

A degradação do **betão**



A degradação do *betão*

Índice

▶ 1	Introdução	2
▶ 2	A degradação do betão	4
▶ 3	Agressões de tipo químico	5
3.1	Agressão do anidrido carbónico	5
3.1.1	Diagnose da degradação devida à carbonatação	7
3.1.2	Diagnose da degradação devida ao deslavamento	8
3.2	Agressão de sulfatos	9
3.2.1	Diagnose da degradação devida ao ataque de sulfatos	10
3.3	Agressão de cloretos	11
3.3.1	Diagnose da degradação devida ao ataque de cloretos	12
3.4	Reação álcali-agregados	13
3.4.1	Diagnose da degradação devida à reação álcali-agregados	14
▶ 4	Agressões de tipo físico	15
4.1	Gelo e degelo	15
4.2	Altas temperaturas	17
4.3	Retração e fissuração	19
▶ 5	Agressões de tipo mecânico	20
5.1	Abrasão	20
5.2	Choque	21
5.3	Erosão	22
5.4	Cavitação	22
▶ 6	Defeitos	22
▶ 7	As classes de exposição	25

► 1 | Introdução

As verdadeiramente primeiras construções em betão são de atribuir aos Romanos que utilizavam uma mistura de cal, pozolana, pedrisco e água. Famosas e majestosas construções romanas são por exemplo o aqueduto Pont du Gard em Nimes (*foto 1*), edificado por volta do 150 a.C. e ainda o mais famoso Pantheon (*foto 2*) em Roma, realizado no ano 27 a.C. Estes exemplos dão-nos uma ideia das fantásticas prestações que este material nos pode fornecer. No tratado “*De architettura*” do escritor, arquiteto e engenheiro *Vitruvio*, escrito cerca do ano

foto 1
Pont du Gard em Nimes
França



25 a.C., fala-se de conglomerado, em latim “*opus caementitium*”, definido como um conjunto de cal, areia e água, misturado com partes de pedra ou de tijolo. Estes poucos exemplos fazem-nos perceber quanto são antigas as origens do material que procuramos analisar. Para falar de betão “moderno” regressemos ao início de 1800. O ligante utilizado no interior da mistura deriva da cozedura a elevadas temperaturas, até 1500°C, de terrenos compostos por argila e calcário, que dá lugar à formação de *klinker* em pequenas bolas. Uma vez misturado com adequados adjuvantes de moagem e macerado toma o nome de cimento.

O betão da era moderna é uma mistura de água, cimento, agregados e eventuais adjuvantes (fluidificantes, superfluidificantes, etc.), adicionados de acordo com a NP EN 934-2:2009, que lhe modificam a reologia, as propriedades e as prestações. Este material parece não ter pontos débeis em termos de durabilidade, composto por produtos fáceis de obter, relativamente de

custo relativamente baixo, fácil de utilizar, etc.

Isto é verdadeiro só em parte. Por exemplo, o betão tem uma ótima resistência à compressão mas escassa à tração, da qual nasce a exigência de o armar com barras de aço que vão obviar este inconveniente, mas que nos podem criar outros como veremos em seguida. Outra limitação fundamental do betão é a de ser muito sensível às condições nas quais venha a ser confeccionado e utilizado, sendo estas as mais variadas, aqui nascem outros tantos inconvenientes. Existem muitas variáveis que podem incidir sobre qualidade do produto e é próprio o pouco cuidado destas causas que tornam o betão mais vulnerável. A necessidade sempre crescente, nestes últimos anos, de recorrer a intervenções de manutenção e



foto 2
Pantheon
Roma - Itália

reparação das estruturas, determinou uma mudança decisiva da verba para as intervenções de reabilitação, relativamente àquela sustentada para a realização de novas construções.

A contínua subida dos custos de construção, porém, torna quase sempre mais conveniente a reabilitação, mesmo se a degradação das estruturas atingiu uma certa gravidade.

Um betão, mesmo se bem confeccionado, colocado em ambientes agressivos, mais tarde ou mais cedo apresentará defeitos que determinam a degradação.

