

betão

nº20 Maio 2008

Revista da Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto

Normalização:
Certificação do Controlo •
de Produção de Betão

Ambiente e Energia:
Eficiência Energética •

Obra:

- Burj Dubai: Betão mais perto do céu

Técnica:

- Betão Autocompactável
- Durabilidade do Betão
- Agregados Reciclados para Betão

A durabilidade do betão de acordo com a norma NP EN 206-1:2007



Eng.º F. Pacheco Torgal

Doutor em Materiais de Construção,
Dept.º de Engenharia Civil – EST-IPCB



Eng.º Said Jalali

Professor Associado com Agregação
Dept.º de Eng. Civil – UM

Sumário

A entrada em vigor do Decreto Lei nº 301/2007 vem estabelecer as condições para a colocação no mercado dos betões de ligantes hidráulicos e para a execução das estruturas de betão. De acordo com este documento, o betão destinado a ser colocado no mercado nacional deve ser especificado e produzido de acordo com a norma NPEN 206-1:2007, sendo que a propósito da questão da durabilidade do betão, são nesta norma citadas as Especificações LNEC E 461 (Betões. Metodologias para prevenir reacções internas), E 464 (Betões. Metodologia prescritiva para uma vida útil de projecto de 50 e de 100 anos face às acções ambientais), E 465 (Betões. Metodologia para estimar as propriedades de desempenho do betão que permitem satisfazer a vida útil do projecto de estruturas de betão armado ou pré-esforçado sob as acções ambientais XC e XS) e E 469 (Espaçadores para armaduras de betão armado), cujo conteúdo neste artigo se pretende sintetizar, precedido de uma breve análise sobre a durabilidade do material betão.

1. Introdução

É com o desenvolvimento da produção e estudo das propriedades do cimento, que culmina com a aprovação da patente do cimento Portland apresentada por Joseph Aspdin em 1824, que se vai dar o grande desenvolvimento na aplicação de betão nas construções. Em Portugal, a indústria de cimento Portland tem o seu início

em 1894 com a fábrica de cimento Tejo em Alhandra, sendo que datam dessa altura no nosso país as mais antigas construções em betão armado [1]. Inicialmente idealizado como uma rocha artificial, esperava-se que conseguisse resistir à passagem do tempo com a mesma eficácia. Contudo, o teste do tempo revelou um material que para a escala humana se comporta de forma aceitável, mas está muito longe de conseguir um desempenho semelhante ao de uma rocha natural. As construções em betão armado que conseguiram chegar aos nossos dias, revelam um estado de degradação muito elevado, o qual é por sua vez, função da agressividade do ambiente a que estiveram expostas. Durante mais de um século, a durabilidade do betão esteve de certa forma associada à sua resistência mecânica, pelo que a utilização de um betão mais resistente pressupunha uma vida útil mais longa. Contudo, dezenas de anos de investigação, conjuntamente com toda a experiência colhida da análise e observação do comportamento real das estruturas de betão *in situ*, comprovam que essa era uma abordagem muito insuficiente. O novo enquadramento regulamentar do material betão, consubstanciado na norma NP EN 206-1:2007 e que no presente artigo se pretende analisar, inicia uma abordagem da durabilidade daquele material que é inovadora em termos regulamentares e que constitui um primeiro passo no caminho certo, daquilo que se espera no futuro em termos de uma nova norma (EN206:2010?), que consiga trazer novos contributos para a durabilidade do betão.

2. Considerações sobre a durabilidade do betão

A durabilidade do betão caracteriza, em termos gerais, a capacidade deste material para resistir a ataques de natureza física ou química. Uma determinada estrutura em betão, deverá então ser capaz de manter o desempenho previsto, durante a sua vida útil. E quando se fala do betão, fala-se mais especificamente na matriz cimentícia, porque em termos gerais é a pasta de cimento endurecida que mais contribui para a deterioração do betão, pois

