bem engendrado.

Assim, este trabalho apresenta considerações da literatura, a partir de discussões de reconhecidos pesquisadores, como Helene, Isaia, John, Neville, Metha, e outros, com a intenção de orientar reflexões sobre o desempenho relativo à durabilidade e sua correlação à vida útil das estruturas de concreto.

## 2 Durabilidade

No início os estudos de durabilidade foram motivados pela necessidade de avaliação do desempenho econômico de diferentes produtos bem como de planejamento da manutenção. Com o paradigma do desenvolvimento sustentável, a durabilidade ganhou uma nova dimensão, pois a ampliação da vida útil dos edifícios e componentes é uma forma efetiva de redução do impacto ambiental e as pesquisas na área ganharam novo impulso. A durabilidade depende muito mais de conhecimento do que em recursos. Muitas vezes na produção do componente é que se causa a maior carga ambiental e a vida útil pode ser aumentada ou diminuída sem afetar proporcionalmente as cargas ambientais (JOHN, 2001).

ISAIA (2001) ensina que, no sentido estrito do termo, a durabilidade dos materiais está ligada à sua capacidade de se conservar em determinado estado, com a mesma qualidade ao longo de um dado tempo. De outra forma, é a resistência de um material ou elemento da construção à deterioração ou degradação. Este conceito, diz o autor, está intimamente conectado com o de desempenho que é o comportamento de um produto em serviço (em utilização), sob condições de real funcionamento ou uso, com pleno atendimento às exigências do usuário.

De forma semelhante, para NEVILLE (2001), a durabilidade significa que uma dada estrutura de concreto terá desempenho contínuo satisfatório, para as finalidades para as quais foi projetada, isto é, que manterá sua resistência e condições normais de serviço durante a vida útil especificada ou esperada. ISAIA (2001) afirma que esta definição implica no conhecimento dos processos de deterioração aos quais, um dado concreto, estará exposto nas condições ambientais reais da estrutura, durante o seu tempo de duração.

Num sentido geral, o termo “deterioração” é antônimo de “durabilidade”, definida como a capacidade do material suportar as condições para as quais foi concebido, sem sofrer danos significativos ao longo de um determinado período.

A deterioração relativamente precoce de estruturas recentes remete aos porquês das patologias do concreto, resultantes de uma somatória de fatores, dentre os quais, citam-se: erros de projeto e de execução, inadequação dos materiais, má utilização da obra, agressividade do meio ambiente, falta de manutenção e ineficiência ou ausência de controle da qualidade na Construção Civil (BRANDÃO, 1999).

Mais especificamente, uma diretriz encontrada na literatura técnica diz que a durabilidade da estrutura de concreto é determinada por quatro fatores, identificados como regra dos **4C** (HELENE, 2001):

- **Composição ou traço do concreto;**
- **Compactação ou adensamento efetivo do concreto na estrutura;**
- **Cura efetiva do concreto na estrutura; e**
- **Cobrimento ou espessura do concreto de cobrimento das armaduras.**

Por exemplo, um adensamento mal executado pode resultar em alto índice de vazios, produzindo, assim, um concreto altamente poroso. Uma cura insuficiente, por sua vez, produz baixo grau de hidratação do cimento, especialmente nas regiões superficiais, resultando em alta permeabilidade do concreto de superfície e baixa durabilidade das peças.

Tradicionalmente, a durabilidade de uma estrutura de concreto tem sido considerada através de regras implícitas, de modo determinístico, por intermédio de fatores como cobrimento mínimo, relação água/aglomerante máxima, limitação de abertura de fissuras, tipo de cimento, tipo de aditivo, etc. Estes valores são tomados a partir de pesquisas de laboratório ou de campo e lições oriundas da experiência prática. Os resultados que se tem obtido com este procedimento leva, em geral, a um grau satisfatório de durabilidade, mas com variações significativas (positivas ou negativas) devido a grande influência das condições reais do meio ambiente envolvente e do concreto real colocado nas peças estruturais (ISAIA, 2001).