► 2| **A degradação do betão**

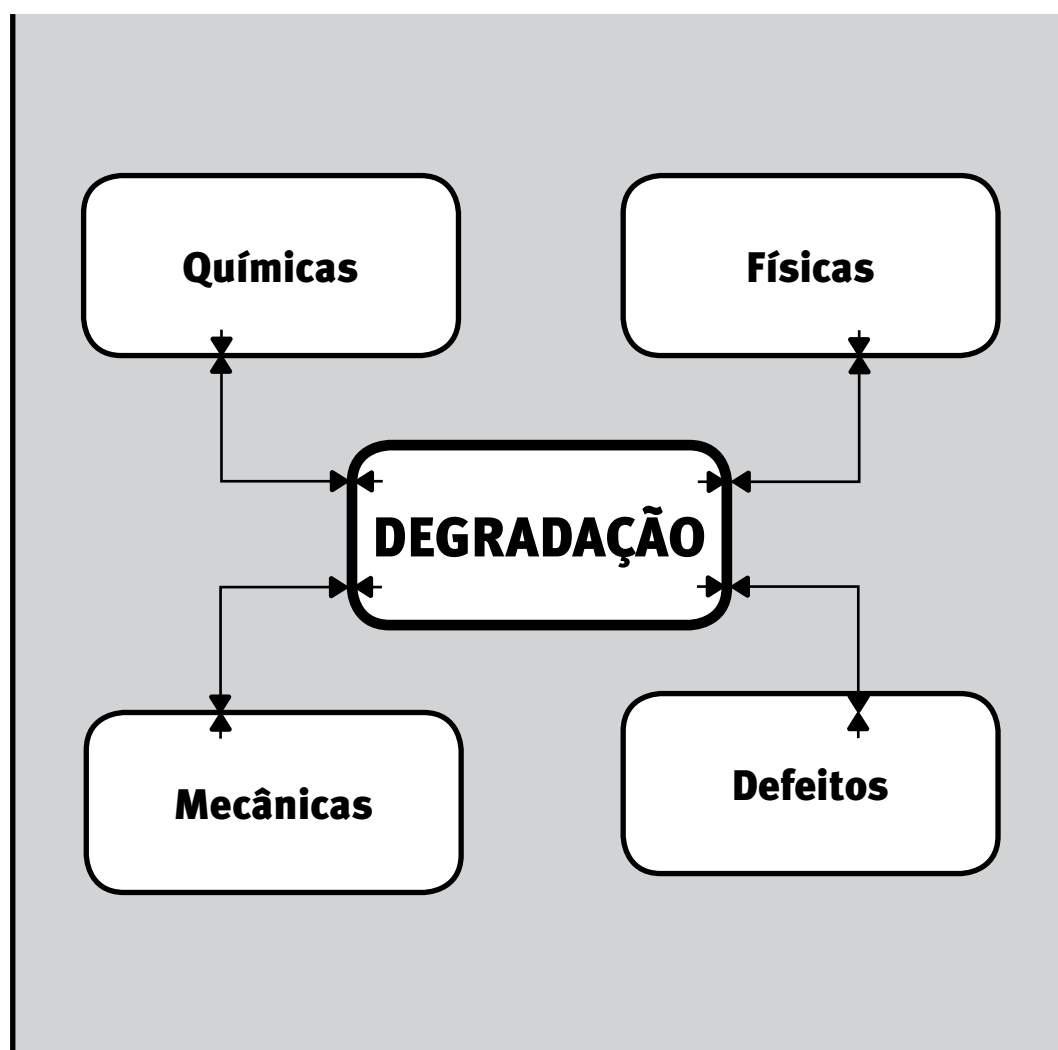
O objetivo deste “caderno” é o de fazer compreender da maneira mais clara possível os fenómenos da degradação que afetam o betão, de liga-los às causas bem precisas, de modo a individualizar os mais válidos remédios, e assim ajudar quem procure enfrentar os problemas resguardando o seu agravamento.

A| Causas

B| Efeito

C| Remédio

As causas da degradação podem dividir-se em 4 grandes famílias:



► 3 | **Agressões de tipo químico**

3.1 | *Agressão do anidrido carbónico*

3.2 | *Agressão de sulfatos*

3.3 | *Agressão de cloretos*

3.4 | *Reação álcali-agregados*

► 3.1 | **Agressão de anidrido carbónico**

A agressão devida ao CO_2 pode manifestar-se em dois diversos modos, consoante o contexto no qual se encontra. Nas obras expostas ao ar verifica-se a carbonatação do betão, em quanto que nas obras hidráulicas se instaura o fenómeno do deslavamento da pasta cimentícia. A carbonatação é devida à penetração do CO_2 no betão. O fenómeno consiste na transformação da cal, que se origina em consequência da hidratação do cimento, em carbonato de cálcio por efeito da presença do anidrido carbónico, cujo conteúdo depende do ambiente no qual nos encontramos (zonas mais ou menos industrializadas).

Um betão são tem um pH superior a 13 e nesta condição sobre os ferros de armadura cria-se um filme de óxido férrico passivo que os impermeabiliza à passagem de oxigénio e humidade.



foto 3

Exemplo da degradação devida ao anidrido carbónico

Se a estrutura for carbonatada o pH do betão decresce, passando a valores que podem ser mesmo inferiores a 9, criando assim um ambiente pouco alcalino para as armaduras. Em presença de um pH inferior a 11, o filme passivante é neutralizado deixando assim os ferros expostos à agressão do oxigénio e da humidade presentes no ar. Nestas condições inicia-se o processo de corrosão das armaduras que aumentam o seu volume cerca de 6 vezes. Desta

forma, a camada de argamassa de recobertura de ferro destaca-se da armadura até chegar à completa expulsão (*foto 3*). Uma vez que o betão fica degradado, a deterioração dos ferros será sempre mais veloz porquanto se criam vias de acesso mais fáceis para o oxigénio e a humidade.

O CO_2 procede do exterior para o interior do betão. A velocidade com que ele penetra é fortemente influenciada pelo teor da humidade. O transporte do anidrido carbónico é muito rápido na fase gasosa ou seja no interior dos poros cheios de ar, enquanto que é muito mais lento nos poros onde existe humidade, por conseguinte nos poros saturados de água a velocidade de penetração será quase nula. Recorda-se que, para que a carbonatação ocorra, a presença de humidade é absolutamente necessária. O gráfico seguinte resume o conceito de velocidade de penetração do CO_2 ligado à humidade relativa do betão.

gráfico 1

Velocidade de carbonatação em relação à % de humidade relativa.