| Factor de degradação | Processo | Degradação |
|-----------------------------------|---|---|
| Mecânicos | | |
| Carregamento estático | Deformação | Deflexão, fendilhação e rotura |
| Carregamento cíclico | Fadiga, deformação | Deflexão, fendilhação e rotura |
| Biológico | | |
| Micro-organismos | Produção de ácido | Lixiviação |
| Bactérias | Produção de ácido | Lixiviação |
| Químicos | | |
| Água pura | Lixiviação | Desagregação do betão |
| Ácido | Lixiviação | Desagregação do betão |
| Ácido e gases ácidos | Neutralização | Despassivação do aço |
| Dióxido de carbono | Carbonatação | Despassivação do aço |
| Cloretos | Penetração, destruição da camada de despassivação | Despassivação do aço |
| Despassivação do aço + H_2O+O_2 | Corrosão | Expansão do aço, perda de secção e de aderência |
| Tensão + cloretos | Corrosão do aço | Pré-esforço |
| Sulfatos | Pressão dos cristais | Desagregação do betão |
| Agregado (sílica) + álcalis | Reacção da sílica | Expansão, desagregação |
| Agregado (carbonato) + álcalis | Reacção do carbonato | Expansão, desagregação |
| Físicos | | |
| Variação de temperatura | Expansão/contracção | Deformação restringida |
| Variação de humidade | Retracção e expansão | Deformação restringida |
| Baixa temperatura + água | Formação de gelo | Desagregação do betão |
| Sal descongelante + geada | Transferência de calor | Escamação do betão |
| Gelo (mar) | Abrasão | Escamação, fendilhação |
| Trânsito | Abrasão | Desgaste e rotura |
| Água corrente | Erosão | Danos superficiais |
| Água turbulenta | Cavitação | Cavidades |
| Electromagnéticos | | |
| Electricidade | Corrosão | Expansão do aço, perda de secção e de aderência |
| Magnetismo | Corrosão | Expansão do aço, perda de secção e de aderência |

Quadro 1 – Factores de degradação do betão [2]

esta fase porosa vai permitir a entrada de agentes agressivos do exterior para o interior daquele material. A durabilidade surge assim associada à minimização da possibilidade dos agentes agressivos poderem ingressar no betão, o que poderá acontecer sob determinadas condições ambientais, por qualquer um dos seguintes mecanismos de transporte: permeabilidade, difusão ou capilaridade.

Os mecanismos de degradação do betão podem ser de natureza física, química ou uma combinação de ambas, conforme se apresenta no Quadro 1.

Merecem contudo, pela sua importância algum destaque, as seguintes causas de degradação do betão:

2.1 Reacção álcali-agregado

A reacção álcali-agregado é um processo químico que ocorre entre alguns minerais dos agregados, os iões alcalinos (Na^+ e K^+) e hidroxilos (OH^-) que estão dissolvidos na solução dos poros do betão. Os iões e hidroxilos podem ser provenientes do cimento, da água de amassadura, dos próprios agregados e materiais pozolânicos entre outros. Daquilo que se conhece sobre as reacções que se desenvolvem entre agregados de natureza expansiva e o cimento Portland, podem subdividir-se em três tipos consoante o tipo de agregados, [3,4]:

- Reacção dos hidroxilos alcalinos com o carbonato de magnésio de certos calcários dolomíticos, também designada reacção álcali-carbonato;
- Reacção entre os iões alcalinos e hidroxilos e a sílica amorfa dos agregados, também designada reacção álcali-sílica;
- Reacção álcali-silicato, que é idêntica à reacção álcali-sílica mas muito mais lenta e ocorre não entre a sílica livre dos agregados mas entre alguns silicatos presentes nos feldspatos, também em certas rochas sedimentares (grauvaques), metamórficas (quartzitos) e magmáticas (granitos).

Relativamente ao primeiro caso, na reacção álcali-carbonato os alcális do cimento vão reagir com o calcário dolomítico provocando a saída do magnésio e expondo a argila do calcário à penetração da água, o que origina um fenómeno de expansão [5,6]. No segundo caso e o mais frequente, a reacção álcali-sílica do agregado referida pela primeira vez por Stanton em 1940 [7], envolve o ataque do material silicioso pelos hidróxidos alcalinos derivados do alcális do cimento. Sendo necessária a contribuição simultânea de três factores para que a reacção ocorra: a) quantidade suficiente

de sílica amorfa, b) iões alcalinos e c) água. A reacção álcali-sílica, começa com o ataque da sílica reactiva dos agregados pelos hidróxidos alcalinos do cimento, formando-se um gel que atrai água por osmose ou difusão tendendo a aumentar de volume. Como o gel está confinado pela pasta de cimento, a pressão interna origina fendilhação. Esta hipótese foi confirmada por diversas experiências, tendo sido medidas pressões osmóticas de 4MPa em gel de silicato alcalino. Tais tensões são superiores às tensões de rotura do betão por tracção, sendo por isso admissível que o gel possa provocar a sua expansão e fissuração (Figura 1).