A elevação da resistência dos cimentos, que se verificou nos últimos anos, permite que se doseem concretos (para as resistências usuais de projeto) com consumos mais baixos. Do ponto de vista de resistência mecânica e de custos, não haveria impacto negativo. Quanto ao aspecto de durabilidade da estrutura, entretanto, seria preocupante o uso de concreto com consumos de cimento muito baixos, pois estes concretos apresentariam maior porosidade e, conseqüentemente, menor resistência a ataques químicos. Além disso, baixos consumos de cimento dão menor coesão e consistência mais seca, dentro de limites de relação água/cimento usuais. Tais características dificultam as operações de lançamento, adensamento e acabamento, aumentando o risco de segregação e as falhas de aplicação do concreto (REZENDE, 1996).

Já BRANDÃO (1999) afirma que o transporte simultâneo de calor, umidade e substâncias químicas, tanto na troca com o meio ambiente como dentro da própria massa de concreto, e os parâmetros que controlam esses fenômenos são os principais fatores relacionados com a durabilidade, que depende muito mais da sua permeabilidade e capacidade de absorção, propriedades condicionadas pela porosidade, do que das propriedades universalmente aceitas, tais como: resistência, módulo de elasticidade, “slump”, massa específica, etc.

Assim, BRANDÃO (1999) aponta que há uma nítida relação entre os seguintes aspectos: agressividade ambiental, durabilidade e qualidade das estruturas. A garantia da durabilidade contribui de forma considerável para garantir a qualidade das estruturas, visto que ambos os parâmetros estão intimamente relacionados.

Do ponto de vista da exposição do material ao meio ambiente, HELENE (2001) indica certos tipos de cimento Portland, adições e aditivos mais adequados a resistir à agressividade ambiental, em função da natureza dessa agressividade. Do ponto de vista da maior resistência à lixiviação são preferíveis os cimentos com adições tipo CP II e CP IV; para minimizar o risco de reações álcali-agregado são preferíveis os cimentos pozolânicos tipo CP IV; para reduzir a profundidade de carbonatação são preferíveis os

cimentos tipo CP I e CP V e para reduzir a penetração de cloretos são preferíveis os cimentos com adições tipo CP III e CP IV, assim como adição extra de microssílica e cinza de casca de arroz.

Também JOHN (2001), afirma que a durabilidade em ambientes marítimos, por exemplo, pode ser aumentada substituindo-se parte do clínquer do cimento Portland por resíduos de escória granulada de alto forno ou cinza volante. Dessa forma, indica que a durabilidade não é uma qualidade intrínseca de apenas um material, mas determinadas combinações de materiais diversos que podem proporcionar maior proteção ao componente contra fatores de degradação.

No entanto, segundo METHA (1992), a criação de um modelo matemático que traduza o tratamento quantitativo dos elementos-chave da previsão da durabilidade é muito difícil por várias razões:

- a) como definir o material que muda constantemente em interação com um ambiente agressivo?
- b) como enumerar tipos de agressividade ou criar graduações de deterioração, quando se sabe que não há duas condições reais exatamente iguais?
- c) como desenvolver ensaios de laboratório que simulem fielmente as condições de campo, quando não se consegue, após uma centena de anos de tecnologia, estabelecer métodos de ensaios de resistência química plenamente satisfatórias?

Por isso, deve-se considerar que a durabilidade de dado concreto testado em condições específicas pode não corresponder à durabilidade deste mesmo concreto na estrutura, "in situ", sujeito às condições ambientais específicas (ISAIA, 2001).

## 2.1 Vida útil

A vida útil é usualmente definida como o período de tempo durante o qual as estruturas de concreto mantêm condições satisfatórias de uso, atendendo as finalidades esperadas em projeto.

Existe uma proximidade entre os conceitos de vida útil e durabilidade que, às vezes, leva à utilização equivocada dos termos. Pode-se considerar que a vida útil é a quantificação da durabilidade que se supõe ser apenas uma qualidade da estrutura. A vida útil pode também ser entendida como o período de tempo durante o qual a estrutura é capaz de desempenhar bem as funções para as quais foi projetada (DA SILVA, 2001).

A vida útil da construção como um todo depende igualmente do comportamento dos elementos estruturais de concreto armado e dos demais componentes incorporados à estrutura, porém, sem função estrutural (BRANDÃO, 1999).

Segundo JOHN (2001), a norma ISO 15686-2:2001 define planejamento de vida útil como um processo de projeto que procura garantir, na medida do possível, que a vida útil de um edifício seja igual ou superior à vida de projeto, levando em conta os custos globais do ciclo de vida do edifício.