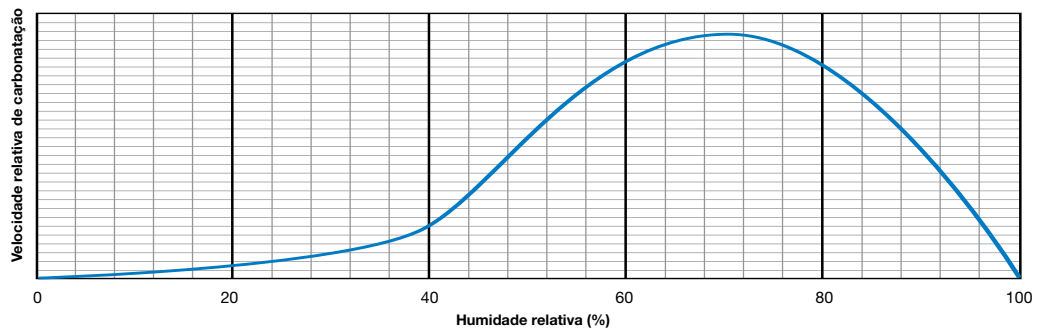


foto 4

Estrutura degradada devido à corrosão dos ferros



Os valores de humidade mais perigosos são os compreendidos entre 50 e 80%, acima deste intervalo a velocidade vai diminuindo até se anular, quer seja em condições completamente enxutas quer como completamente saturadas (*gráfico 1*).

Em conclusão pode-se afirmar que o fenómeno da carbonatação é prejudicial só para as estruturas armadas pelos motivos supra mencionados, enquanto não é determinante naquelas realizadas com betão não armado.

Observando uma construção em betão que se apresente como na foto 4, será possível formar uma primeira hipótese sobre as causas da degradação.

O fenómeno do deslavamento consiste na remoção da matriz cimentícia devido a uma ação mecânica da água sobre betão, como se pode notar na foto 5. Este fenómeno é agravado se encontramos em presença de águas particularmente ácidas por causa do anidrido carbónico agressivo, presente sobretudo nas águas puras da montanha, ou então pela presença de substâncias derivadas de descargas industriais, ou ainda por culpa do ácido sulfúrico de origem orgânica, que se desenvolve naquelas águas que refluem dos esgotos.



foto 5

Efeito do deslavamento sobre uma superfície em betão

3.1.1 | Diagnose da degradação devida à carbonatação

Para avaliar a degradação devida à carbonatação, utiliza-se um método colorimétrico baseado na coloração que o betão assume depois de sua superfície ser tratada com uma solução de 1% de fenolftaleína em álcool etílico (EN 13295:2004). Esta solução em contacto

foto 6
Prova colorimétrico
com fenolftaleína



com um material não carbonatado colorear-se-á de carmim, enquanto que se afetado pela carbonatação permanecerá incolor. Deste modo consegue-se avaliar a espessura do betão afetado pelo fenómeno. Um exemplo é ilustrado na foto 6 onde se pode notar a profundidade da carbonatação de cerca 3 cm.

A profundidade do betão armado afetada pelo fenómeno identifica a gravidade do dano. Para executar a reparação é preciso eliminar toda a espessura do material penetrado pelo CO_2 em correspondência com os ferros de armadura.

3.1.2| Diagnose da degradação devida ao deslavamento

Neste caso a análise química, térmica, em vez da difração por raios X não resultará apropriada para avaliar o fenómeno do deslavamento, porquanto o produto deste tipo de degradação é bicarbonato de cálcio que é muito solúvel e por conseguinte com a passagem da água é retirado e não se pode identificar sobre a superfície. Um outro motivo pelo qual as citadas análises não são significativas é o facto que o primeiro passo é a formação de bicarbonato de cálcio, mas este está ainda presente na maior parte dos betões, assim como está presente nos agregados de natureza calcária ou nos fillers, e seria impossível estabelecer qualquer separação entre esses e aqueles desenvolvidos pelo efeito do anidrido carbónico agressivo. O único modo para evidenciar a presença de deslavamento sobre o betão é o de fazer uma atenta análise visual de forma a avaliar a superfície que se danificada apresenta os agregados descobertos, livres da matriz cimentícia.

► 3.2| Agressão de sulfatos

Os sulfatos solúveis mais comuns presentes nos terrenos, nas águas e nos processos industriais são os de cálcio e de sódio. Existem também os de magnésio, menos comuns mas mais destrutivos. O ião sulfato pode estar presente nas águas como nos terrenos mas pode também encontrar-se diretamente nos agregados sob forma de impureza. Se os sulfatos provém dos terrenos ou das águas em contacto com a estrutura, o ião sulfato transportado para o interior da matriz cimentícia pela água (fundamentalmente para o transporte) reage com o hidróxido de cal e forma gesso.



foto 7/8

Exemplo de estrutura afetada por agressão sulfática

Este vai reagir por sua vez com os aluminatos de cálcio hidratados (C-A-H) formando etringita secundária que aumentando de volume provoca delaminações, inchamentos, fissurações e destacamentos (*foto 7/8*). A etringita primária distintamente da secundária não é nociva para os betões porque é aquela que se forma da ligação entre os aluminatos anidros e o gesso adicionado no cimento para regular a presa. Este tipo de etringita é útil além de não ser nociva, uma vez que cria uma barreira em torno dos aluminatos e retarda o processo de hidratação. Uma ulterior diferença entre etringita primária e secundária é que a primeira forma-se quase de imediato e de maneira uniforme no interior do empaste, estes dois fatores juntos ao facto que naquele momento o betão é ainda num estado plástico, fazem que se criem pequenas tensões expansivas que não são nocivas. A secundária por sua vez, forma-se muito tempo depois do vazamento e em particular na parte cortical do betão (aquela penetrada por sulfatos), criando fortes tensões expansivas por causa da rigidez já adquirida pelo vazamento.