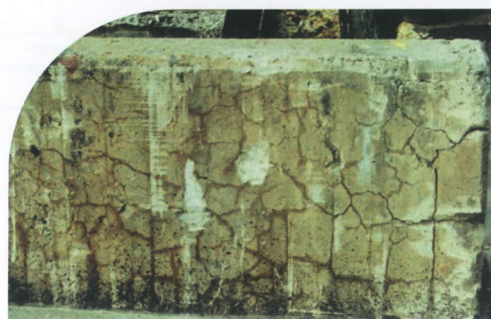


Figura 1 – Betão fissurado por ocorrência de reacção álcali-agregado

2.2 Ataque de sulfatos

O ataque dos sulfatos ao betão, caracteriza-se pela reacção química dos iões sulfatos, (como substância agressiva) com a alumina do agregado ou com o aluminato tricálcico (C_3A), da pasta de cimento endurecido, na presença de água, formando sulfoaluminato de cálcio hidratado (etringite secundária, hidratação do cimento e não expansiva) e gesso (sulfato de cálcio), ambos produtos que ocupam um volume superior aos seus componentes, o que origina expansão e fissuração do betão [8]. O ataque de sulfatos ocorre quando no sistema poroso do betão penetram, por difusão, soluções de sulfatos provenientes da água do solo, do mar ou de efluentes industriais. Os betões com cimentos do tipo I são os mais vulneráveis a este tipo de ataque, sendo os mais resistentes, os cimentos pozolânicos e os cimentos de escórias, embora estas adições não tornem o betão imune a este tipo de ataque em todas as situações. Embora todos os tipos de sulfatos levem à degradação do betão, o mecanismo e grau de ataque depende do tipo de sul-

fato, sendo que o sulfato de mágnesio tem uma acção mais devastadora que os sulfatos de cálcio e de sódio. Um tipo particular de ataque por sulfatos, é designado por formação retardada de etringite (DEF-delayed ettringite formation) ou ataque interno por sulfatos. Este tipo de ataque costuma ocorrer em betões à base de cimento Portland, curados com tratamento térmico. A formação de etringite retardada pode manifestar-se nas seguintes condições:

- ausência de fontes externas de sulfatos;
- história de cura por calor;
- presença de vazios em torno dos agregados (Figura 2);
- vazios proporcionais aos agregados.

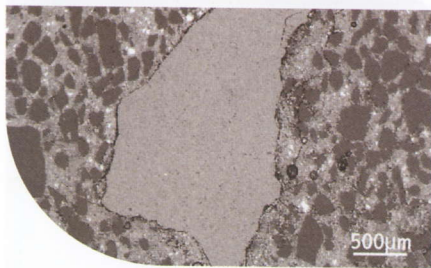


Figura 2 – Imagem em microscópio electrónico de uma partícula de agregado, característica de um ataque de sulfatos com formação de etringite retardada. É visível o contorno do agregado que se deve à formação de etringite secundária [9]

O ataque por sulfatos com formação de taumasite, reveste um caso particular, em que contrariamente aos dois casos já referidos, há formação de gesso e etringite secundária, neste caso concreto não são os aluminatos cálcicos hidratados que são sujeitos a ataque mas sim os silicatos cálcicos hidratados (CSH). A substituição dos CSH por taumasite, leva à perda da resistência mecânica do betão, com transformação deste material numa massa pastosa (Figura 3).

Pelo que este tipo de ataque é assim muito mais grave do que aqueles em que há fissuração por expansão, pois esta não reduz de forma tão drástica a capacidade resistente deste material. A ocorrência deste tipo de ataque, necessita de iões sulfato, iões carbonato, CSH, e água. Sendo os agregados calcários uma fonte de iões carbonato, as obras de fundações realizadas com betões de agregados calcários, em solos com água e sulfatos estão sujeitas a um elevado risco de um ataque deste tipo [10].

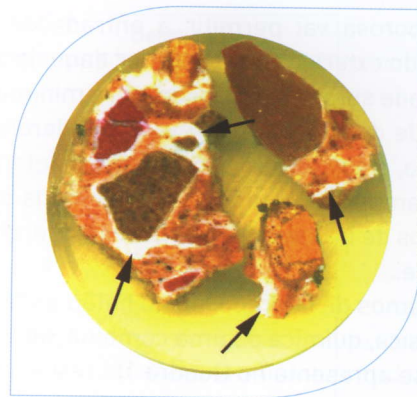


Figura 3 – Amostra de betão recolhida numa estrutura viária. As setas indicam a formação de taumasite junto aos agregados [9].