A questão da vida útil das estruturas de concreto deve ser enfocada de forma holística, sistêmica e abrangente, envolvendo equipes multidisciplinares. Deve também ser considerada como resultante de ações coordenadas e realizadas em todas as etapas do processo construtivo: concepção ou planejamento; projeto; fabricação de materiais e componentes; execução propriamente dita e principalmente durante a etapa de uso da estrutura. É nessa etapa onde serão realizadas as operações de vistoria, monitoramento e manutenções preventivas e corretivas, indispensáveis numa consideração correta e sistêmica da vida útil (HELENE, 2001).

O período de tempo total contado a partir do término da construção até o aparecimento de uma manifestação patológica considerada grave é denominada vida útil de serviço ou de utilização (HELENE, 2001).

ISAIA (2001) ensina que vida útil elevada será obtida se a microestrutura estiver isenta de falhas, que na prática vai dificultar a penetração de agentes agressivos quando expostos em seus ambientes.

Quanto ao ciclo da construção, o conceito de vida útil conduz a um tratamento integralizado das seguintes fases:

- planejamento;
- projeto;
- materiais;
- execução; e
- utilização (operação e manutenção).

A vida útil de uma estrutura de concreto depende de vários fatores, inclusive da importância da obra, motivo pelo qual não existe fixação de um valor mínimo explicitado na norma. Em obras de caráter provisório, transitório ou efêmero é tecnicamente recomendável adotar-se vida útil de projeto de pelo menos um ano. Para as pontes e outras obras de caráter permanente, poderão ser adotados períodos de 50, 75 ou até mais de 100 anos, conforme recomendado pelas normas internacionais, por exemplo, as normas BS 7543 e CEN/EM 206 (HELENE, 2001).

A vida útil da estrutura depende tanto do desempenho dos elementos e componentes estruturais propriamente ditos quanto dos demais componentes e partes da obra. Em princípio deve caber ao proprietário da obra, assistido pelos responsáveis do projeto arquitetônico e estrutural, definir a extensão da vida útil do projeto da estrutura, registrando-a na documentação técnica da obra (HELENE, 2001). Também apresenta-se relevante o papel dos órgãos financiadores em analisar os projetos e suas condições de exposição a fim de assegurar a vida útil de projeto no período de amortização do investimento realizado.

No entanto, grandes dificuldades apresentam-se ao se projetar uma estrutura visando um período de vida útil pré-estabelecido. Estas dificuldades inviabilizam um rigor técnico para os projetos mais comuns, de modo que é preferível procurar se manter em níveis mais realistas a técnica de projetar (REZENDE, 1996).

HELENE (2001) observa, finalmente, que o conceito de vida útil inclui qualquer tipo ou natureza de manutenção, ou seja, todos os serviços de manutenção previstos no projeto estrutural e previamente acordados com o proprietário e registrados na documentação de projeto estrutural, que deverão ser executados durante o transcorrer da vida útil da estrutura prevista em projeto.

### **3 Procedimentos de análise da vida útil**

Segundo HELENE (2001), a introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto pode ser efetuada, em princípio, através de um dos seguintes procedimentos de espectro amplo:

- com base nas experiências anteriores;
- com base em ensaios acelerados;

- ➔ através de métodos deterministas, baseados nos mecanismos de transporte;
- ➔ através de métodos estocásticos ou probabilistas.

Em especial, quanto ao último procedimento, o autor citado indica que seria o mais moderno e mais realístico método de introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto.

Segundo CASCUDO (2001), os aspectos mais relevantes de durabilidade envolvem investigações sobre as condições da armadura (se passivada ou não), sobre as condições de carbonatação do concreto, sobre a presença de agentes agressivos tais como cloretos e sulfatos no concreto e sobre a eventual presença de agregados reativos. Uma inspeção preliminar e, posteriormente, uma inspeção detalhada fazem parte de uma avaliação sistemática do problema de corrosão das armaduras. A primeira é constituída de um exame visual para caracterizar todos os sintomas, assim como de uma série de pequenos ensaios que permitam abalizar o problema e preparar um plano mais detalhado para desenvolver uma inspeção pormenorizada. A inspeção detalhada tem por objetivo quantificar a extensão da deterioração e caracterizar os elementos da estrutura; seu desenvolvimento exige uma ampla campanha de ensaios.