Um outro tipo de ataque de sulfato manifesta-se quando em presença de carbonato de cálcio

com temperaturas baixas (inferiores a 10°C) e uma humidade relativa superior a 95%, forma-se taumasita que provocando a descalcificação provoca uma verdadeira meteorização do betão. Os sulfatos que para além do exterior podem também provir do interior do betão, sob forma de impurezas naturais nos agregados, em forma de gesso ou anidrite. O gesso dos agregados tem dimensões mais elevadas em relação ao adicionado ao cimento para a presa, por consequência é menos solúvel em água. Isto faz com que não seja logo disponível para a formação de etringita primária, mas sucessivamente irá formar etringita secundária no betão já curado criando assim fissurações.

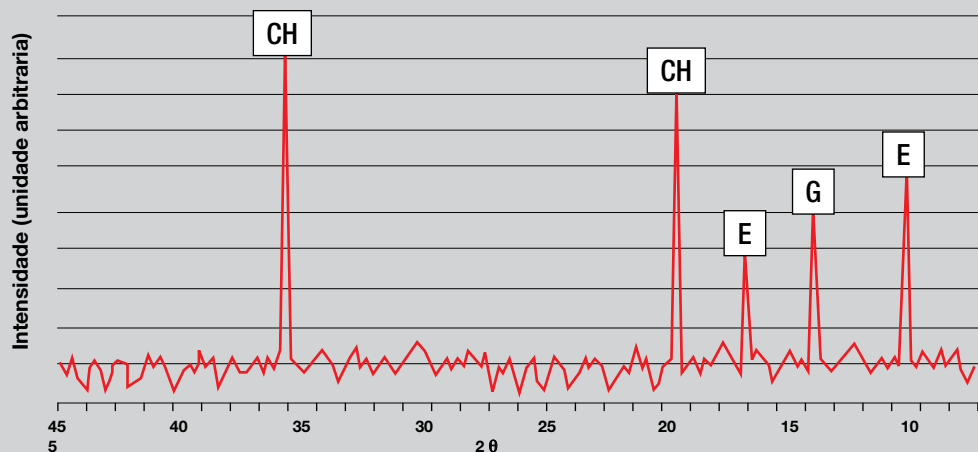
3.2.1 | Diagnose da degradação devido ao ataque de sulfatos

Para concluir se a degradação do betão é devida ao ataque sulfático, efetua-se uma análise química para identificar a quantidade de sulfato presente. Normalmente no betão é presente, apesar de mesmo em ínfima parte, uma quantidade de sulfato cálcio, adicionado ao cimento durante a moagem, que age como regulador de presa. O conteúdo considerado no interior do betão pode-se estimar à volta de 0,4-0,6%.

Um método para identificar se há ou não presença de etringita ou gesso é o difratograma por raios X que identifica os picos destas substâncias, como evidenciado no gráfico aqui em baixo (9).

Após ter analisado as amostras, comparam-se os valores e se estes resultem notavelmente superiores ao conteúdo considerado normal (pelo menos 30% de diferença), então a degradação pode-se considerar devido ao ataque sulfático. Fazendo a análise química de um provete pode-se definir quanto os sulfatos sejam superiores à quota normal estabelecida mas não podemos definir o estado da degradação uma vez que este manifesta-se com a formação de produtos degradantes tais como gesso, etringita e taumasita.

foto 9
difratograma por raios X
(CH: cal E: etringita G: gesso)



► 3.3| Agressão de cloretos

A agressão por parte de cloretos (*foto 10*) no betão pode acontecer se o mesmo ficar em contacto com ambientes no qual o conteúdo é elevado, como a água marinha ou os sais degelantes ou se confeccionado com matérias-primas contaminadas. O cloreto uma vez penetrado no betão, se atingir os ferros de armadura, elimina a película passivante de óxido férrico deixando-os assim expostos ao processo de corrosão. A penetração tem início na



foto 10

Corrosão devida ao ataque de cloretos

superfície para depois prosseguir para o interior do betão; o tempo de penetração depende de:

- concentração de cloretos que entram em contacto com a superfície do betão;
- permeabilidade do betão;
- percentual de humidade presente.