2.3 Carbonatação

A carbonatação do betão é um processo pelo qual o dióxido de carbono atmosférico reage na presença de humidade com os produtos do cimento hidratado para formar carbonato de cálcio. A importância deste fenómeno reside no facto de reduzir a alcalinidade do betão; ora, as armaduras de aço, quando inseridas no meio alcalino do betão criam uma fina camada de passivação (óxido de ferro) que as protege da reacção com o oxigénio e a água impedindo a sua corrosão. Contudo, a manutenção dessa camada necessita de um pH elevado, entre 12 a 14, enquanto que a carbonatação pode reduzir esse valor para 8, com a consequente eliminação daquela camada. O principal factor que controla a carbonatação é a difusividade da pasta de cimento que, por sua vez é função da estrutura porosa, daí que a razão A/C e a humidade sejam factores cruciais. A título de exemplo, num betão com uma razão A/C = 0,6, pode atingir-se uma profundidade de carbonatação de 15 mm em 15 anos, mas se a razão A/C for de 0,45, a mesma profundidade de carbonatação levará 100 anos a ser atingida [11].

2.4 Penetração de cloretos

O ingresso de cloretos para o interior do betão tem como principal consequência a corrosão das armaduras de aço e secundariamente a fissuração do próprio betão provocada pelo aumento de volume dos produtos dos óxidos da corrosão. O ingresso de cloretos no interior do betão pode ocorrer, por permeabilidade, capilaridade ou difusão, ou ainda através da utilização de agregados contaminados pela água da mistura ou pela utilização de adjuvantes com este elemento. Nem todos os iões de cloro contribuem

para o ataque às armaduras, alguns reagem com os compostos do cimento e ficam fixos, sendo que somente os íons de cloro livres, podem iniciar o processo de corrosão se em concentração suficiente.

2.5 Metodologias de abordagem da durabilidade

Existem basicamente duas formas de controlo da durabilidade dos betões. Uma será através da imposição de limites à composição, em termos de razão A/C e quantidade mínima de cimento ou garantindo valores mínimos de recobrimento ou de classe de resistência. Esta abordagem é fácil, mas simplista e conservadora. Uma outra variante, ligada a requisitos de desempenho tem a vantagem de permitir otimizar o projecto alcançando um benefício em termos de custo, sem sacrificar a segurança da estrutura. Nesta segunda abordagem, especifica-se o desempenho mas não a forma de o alcançar. No entanto, a transição de normas prescritivas para normas de desempenho nem sempre é fácil, pois requer o desenvolvimento de ensaios de desempenho que avaliem os materiais em condições aplicáveis na vida real [12].

3. A durabilidade na nova regulamentação

Na nova regulamentação, os requisitos para o betão resistir às acções ambientais são apresentados em termos de valor limite para a composição e também de propriedades estabelecidas para o betão. No entanto, e em alternativa, podem resultar em especificações baseadas no desempenho deste material. Esta abordagem inovadora, em termos normativos, inicia um novo ciclo, pautado por um maior recurso à engenharia dos materiais.

3.1 LNEC E 461-2007- Metodologias para prevenir reacções expansivas internas

Esta norma identifica as rochas e minerais existentes no nosso país potencialmente reactivos aos álcalis, define metodologias para avaliar a reactividade dos agregados e a possibilidade das composições de betão virem a desenvolver reacções expansivas internas e estabelece as medidas a tomar para evitar a ocorrência de reacções expansivas por reacções álcalis-sílica ou por formação de etringite retardada. Esta especificação não trata as reacções álcalis-carbonato por não ser conhecida a sua ocorrência em Portugal, nem as outras reacções sulfáticas internas por o cumprimento das normas de produtos relevantes prevenirem a sua ocorrência. A norma des-

creve quais os tipos de rochas e minerais potencialmente reactivos aos álcalis e propõe uma metodologia para a avaliação da reactividade dos agregados (Figura 4).