Segundo JOHN (2001), a norma ISO 15686-2:2001 apresenta métodos para previsão de vida útil de edifícios e seus componentes, submetidos a diversas condições de exposição. O termo previsão pode referir-se a um dos quatro métodos ou a uma combinação dos mesmos, sendo:

- ➔ aceleração da dimensão tempo (em exposições aceleradas de curta duração);
- ➔ interpolação/extrapolação de dados obtidos em componentes semelhantes;
- ➔ interpolação/extrapolação de dados obtidos em condições de serviço semelhantes;
- ➔ extrapolação na dimensão tempo (em exposições de curta duração nas condições de uso).

O procedimento básico do método inclui a identificação das informações necessárias para definição do estudo, a seleção ou desenvolvimento de procedimentos de ensaio, realização de ensaios, interpretação de dados e relatório dos resultados (JOHN, 2001).

Já ISAIA (2001) afirma que a modelagem matemática de deterioração do concreto é, pelo menos, fundada em bases científicas que são inadequadas. Além do mais, o efeito das variáveis ambientais são simultâneas e podem atuar de modo sinérgico, ao longo do tempo em que a estrutura estiver exposta durante sua vida útil, sendo, portanto, em grande parte, ignoradas na modelagem do meio ambiente real a que a estrutura estará submetida durante sua vida útil.

Assim, a introdução de método probabilístico para estudo da durabilidade do concreto em si e dos agentes agressivos ambientais, se constitui no instrumento mais eficiente para ser fixada a vida útil em serviço, com dada probabilidade de ser alcançada (ISAIA, 2001).

No sentido de salientar a complexidade do estudo da durabilidade e da vida útil das estruturas, em especial sobre o modo de considerar o maior número de variáveis na dosagem do concreto, ISAIA (2001) realiza as seguintes afirmações:

- ➔ a maioria dos métodos atuais de dosagem é determinista e prioriza a resistência em detrimento da durabilidade, que é levada em conta indiretamente pela fixação de relação água / cimento máxima ou outros parâmetros implícitos;

- a resistência é propriedade unívona, quantitativa, que pode ser calculada, especificada, medida, enquanto que a durabilidade é qualitativa, multivariável, dependente da interação de vários parâmetros físico-químico-mecânicos-ambientais;
- os métodos de dosagem baseados em fórmula empíricas ou prescrições deterministas não proporcionam durabilidade efetiva às estruturas de concreto;
- as variáveis externas (materiais, mão de obra, ambiente) e internas (microestrutura, mecanismos de transporte, porosidade) são muitas para serem consideradas num único método de dosagem; e
- a grande dificuldade é identificar, quantificar e modelar os parâmetros que influem na durabilidade e suas interações para o método de dosagem.

### 3.1 Requisitos e critérios de desempenho

Segundo BRANDÃO (1999), as exigências da qualidade para uma estrutura de concreto podem ser classificadas em três grupos distintos, referentes, respectivamente, à segurança, ao bom desempenho em serviço e à durabilidade. Os requisitos relativos à segurança e ao bom desempenho em serviço devem ser observados durante toda a vida útil prevista para as estruturas, o que significa que elas devem ser projetadas e mantidas de modo que apresentem durabilidade adequada. As medidas a serem tomadas para garantir a segurança, o bom desempenho em serviço e a durabilidade de uma estrutura são baseadas nas condições de utilização e ambientais.

De forma semelhante, REZENDE (1996) diz que uma estrutura de concreto tem desempenho adequado e qualidade quando apresenta segurança e condições de utilização do ponto de vista de estabilidade e mantém estas características durante o período de vida útil estabelecido em projeto.

Relativamente à durabilidade, os requisitos e critérios de desempenho visam limitar o nível de degradação dos materiais, quando submetidos a ensaios que aceleram a ação dos agentes agressivos atuantes sobre o componente ou estrutura. Buscam impedir a utilização conjunta de materiais incompatíveis físico-quimicamente e de detalhes construtivos que possam contribuir para a diminuição da vida útil da estrutura e de seus elementos (ROQUE, 2003).

### 3.2 Fatores e mecanismos de degradação

Em princípio, a deterioração do concreto pode ocorrer a partir da degradação da pasta, do agregado ou de ambos. BRANDÃO (1999) diz que na prática a degradação da pasta é apontada como a principal causa, uma vez que, sendo o agregado um tipo de rocha, possui maior resistência ao ataque químico. Além disso, os danos na pasta são, em geral, mais severos do que nos agregados.