A corrosão acontece pela combinação de dois fatores, ambos necessários. A presença de cloretos, que despavam os ferros e a humidade unida ao oxigénio. Por exemplo, uma estrutura completamente imergida na água marinha, apresentará um conteúdo de cloretos seguramente muito elevado, mas tendo as porosidades completamente saturadas de humidade, o oxigénio não conseguirá penetrar e por consequência a corrosão dos ferros não acontecerá ou será desprezável. Considerando sempre uma estrutura realizada na água do

mar, a zona mais afetada pela degradação devido aos cloretos é a *splash-zone*, ou seja aquela que por causa do modo ondulante ou da maré é periodicamente molhada e enxuta. No que diz respeito aos sais degelantes, estes são espalhados nas estradas nos períodos inverniais e graças à água da chuva penetram na estrutura, criando corrosão e portanto degradação. Uma vez desencadeado o processo, qualquer seja a localização da estrutura, a corrosão torna-se mais rápida em quanto encontra vias de acesso mais fáceis. A concentração de cloretos necessária para promover a corrosão dos ferros é diretamente proporcional ao pH do betão: quanto mais alcalino for, mais cloreto é necessário para desencadear o processo. Fazendo referência a esta última consideração, pode-se ligar o fenómeno da carbonatação à degradação por cloretos, enquanto o primeiro abaixa o pH do betão e portanto torna vulneráveis também porções de estrutura que apresentam uma menor concentração de cloretos.

3.3.1 | Diagnose da degradação devido ao ataque de cloretos

Também para os cloretos pode-se estabelecer, com simples análises químicas de laboratório, a sua presença. Neste caso um conteúdo em torno do 0,2-0,4% em relação ao peso do cimento pode-se considerar natural para um betão, em presença percentuais maiores o cloreto infiltra-se provocando dano.

Além da análise química é possível efetuar outros dois ensaios:

- ensaio colorimétrico com fluoresceína e nitrato de prata (norma UNI 7928);
- análise por difração de raios X.

O primeiro ensaio consiste em pulverizar uma carota prelevada com uma solução de fluoresceína e nitrato de prata. Por reações químicas, que não iremos tratar no específico, a parte de betão penetrada por cloretos colorear-se-á de rosa claro, enquanto a parte sã tornar-se-á escura. A linha que demarca a mudança de cor indica a espessura de betão degradado e portanto se os cloretos atingiram os ferros de armadura.

O segundo ensaio evidencia os produtos desenvolvidos pelos cloretos no interior do betão. Os cloretos que provêm dos sais degelantes, são de dois tipos, cloreto de sódio (NaCl) e cloreto cálcio (CaCl₂), o primeiro pode levar a uma reação álcali-agregado e ao fenómeno do *pop-out* na pavimentação. O segundo, hoje em dia pouco utilizado, dá origem à formação de oxicloreto produto fortemente degradante para o betão, dado que origina a expulsão da matriz cimentícia associável à degradação por deslavamento.

► 3.4| Reação álcali-agregados

A reação álcali-agregados pode criar uma forte expansão e um grave deterioramento das estruturas em betão. Alguns tipos de agregados como os que contêm sílica reativa, reagem com dois álcalis, potássio e sódio contidos no cimento, ou, como citado no parágrafo precedente, com os provenientes do ambiente exterior sob forma de cloreto de sódio (NaCl) (sais degelantes ou água do mar). Da reação forma-se um gel fortemente expansivo se exposto à humidade. Este vai gerar forças que rompem o betão à volta do agregado. A reação álcali-agregados é um processo que ocorre de forma heterogénea e lentamente no tempo enquanto ligada à composição dos agregados que contêm sílica amorfa. O produto da reação que ocorre nas condições descritas são os silicatos de sódio e potássio hidratados, muito volumosos.

A reação álcali-agregados manifesta-se quando desponha na parte cortical do betão mostrando na sua superfície micro ou macro fissurações, ou destacando uma pequena porção de betão por cima do agregado silício reativo (*pop-out*). Este último fenómeno é possível encontrá-lo nas pavimentações industriais. A foto 11 mostra uma estrutura que apresenta uma forte fissuração ramificada, típico exemplo de degradação causado pela reação álcali-agregados. Uma vez que o betão se deteriorou, uma ulterior percentagem de humidade acelerará o processo de reação e adicionará também o risco de deterioração causado pelo gelo-degelo.



foto 11

Degradação devida à reação álcali-agregados

3.4.1| Diagnose da degradação devido à reação álcali-agregados

Uma primeira e imediata avaliação para identificar a presença de reação álcali-agregados é uma atenta análise visual. Este tipo de degradação manifesta-se com a fissuração do betão distribuída em teia mais ou menos desordenada consoante a armadura presente. Em concomitância com as fissurações dá-se um inchamento causado pelo aumento de volume. Uma análise química que pode identificar com certeza a presença de reações entre álcalis e agregados reativos (sílica amorfa) é de tipo clorométrico, efetuado com um reagente de hexanitrocobaltato de sódio.

Este teste é utilizado para a identificação do gel produzido pela reação entre os álcalis de cimento e a sílica dos agregados (patente americano). Na prática o hexanitrocobaltato de sódio reage com o K (potássio) do gel, criando um precipitado colorido, no qual onde se ocorreu a reação, verifica-se a mudança de cor que passa a amarelo. Para determinar se os agregados são reativos e, portanto, potencialmente sujeitos ao fenómeno, pode-se efetuar uma análise petrográfica segundo a norma EN 932-3.

Nas fotos 12 e 13 nota-se respetivamente a carota retirada de uma estrutura e o resultado da análise com hexanitrocobaltato que identifica a reação.

foto 12

Carota retirada de uma estrutura degradada

foto 13

Exame colorimétrico com hexanitrocobaltato



► 4 | **Agressões de tipo físico**

- 4.1 | *Gelo e degelo*
- 4.2 | *Altas temperaturas*
- 4.3 | *Retração e fissuração*

► 4.1 | **Gelo e degelo**

O efeito do gelo é deletério só se há água no estado líquido no interior do betão. Isto não quer dizer que deva estar perfeitamente seco mas que o nível de humidade não supere um determinado valor denominado “saturação crítica”.