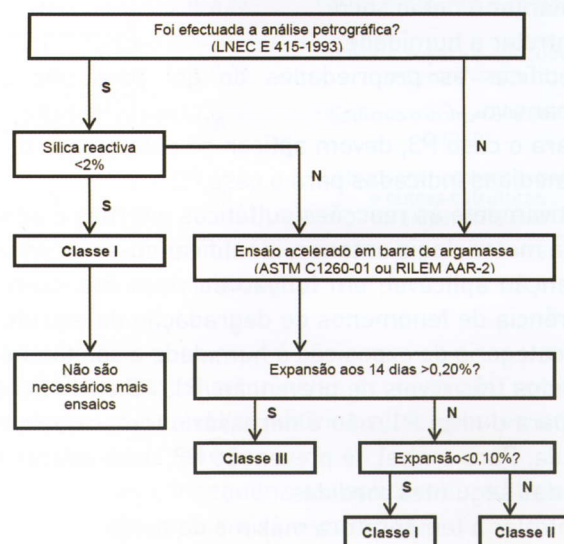


Figura 4 – Metodologia para avaliação da reactividade dos agregados

Esta metodologia, não é no entanto aplicável aos granitóides, para os quais é aplicável uma outra metodologia. Também para as rochas calcárias, se dispensa a presente metodologia desde que o teor de resíduo insolúvel em ácido seja inferior a 2%. Em face da aplicação das metodologias de avaliação de reactividade, os agregados são classificados em 3 classes:

Classe I – Agregado não reactivo;
 Classe II – Agregado potencialmente reactivo;
 Classe III – Agregado potencialmente reactivo sendo que a probabilidade de ocorrência de reacções expansivas é superior para os agregados da classe III. Ao nível do projecto, o dono da obra ou o projectista deve identificar o nível de prevenção aplicável, em função do risco associado à ocorrência de fenómenos de degradação da estrutura e da categoria de exposição à humidade. Em face do risco e da categoria ambiental são definidos três níveis de prevenção:

P1 – Ausência de precauções especiais;
 P2 – Nível de prevenção normal;
 P3 – Nível de prevenção especial.

Para o caso P1, não é necessário tomar qualquer medida.

Para o nível de prevenção P2, deve aplicar-se uma das seguintes medidas:

- controlar a alcalinidade dos poros do betão;
- evitar a presença de um teor crítico de sílica reactiva e manter o betão seco;
- controlar a humidade;
- modificar as propriedades do gel para não ser expansivo.

Já para o caso P3, devem aplicar-se pelo menos duas das medidas indicadas para o caso P2.

Relativamente às reacções sulfáticas internas é adoptada a metodologia anterior, identificando-se o nível de prevenção aplicável, em função do risco associado à ocorrência de fenómenos de degradação da estrutura e da categoria de exposição à humidade e são também definidos três níveis de prevenção, P1, P2 e P3. Sendo que para o nível P1, não é necessário tomar qualquer medida. Para o nível de prevenção P2, deve aplicar-se uma das seguintes medidas:

- controlar a temperatura máxima do betão;
- controlar a teor de álcalis do betão e de aluminatos e sulfatos do ligante;
- controlar a humidade e manter o betão seco;
- controlar o teor de hidróxido de cálcio.

Também aqui para o caso P3, devem aplicar-se pelo menos duas das medidas indicadas para o caso P2.

3.2 LNEC E 464-2007 – Metodologia para uma vida útil de projecto de 50 e de 100 anos face às acções ambientais

A presente especificação esclarece a selecção de classes de exposição em que foram organizadas as acções ambientais agressivas para o betão e fixa as medidas prescritivas que permitem esperar que seja satisfeita a vida útil de projecto das estruturas de 50 ou 100 anos nos ambientes correspondentes às diversas classes de exposição. Estabelece ainda o enquadramento geral para garantir a vida útil de projecto das estruturas de betão e a aptidão do conceito de desempenho equivalente. A norma repete as classes de exposição, já apresentadas na NPEN206-1, acrescentando-lhes mais exemplos informativos sobre situações reais a que correspondem.

Em substituição dos valores limites para a composição e resistência do betão com carácter informativo e indicados no anexo F da NP EN 206-1 (página 72), a presente norma estabelece valores de recobrimento mínimo nominal, de máxima razão A/C, de mínima dosagem de cimento e mínima

classe de resistência, que o betão deve satisfazer sob as acções ambientais para que a estrutura tenha uma vida útil de 50 anos. Assim como também se indicam os tipos de cimentos que se podem utilizar. Já para uma vida útil de 100 anos, a Especificação LNEC E 464, introduz as seguintes alterações relativamente às exigências formuladas para uma vida útil de 50 anos:

- para betões armados ou pré-esforçados sujeitos à acção do dióxido de carbono ou de cloretos, o recobrimento mínimo nominal aumenta 10 mm;
- nos betões sujeitos à acção gelo-degelo ou ao ataque químico, o valor A/C é diminuído de 0,05, a mínima dosagem de cimento é aumentada de 20kg/m³ e a classe de resistência à compressão é aumentada de duas classes.