A deterioração do concreto é iniciada, geralmente, por processos químicos, embora fatores físicos e mecânicos também possam estar envolvidos, em combinação ou não, com os processos químicos. Podem-se distinguir outros tipos de deterioração, como, por exemplo, os desencadeados por processos biológicos ou, ainda, eletroquímicos, como é o caso da corrosão de armaduras embutidas nos concretos.

Na maioria dos processos físicos e químicos que podem afetar a durabilidade das estruturas de concreto, dois fatores predominantes estão envolvidos, a saber: os mecanismos de transporte através dos poros e das fissuras – por difusão, sucção capilar ou pressão hidráulica – e a presença de água.

BRANDÃO (1999) indica que a permeabilidade e a capacidade de absorção são as propriedades do concreto diretamente relacionadas com a resistência ao ataque químico da pasta de cimento. A durabilidade do concreto é essencialmente condicionada por essas duas propriedades, ambas diretamente influenciadas pela porosidade. Todos os fatores que afetam a porosidade do concreto interferem também na sua permeabilidade e capacidade de absorção e, portanto, na sua resistência ao ataque químico. Dentre estes fatores, destacam-se: relação água/cimento; quantidade, composição e finura do cimento; aderência entre pasta e o agregado; presença e quantidade de adições e de aditivos; qualidade da execução; etc.

Assim como a porosidade, BRANDÃO (1999) também indica que a fissuração proporciona de igual modo facilidades para que os agentes agressivos penetrem no concreto e iniciem sua ação destruidora na estrutura. As fissuras vão ocorrer sempre que a tensão no concreto for maior do que a sua resistência à tração, que é reconhecidamente baixa. A ocorrência destas antes do endurecimento da massa, geralmente, resultam de assentamento plástico diferencial ou de retração plástica superficial. A formação dessas fissuras está relacionada diretamente com a exsudação, fenômeno caracterizado pelo deslocamento da água da mistura em direção à superfície, e com a velocidade de evaporação desta água. As fissuras que ocorrem após o endurecimento da massa, porém antes de serem aplicadas as cargas, podem resultar de retração por secagem, movimentações de origem térmica ou de outras causas, tais como: reações álcali-agregado, corrosão das armaduras, ciclo gelo/degelo, ciclo alternado de molhagem e secagem, recalques diferenciais do solo de fundação, etc. As fissuras excessivas que ocorrem após a aplicação do carregamento são devidas a falhas estruturais.

A estrutura dos poros e a configuração das fissuras são os principais fatores intervenientes na velocidade, na extensão e nos efeitos dos mecanismos de transporte de agentes agressivos no interior do concreto, exposto às condições ambientais (umidade e temperatura). As condições ambientais correspondem às ações químicas e físicas às quais a estrutura de concreto é exposta e que resultam em efeitos não incluídos entre aqueles de cargas ou ações previstas no projeto estrutural, como a deterioração das estruturas expostas.

HELENE (2001) indica que os mecanismos de deterioração da estrutura, propriamente dita, são todos aqueles relacionados às ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas, deformação lenta (fluência), relaxação, e outros considerados na NB-001 então em vigor. Os mecanismos mais importantes de deterioração da estrutura de concreto são:

- a) mecanismos de deterioração relativos ao concreto; e
- b) mecanismos de deterioração relativos à armadura.

Quanto aos mecanismos de deterioração relativos ao concreto, HELENE (2001) cita:

- ➔ Lixiviação, cuja sintomatologia básica é uma superfície arenosa ou com agregados expostos sem a pasta superficial, eflorescências de carbonato, elevada retenção de fuligem e risco de desenvolvimento de fungos, com conseqüente redução do pH do extrato aquoso dos poros superficiais;
- ➔ Expansão por sulfatos, cuja sintomatologia é uma superfície com fissuras aleatórias, esfoliação e redução significativa da dureza e resistência superficial do concreto, com conseqüente redução do pH do extrato aquoso dos poros superficiais. Os sulfatos presentes na água do mar, nas águas servidas, nas águas industriais e nos solos úmidos e gessíferos, podem acarretar reações

deletérias de expansão, com formação de compostos expansivos do tipo etringita e gesso secundário;

- Expansão por reação álcali-agregado: dentre os agregados reativos pode-se destacar a opala, a calcedônia, as sílicas amorfas, certos calcários, que, para conduzir a reações significativamente deletérias, requerem estar em presença de elevada umidade. A sintomatologia básica é uma expansão geral da massa de concreto, com fissuras superficiais e profundas;
- Reações superficiais deletérias: destaca-se os problemas oriundos com agregados que contém pirita, que pode acarretar manchas, cavidades e protuberâncias na superfície dos concretos.