Entende-se que a água presente no interior da porosidade deve ser abaixo do dito valor de modo que, mesmo aumentando de volume congelando, consiga permanecer no interior dos poros sem criar tensões. Pelo contrário, se a água enchesse todo ou quase o volume dos poros, congelando, irá romper o betão por causa da pressão instaurada (a água congelando aumenta o seu volume inicial em 9%).

Mesmo não superando o valor de saturação crítica, pode porém verificar-se a rotura do betão por causa da presença de água. Se tivermos em consideração o percentual de água presente em todo o betão, não consideramos a distribuição heterogénea que esta tem no interior do vazamento. Para resolver este inconveniente, mede-se o percentual presente sobre a faixa cortical, ou seja onde se desencadeiam os fenómenos da degradação causados pelos ciclos gelo degelo (*foto 14/15*).



foto 14
Degradação devido ao gelo

foto 15
Degradação devido ao gelo



Para limitar os efeitos negativos das baixas temperaturas é preciso diminuir a microporosidade capilar e favorecer a presença de macroporos (dimensões compreendidas entre 100 e 300 μm), adicionando à mistura aditivos introdutores de ar, manter uma baixa relação a/c mas, sobretudo, utilizar agregados não gelificantes.

Os danos derivados do gelo-degelo porém ocorrem quando são presentes em concomitância as seguintes condições:

- 1) baixas temperaturas;
- 2) ausência de macroporosidade.

O tipo de dano é proporcional a:

- nível de porosidade;
- nível de saturação de humidade;
- números de ciclos;
- ar englobado (na ordem de 4-6% para agregados com diâmetro máximo de 20-50 mm, mas também de 8% para agregados mais pequenos).

► 4.2 | Altas temperaturas

O efeito das altas temperaturas sobre o betão é destrutivo. Os ferros de armaduras podem resistir até a uma temperatura de 500°C, enquanto o betão pode resistir até 650°C. A função da camada de cobertura dos ferros é neste caso fundamental para abrandar a propagação da temperatura. Quanto mais espessa for a camada de cobertura, maior é o tempo que os ferros demoram a atingir as temperaturas de colapso de 500°C.

Os danos que o fogo pode criar ao betão são muitos e bastante importantes:

- as armaduras protegidas pela camada de cobertura do ferro, aquecendo por efeito das altas temperaturas aumentam o seu volume, criando tensões no betão, até à expulsão da mesma;
- quando as armaduras são expostas ao fogo, expandem muito mais rapidamente do que o betão no qual estão inseridas, causando a sua expulsão e perda de aderência;
- mesmo não chegando à temperatura limite de colapso, o betão pode perder as suas características prestacionais no momento em que seja repentinamente arrefecido, situação que se cria quando se executam operações de extinção do incêndio. nesta situação o óxido formado por causa do calor transforma-se em cal desintegrando o betão;
- na face mais próxima do fogo, por causa do calor extremo, verifica-se a fragmentação devido a rápida expansão, alguns agregados explodindo poderão destacar também o betão adjacente, o mesmo acontece quando a humidade presente se transforma repentinamente em vapor aquoso criando pequenas explosões;
- se a exposição ao fogo for prolongada, também as armaduras atingem a temperatura de colapso e perdem a sua resistência à tração, causando o cedimento da estrutura.

De seguida um esquema que resume as fases da degradação causada pelo fogo.

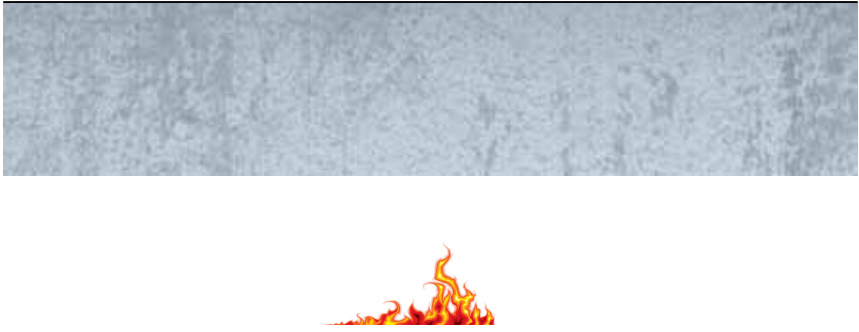



<p>O betão pode suportar temperaturas até 650°C.</p>	
<p>A primeira parte a desagregar-se será a camada de cobertura dos ferros, parte fundamental para a proteção das armaduras.</p>	
<p>Uma vez que as armaduras estão descobertas, o calor propaga-se mais rapidamente.</p>	
<p>Com a exposição prolongada às altas temperaturas, também o ferro perde as suas características prestacionais causando o colapso da estrutura.</p>	

Tabela 1

► 4.3| Retração e fissuração

Neste parágrafo serão tratados dois tipos de retrações, a plástica e a higrométrica. A primeira acontece quando o betão ainda na fase plástica cede parte da sua humidade ao ambiente exterior causando assim uma contração. A fissuração neste caso é ligada às condições nas quais é realizado o vazamento. Em estruturas cofradas a evaporação não acontece por razões óbvias, enquanto em obras onde o betão está diretamente em contacto com o ambiente, acontece por causa da temperatura, de humidade reduzida exterior ou vento forte. A retração plástica, ocorrendo quando o betão está ainda fresco, pode provocar uma micro fissuração superficial. A retração higrométrica é devida à cedência de humidade no ambiente com uma H.R. baixa no decurso de toda a vida útil.