Nos casos em que a estrutura, esteja sujeita a mais do que uma classe de exposição, devem utilizar-se os requisitos mais exigentes da dosagem de cimento, da razão A/C e da classe de resistência entre as diversas classes. No caso de se pretender utilizar outros cimentos que não os indicados na Especificação, ou os recobrimentos forem menores que os recobrimentos mínimos previstos consoante se pretenda uma vida útil de 50 anos ou 100 anos, deve recorrer-se ao conceito de desempenho equivalente do betão. O princípio deste conceito é o de que sobre uma composição de referência que satisfaça as exigências de composição para a classe de exposição objecto de estudo de equivalência e com o cimento de referência indicado para esta classe se determinem as propriedades referidas no Quadro 2.

| Classe de exposição | Propriedade | Método de ensaio | Provetes (mm) |
|-------------------------------|------------------------------|------------------|------------------------|
| XC1 XC2 XC3 XC4 | Carbonatação acelerada | LNEC E 391 | 1 provete 150×150×600 |
| | Permeabilidade ao oxigénio | LNEC E 392 | 3 provetes Ø150; h=50 |
| | Resistência à compressão | NP EN 12390-3 | 3 provetes 150×150×150 |
| XS1/XD1 XS2/XD2 XS3/XD3 | Coef. de difusão de cloretos | LNEC E 463 | 2 provetes Ø100; h=50 |
| | Absorção capilar | LNEC E 393 | 3 provetes Ø150; h=50 |
| | Resistência à compressão | NP EN 12390-3 | 3 provetes 150×150×150 |

Quadro 2 – Propriedades, métodos e provetes de ensaios

Os resultados obtidos na composição de referência são depois comparados com os correspondentes valores da composição de estudo e extraídas conclusões sobre a equivalência de comportamento das duas composições. A especificação LNEC E 464 apresenta em anexo, os princípios e regras de aplicação relativas ao recobrimento das armaduras, de acordo com a EN 1992-1-1. Assim, o recobrimento nominal (c_{nom}) a utilizar nos cálculos estruturais, a especificar nos desenhos e a garantir na execução, é a soma do recobrimento mínimo ($c_{min,dur}$) tabelado e uma parcela (Δc_{dev}) relativa a tolerâncias de execução de valor especificado função do tipo de estruturas (Na NP ENV 13670-1 é $\Delta c_{dev}=10\text{mm}$).

3.3 LNEC E 465-2007 – Metodologia para estimar as propriedades de desempenho do betão que permitem satisfazer a vida útil do projecto de estruturas de betão armado ou pré-esforçado sob as exposições ambientais XC e XS

Esta especificação estabelece uma metodologia para estimar as propriedades de desempenho do betão armado ou pré-esforçado, sujeito à acção do dióxido de carbono ou dos cloretos que permitem satisfazer a vida útil pretendida. A norma aborda as questões da modelação, quer da humidade do ambiente que conduz à deterioração do betão, quer do próprio comportamento do material, em termos da degradação do betão armado por corrosão das armaduras, como forma de ultrapassar as limitações dos modelos prescritivos em termos de dosagens e limites das propriedades. A Especificação retoma o conceito de vida útil da norma EN 1990:2002 – Eurocode basis of structural design (Quadro 3), atendendo a que diversas obras ou mesmo diversas partes de uma obra devem ter diferentes vidas úteis.

A especificação LNEC E 465, apresenta também uma metodologia geral para o projecto de durabilidade, quando o betão é a única barreira às acções que deterioram o betão armado, recomendando a quantificação do:

- tempo de vida útil, através do Quadro 3;
- valor de probabilidade máximo aceitável (mínimo índice de fiabilidade) de ser atingido o estado limite de utilização;
- estado limite de utilização;
- desenvolvimento no tempo quer da “acção” imposta pela acção ambiental (S), como da resistência da estrutura a essa acção (Rs).

Nessa sequência são definidas três “Classes de Consequências”:

| Vida útil pretendida | | Exemplos |
|----------------------|-----------|---|
| Categoria | tg (anos) | |
| 1 | 10 | Estruturas temporárias |
| 2 | 10 a 25 | Partes estruturais substituíveis |
| 3 | 15 a 30 | Estruturas para a agricultura e semelhantes |
| 4 | 50 | Edifícios e outras estruturas comuns |
| 5 | 100 | Edifícios monumentais, pontes e outras estruturas de engenharia civil |

Quadro 3 – Categorias de vida útil

CC3 – Elevadas consequências económicas, sociais e ambientais, aplicável a edifícios altos, pontes principais, hospitais e teatros;

CC2 – Médias consequências, aplicável a edifícios de habitação, industriais e de escritórios;

CC1 – Pequenas consequências, aplicável a armazéns ou construções pouco frequentadas.