Quanto aos mecanismos de deterioração relativos à armadura, HELENE (2001) aponta:

- Despassivação por carbonatação: o fenômeno não é perceptível a olho nu, não reduz a resistência do concreto e até aumenta a sua dureza superficial. A identificação da frente ou profundidade de carbonatação requer ensaios específicos. Ao atingir a armadura, dependendo das condições de umidade ambiente, pode promover séria corrosão, com aparecimento de manchas, fissuras, destacamentos de pedaços de concreto e até perda da seção resistente e da aderência, promovendo o colapso da estrutura ou de suas partes;
- Despassivação por cloretos: eventualmente, teores elevados de cloreto podem ter sido introduzidos durante o amassamento do concreto, geralmente através do excesso de aditivos aceleradores de endurecimento. O fenômeno não é perceptível a olho nu, não reduz a resistência do concreto, nem altera seu aspecto superficial. A identificação da frente ou da profundidade de penetração de certo teor crítico de cloreto requer ensaios específicos. Ao atingir a armadura, pode promover séria corrosão, com aparecimento de manchas, fissuras, destacamentos de pedaços de concreto e até perda da seção resistente e da aderência, promovendo o colapso da estrutura ou de suas partes.

Conforme JOHN (2001), o mecanismo de degradação mais comum é a corrosão da armadura devido a carbonatação do concreto. A profundidade da carbonatação é função da raiz quadrada do tempo de exposição ao ambiente e da resistência mecânica do concreto.

Já para NEVILLE (2001), grande parte dos problemas relacionados com a falta de durabilidade das estruturas mais recentes é devida à mudança das propriedades dos cimentos, que se tornaram mais finos com o objetivo de fornecer resistências mais elevadas à baixa idade, para remoção das formas mais precocemente e expondo as faces do concreto ao meio ambiente com idade muito jovem. A falta de cura nas faces verticais tornam as superfícies mais porosas e mais suscetíveis à penetração de fluídos agressivos.

Assim, a qualidade do concreto está correlacionada aos coeficientes de difusão, de permeabilidade, de absorção capilar, de migração; enfim, aos parâmetros do material concreto com relação ao transporte de certos íons, gases e líquidos através de seus poros. HELENE (2001) indica uma reduzida idéia da enorme variabilidade dessas propriedades nos concretos: o coeficiente de carbonatação (difusão do gás carbônico no concreto) pode variar de  $0,1 \text{ cm.ano}^{-1/2}$  para concretos de 60 MPa, a  $1,0 \text{ cm.ano}^{-1/2}$  para concretos de 15 MPa, nas mesmas condições de exposição. Enquanto a resistência à compressão alterou-se de 4 vezes, a “qualidade” do concreto alterou-se de 10 vezes, mantido o mesmo cobrimento e condições de exposição (!).

Portanto, segundo HELENE (2001), a vida útil desejada para a estrutura pode ser alcançada através de uma combinação adequada de um concreto de melhor qualidade com a redução do cobrimento da armadura mantendo a mesma vida útil de projeto e vice-versa, admitindo que o adensamento e a cura serão e deverão ser bem executados em quaisquer circunstâncias. Assim, fica um certo grau de liberdade entre a escolha da resistência (qualidade) do concreto e a espessura do cobrimento da respectiva armadura.

Como uma idéia complementar ao problema da degradação, JOHN (2001) cita a obsolescência relacionada à durabilidade, citando que aquela não é decorrente de um processo de degradação em si, mas de mudanças nas exigências do usuário. Pode ser considerada como vida útil de serviço definida socialmente. Como não é possível estimar as mudanças sociais que irão ocorrer em longo prazo, não se pode controlar a durabilidade contra a obsolescência. No entanto, podem ser minimizadas as cargas ambientais relativas à obsolescência fazendo com que os componentes que podem se tornar obsoletos com maior facilidade sejam facilmente substituídos. Assim, o conhecimento é o fator decisivo no controle dos problemas de durabilidade relacionados à obsolescência.