Para evitar os problemas causados pela retração plástica é preciso evitar que a água presente na mistura evapore demasiado rápido. Isso pode-se fazer em diversos modos:

- 1) estendendo no vazamento uma tela impermeável que impede a evaporação;
- 2) nebulizando completamente a superfície nos primeiros dias após o vazamento;
- 3) aplicando no vazamento ainda fresco uma película de produto anti-evaporante.

Uma vez que o betão “extingue” a maior parte da retração higrométrica nos primeiros seis meses, é impossível pensar em molhá-lo durante todo o tempo, por isso deve-se agir sobre fatores diversos, tais como a diminuição da relação a/c e aumentar a relação i/c .

As imagens 16 e 17 são um exemplo de fissuração numa pavimentação em betão.



foto 16
Fissuração do betão

foto 17
Fissuração de lastras em betão

► 5| **Agressões de tipo mecânico**

5.1| *Abrasão*

5.2| *Choque*

5.3| *Erosão*

5.4| *Cavitação*

► 5.1| **Abrasão**

Se um material é agredido repetidamente por partículas provenientes de outro corpo mais duro, instaura-se o fenômeno de abrasão. Este ocorre por causa do atrito que os pós mais duros exercem na superfície do material. Por isso pode-se perfeitamente perceber que a abrasão depende diretamente de características internas do material constituinte do betão. Podemos conseqüentemente melhorar a resistência à abrasão, quer baixando a relação a/c, quer realizando uma polvilhação de cimento misturado com aditivos e agregados duros sobre superfície do betão.

Fatores que influenciam a resistência à abrasão:

- resistência à compressão;
- propriedades dos agregados;
- acabamento;
- presença de remendos;
- condições das superfícies.

Estruturas particularmente afetadas por este fenômeno são as pavimentações industriais, agravadas por uma passagem contínua de meios de circulação.

Na foto 18 um exemplo de erosão causada pela presença de água em movimento.

foto 18
Exemplo de erosão



► 5.2| Choque

Um outro tipo de degradação devido a causas mecânicas é o provocado por choques. As considerações a fazer não são muitas neste caso, uma vez que o betão é um material frágil e portanto se sofrer impactos de uma certa entidade, degrada-se com conseqüente perda de resistência. Não quer dizer que o dano se revele imediatamente, pode ser que este apareça após muitos ciclos, por exemplo nas juntas de uma pavimentação, agravadas pela passagem de meios mecânicos. Neste caso o único método para diminuir os efeitos da degradação é de confeccionar um betão o mais resistente possível.



foto 19
Exemplo de degradação
das juntas

Para tornar o betão mais resistente aos choques é bom reforçá-lo com fibras de aço de forma que a eventual energia do impacto seja melhor repartida por toda a estrutura. Nas fotos 19 e 20 dois exemplos de degradação causados por repetidos choques em pavimentações de betão.



foto 20
Betão degradado

► 5.3| Erosão

A erosão é uma tipologia particular de desgaste por ação do vento, água ou gelo, que provoca a remoção de material da superfície. Depende da velocidade, do conteúdo de pós duros e da qualidade do betão. Neste caso o único remédio é o cuidado na confeção do material e são válidos os mesmos termos utilizados para a abrasão.

► 5.4| Cavitação

A cavitação é um problema que se apresenta em presença de água em movimento (> 12 m/s). A velocidade elevada da água em conjunto com uma superfície de escorrência não regular, provoca turbulências, criam-se zonas de baixa pressão e instauram-se vórtices que vão desgastar o suporte. As bolhas de ar que se formam na água correm em conjunto com ela e quando encontram uma zona de alta pressão implodem criando um forte impacto e isto cria erosão. Se a velocidade da água for considerável, a erosão devida à cavitação pode ser mesmo de grande dimensão. O fenómeno da cavitação pode ser evitado realizando superfícies lisas e sem obstruções ao curso da água.

► 6| Defeitos

O betão é uma mistura de vários elementos. A sua preparação está ligada a exigências particulares. Quanto mais elevadas forem as exigências, mais delicado é o *mix-design*. Os componentes principais são o cimento, os agregados, a água e os aditivos. Cada um deles, se utilizados na forma incorreta, poderá criar um ou mais pontos fracos. Imaginando ter à disposição os melhores produtos presentes no mercado, mas por escasso conhecimento ou por outros motivos venham a ser misturados entre si com relações de todo erradas, o resultado será o mesmo o que se conseguiria se viessem a ser utilizados os “ingredientes” piores. É de fundamental importância garantir a qualidade dos materiais, mas ainda mais a mistura entre eles. Na foto 21 um exemplo de segregação dos agregados devida a uma confeção errada e/ou aplicação em obra. O componente fundamental é o cimento que deve ser adequado ao tipo de obra a executar e à classe de exposição (assunto que será tratado no próximo parágrafo). Relativamente a este “ingrediente” é preciso fazer uma consideração, ou seja, apesar de ser o elemento que faz de ligante e que portanto permite que seja atingidas as prestações requeridas, nem sempre aumentando a sua quantidade se melhoram as prestações. Pode-se facilmente compreender que quanto mais cimento é presente numa mistura, mais elevada será a retração que o vazamento sofrerá.



foto 21

Segregação dos agregados num betão

Os agregados devem ser de granulometria adequada e bem doseados entre partes grossas e finas, bem limpos, porque substâncias estranhas podem alterar as características previstas ou, no pior dos casos, ser a causa da degradação, se inquinados por substâncias como as analisadas nos parágrafos precedentes.