A estas classes correspondem classes de fiabilidade, RC1, RC2 e RC3 com probabilidade de ocorrência β , estando os níveis β ligados às classes de inspecção previstas na NP ENV 13670-1.

A metodologia geral do projecto de durabilidade procura garantir para o estado limite de utilização e para a vida útil pretendida tg:

que a resistência da estrutura face às acções ambientais $R_s(t_g)$, calculada utilizando os modelos de desempenho, seja superior à acção ambiental, $S(t_g)$, ou em alternativa que a vida útil, T_L , avaliada através dos modelos de desempenho, seja superior à vida útil pretendida, t_g . A presente norma recorre a factores de segurança de vida útil, definidos em função das classes de fiabilidade para estimar as propriedades de desempenho. Para a modelação da deterioração do betão armado, a especificação LNEC E 465 baseia-se no modelo de Tuuti [13], com um primeiro período de iniciação da corrosão e um segundo de propagação dessa corrosão. O período de iniciação corresponde ao tempo necessário para que o dióxido de carbono ou os cloretos penetrem no betão de recobrimento e criem condições para a despassivação do aço, o período de propagação decorre entre a despassivação e o atingir-se um estado limite, pelo que é a existência no betão de recobrimento de poros ou fissuras que é responsável pela falta de

resistência do betão às acções ambientais. Para a modelação da humidade, admite-se que no betão é o grau de saturação de água nos poros que condiciona a taxa de corrosão das armaduras, enquanto que a profundidade de penetração do dióxido de carbono varia inversamente com o grau de saturação e ocorrendo o contrário com os cloretos. Sendo o grau de saturação função dos períodos de chuva e crescendo com a sua frequência e duração, a norma modela a humidade em função da humidade relativa e do tempo de molhagem.

Os modelos para o cálculo do período de iniciação relacionam a profundidade de penetração do dióxido de carbono ou dos cloretos com este período de tempo através de propriedades de desempenho ligadas ao movimento do CO_2 ou dos cloretos nos poros abertos do betão de recobrimento. Assim, tendo em conta o período de propagação e a vida útil pretendida e satisfeitos os requisitos de estabilidade, pode-se diminuir os requisitos de desempenho às acções ambientais do betão aumentando a espessura de recobrimento.

3.4 LNEC E 469-2007 – Espaçadores para armaduras de betão armado

Esta especificação estabelece as características que os espaçadores devem satisfazer para garantir o recobrimento das armaduras ordinárias estabelecidas no projecto de estruturas de betão armado, complementando as exigências relativas ao recobrimento do Anexo B.2 da Especificação LNEC E 464. Não são no entanto objecto da presente especificação, os estribos de montagem usados para suportar as malhas das armaduras horizontais superiores das lajes, ou para manter o espaçamento entre malhas de armaduras nas paredes. Os espaçadores devem ser preferencialmente de argamassa de cimento, podendo usar-se espaçadores de plástico em elementos sujeitos às classes X_0 , X_{C1} , X_{C2} . A argamassa utilizada no fabrico dos espaçadores deve utilizar cimento CEM I ou CEM II/A e ter uma resistência à compressão de 50MPa, quando ensaiada de acordo com a norma NP EN 196-1. A fixação dos espaçadores às armaduras pode ser realizada por arames previamente incorporados ou passados através de furação ou caleiras próprias, ou no caso dos espaçadores de plástico, através de sistemas de autofixação cuja eficiência deve ser avaliada segundo a norma BS 7973-1. Os espaçadores devem ter as dimensões adequadas para suportar as cargas previstas e satisfazer os recobrimentos nominais estabeleci-

dos na Especificação E 464. Nas lajes, os espaçadores devem ser colocados em todos os varões mais próximos da cofragem, em ziguezague e com uma distância entre si, não superior a 50 diâmetros com um máximo de 1 metro. Para as vigas, os espaçadores devem ser colocados na base e nas duas faces laterais, em estribos situados nas extremidades, em intervalos que não ultrapassem 1 m. Para os pilares, os espaçadores devem ser colocados nas cintas de topo, do fundo e do meio do troço a betonar, e em intervalos não superiores a 100 diâmetros. A Especificação E 469 apresenta em anexo várias figuras relativas à colocação dos espaçadores.