## **4 Conclusão**

Com vista à vida útil das estruturas de concreto, uma evolução recomendada seria o meio técnico conhecer melhor a variabilidade efetiva dos cobrimentos, das espessuras de carbonatação e dos perfis de cloreto.

Quanto à durabilidade do concreto, devem ser tomadas providências para garantir baixo índice de permeabilidade, assim como proceder a uma cuidadosa execução do concreto, adotando-se baixa relação água-cimento e com um certo teor mínimo de cimento na dosagem, medidas estas mais eficazes para chegar-se a uma alta densidade do concreto.

Percebe-se, pelo exposto, que o concreto, para ser durável, deve possuir elevada compacidade e ter sua fissuração controlada.

Ainda com vista à durabilidade, é essencial que os devidos cuidados sejam tomados na fase de execução, de modo que se obtenham níveis satisfatórios de qualidade, principalmente no que se refere ao lançamento, ao adensamento e à cura do concreto. O aumento da porosidade e, por conseqüência, da permeabilidade do concreto facilitam a penetração de substâncias nocivas, tornando-o mais suscetível aos ataques por agentes agressivos que podem conduzir à deterioração tanto do próprio concreto como do aço.

Portanto, o projeto para durabilidade deve definir formas estruturais, dimensões e arranjos de armadura apropriados, apresentar especificações adequadas para os materiais, propor recomendações para a execução e fornecer aos usuários planos de inspeção e de manutenção preventiva.

Embora tenham ocorrido avanços significativos no conhecimento da durabilidade dos materiais e tenham sido desenvolvidas metodologias gerais para previsão da vida útil, muitos estudos devem ser ainda feitos para o aprimoramento das metodologias e obtenção de uma quantidade maior de dados (JOHN, 2001).

Assim, controlar a natureza e a distribuição dos poros e das fissuras no concreto torna-se tarefa essencial para atender aos requisitos de durabilidade das estruturas.

## **5 Referências Bibliográficas**

- BRANDÃO, A. M. S.; PINHEIRO, L. M. (1999). **Qualidade e durabilidade das estruturas de concreto armado: aspectos relativos ao projeto.** *Cadernos de Engenharia de Estruturas*. n.8. EESC. Universidade de São Paulo. São Carlos.
- CASCUDO, O., (2001). **Técnicas de laboratório e de campo para avaliação da durabilidade de estruturas de concreto.** WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. Novembro. São José dos Campos.
- DA SILVA, T. J., (2002). **Como estimar a vida útil de estruturas projetadas com critérios que visam a durabilidade.** WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 2. Novembro. São José dos Campos.
- HELENE, P., (2001). **Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto NB/2001.** WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. Novembro. São José dos Campos.
- ISAIA, G. C., (2001). **Durabilidade do concreto ou das estruturas de concreto? Reflexões sobre o tema.** WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. Novembro. São José dos Campos.
- JOHN, V. M. ET ALL, (2001). **Durabilidade e sustentabilidade: desafios para a construção civil brasileira.** WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. Novembro. São José dos Campos.
- METHA, P. K., (1992). **Durability of concrete – Fifty years of progress?.** COLÓQUIO INTERNACIONAL – AVANÇOS NA TECNOLOGIA DE PRODUÇÃO E REPARO DE CONCRETOS EM MEIOS AGRESSIVOS. Agosto. USP - São Paulo.
- NEVILLE, A., (2001). **Consideration of durability of concrete structures: past, present and future.** *Materials and Structures*. v.34, n. 236, p. 114-118.
- REZENDE, L. V. S. ET ALL, (1996). **Resistência do concreto dosado em central - classificação e aspectos de durabilidade.** CONGRESSO TÉCNICO-CIENTÍFICO DE ENGENHARIA CIVIL. Abril. Florianópolis.
- ROQUE, J. A. (2003). **Sistema construtivo em aço patinável e bloco de concreto celular autoclavado: análise de protótipo de Moradia de Interesse Social.** Dissertação (Mestrado). PPGSS-ECM, Universidade São Francisco. Itatiba.