4. Conclusões

A durabilidade dos betões, à base de cimento Portland, é um tema crucial a vários níveis, quer económicos, quer mesmo ambientais. Várias são as causas de degradação do betão, fazendo-se no presente artigo uma resenha destas. Apresentou-se também uma síntese dos aspectos que na nova regulamentação enquadram a questão da durabilidade deste material, os quais pela primeira vez, permitem agora e a par da tradicional abordagem prescritiva, uma abordagem assente no desempenho do betão.

5. Bibliografia

- [1] Appleton, João – Construções em betão. Nota histórica sobre a sua evolução. www.civil.ist.utl.pt/~crisina/GDBAPE/ConstrucoesEmBetao.pdf.
- [2] Sarja, A.; Vesikar, E. – Durability design of concrete structures. RILEM Report 14E & FN SPON, CRC Press, Ottawa, 1996. Citado por R. Ferreira (Avaliação de ensaios de durabilidade de betão. Tese de Mestrado, 2000, U.Minho).
- [3] Reis, M.; Silva, A. – Reacções álcalis-sílica. Recomendações gerais para prevenir a deterioração do betão. LNEC ITM C23. Lisboa, 1997.
- [4] Santos Silva, A. – A degradação do betão por reacções alcalis-sílica. Utilização de cinzas volantes para a sua prevenção. Tese de Doutoramento da Universidade do Minho/LNEC. 2005.
- [5] Wood, J.; Johnson, J. – The appraisal and maintenance of structures with alkali-silica reaction. The Structural Engineer 71 n.º 2 1993.

- [6] Poitvin, P. – Limestone aggregates concrete, usefulness and durability. Cement and Concrete Research 21 (1999) 89-97.
- [7] Stanton, T.E. – Influence of cement and aggregate on concrete expansion. Eng. News Record 1 (1940) 50-61.
- [8] Gonçalves, A. – As exigências relacionadas com a durabilidade do betão. ATIC Magazine, no 25, pp. 41-48, 2000
- [9] www.understanding-cement.com/sulfate.html
- [10] Coutinho, Joana – Durabilidade. Ataque por sulfatos. FEUP, 2001.
- [11] Wiering, P. – Long time studies on the carbonation of concrete under normal outdoor exposure. RILEM Symposium on Durability of Concrete under Normal Outdoor Exposure. Hannover 1984
- [12] Ferreira, Rui – Projecto de durabilidade de betão. Seminário Inovação em betões. Construnor 2006 pp.101-112.
- [13] Tuuti, K. – Corrosion of steel in concrete. Swedish Cement and Concrete Research Institute. Report no CBI FO 4:82 1982 PP. 223- 236.

Tapete transportador para betão pronto

"Quando os acessos são difíceis, o tapete transportador telescópico impõe-se necessariamente!"

O testemunho do Senhor Francisco Miquelez – Pedreiro

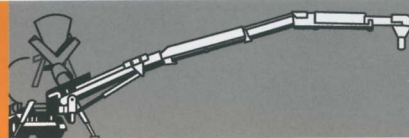


A empresa Miquelez é familiar e os dois filhos vieram recentemente trabalhar para junto do Pai. "Há alguns anos atrás eramos confrontados com situações insolúveis quando se trabalhava em obras de acesso difícil : Muitas vezes a escolha passava por colocar uma betoneira no local da obra ! Ora, o betão pronto, é o ideal para este tipo de trabalho, mas perdíamos horas imensas com o manuseamento do betão! Presentemente, peço ao meu fornecedor de betão pronto que este seja descarregado com um tapete (tapis) transportador telescópico o que me resolve 80% do manuseamento!

Que se trate de um trabalho em terreno de difícil acesso ou, como neste exemplo, de uma renovação em loteamento urbano, o tapete transportador telescópico é a solução prática e económica para resolver este tipo de trabalhos de acesso difícil, a não ser que volte-se a utilizar novamente o carro de mão....!

"Porém e quando fazemos as contas, não há erro na escolha ! Mesmo se há um acréscimo de preço na descarga do betão pronto pelo fornecedor este é compensado pelo ganho de tempo, menos cansaço e poupança no material empregado no trabalho."

E você, porque não pede que a descarga do betão pronto se faça com um tapete (tapis) transportador telescópico?



THEAM

Convoyeur d'innovations

Tapete de inovações



informe-se:
www.theam.com
 tel : 21 754 05 81
 telem : 917 54 91 07