Para a escolha do aditivo é fundamental conhecer as características que se desejam do betão. Na mistura entre elementos, a relação a/c desempenha um papel fundamental em conjunto com a de agregados/cimento. O primeiro de paridade de qualidade mais baixa é melhor, o segundo deve ser bem proporcionado consoante a quantidade das partes finas e grossas.

Na foto 22 pode-se notar, além da clara segregação dos agregados, também a exposição dos ferros de armadura, sintoma de uma incorreta aplicação do betão. Não garantindo uma



foto 22

Ferros descobertos num betão

adequada camada de cobertura dos ferros. Todos os problemas causados pela penetração de agentes degradantes são facilmente encadeáveis.

Resumindo, os defeitos do betão podem ser agrupados em três famílias:

- defeitos devidos a uma má idealização da mistura;
- defeitos devidos a uma incorreta composição;
- defeitos devidos a uma errada aplicação em obra.

► 7 | As classes de exposição

A degradação do betão pode ser evitada prestando atenção ao projeto, considerando atentamente o ambiente onde será aplicado em obra.

A norma técnica NP EN 206-1:2007 (Betão – Especificação, desempenho, produção e conformidade), individualiza 6 classes de exposição, para cada um dos quais é dado indicações para o projeto, confeção e colocação em obra do betão.

A classe de exposição	Ambiente	Estrutura	Subclasse
X0	Sem risco de corrosão ou ataque	Betão armado e não	X0
XC	Corrosão induzida por carbonatação	Betão armado	XC1, XC2, XC3, XC4
XD	Corrosão induzida por cloretos não proveniente da água do mar	Betão armado	XD1, XD2, XD3
XS	Corrosão induzida por cloretos da água do mar	Betão armado	XS1, XS2, XS3
XF	Ataque pelo gelo/degelo com ou sem produtos descongelantes	Betão armado e não	XF1, XF2, XF3, XF4
XA	Ataque químico	Betão armado e não	XA1, XA2, XA3

Tabela 2

As 6 classes de exposição segundo a NP EN 206-1

Todas as classes e subclasses estão definidas e descritas na norma NP EN 206-1 como segue:

CLASSE X0: Para betão não armado e sem metais embebidos: todas as exposições, exceto ao gelo/degelo, à abrasão ou ao ataque químico.

Para betão armado ou com metais embebidos: ambiente muito seco.

CLASSE XC: Corrosão induzida por carbonatação

XC1: Seco ou permanentemente húmido

XC2: Húmido, raramente seco

XC3: Moderadamente húmido

XC4: Ciclicamente húmido e seco

CLASSE XD: Corrosão induzida por cloretos não proveniente da água do mar

XD1: Moderadamente húmido

XD2: Húmido, raramente seco

XD3: Ciclicamente húmido e seco

CLASSE XS: Corrosão induzida por cloretos da água do mar.

XS1: Ar transportando sais marinhos mas sem contacto direto com a água do mar

XS2: Submersão permanente

XS3: Zonas de marés, de rebentação ou de salpicos

CLASSE XF: Ataque pelo gelo/degelo com ou sem produtos descongelantes

XF1: Moderadamente saturado de água, sem produtos descongelantes

XF2: Moderadamente saturado de água com produtos descongelantes

XF3: Fortemente saturado, sem produtos descongelantes

XF4: Fortemente saturado, com produtos descongelantes

CLASSE XA: Ataque químico

XA1: Ambiente quimicamente ligeiramente agressivo

XA2: Ambiente quimicamente moderadamente agressivo

XA3: Ambiente quimicamente fortemente agressivo

No caso em que se encontrem num ambiente que compreenda diversas classes de exposição, em teoria necessitará tantos tipos de betão quantas as classes. Na realidade isto não pode ser feito por conseguinte, quando se encontram condições deste género, se confeciona o betão com as prescrições ditadas pela classe de exposição pior.

A tabela 3 resume as diretivas para a confeção do betão consoante a classe de exposição, segundo a norma NP EN 206-1.

Tabella 3

Diretivas para a confeção do betão segundo a norma NP EN 206-1

Classe	Subclasse	Max. a/c	Min. Rck (Mpa)	Min conteúdo de cimento (kg/m ³)	Espessura de recobrimento de ferro	
					c.a.(mm)	c.a.p.(mm)
X0	-	Nenhum limite	Nenhum limite	Nenhum limite	15	20
XC	XC1	0,65	25	300	15	25
	XC2	0,60	30	300	25	35
	XC3	0,55	37	320	25	35
	XC4	0,50	37	340	30	40
XD	XD1	0,55	37	320	45	55
	XD2	0,55	37	340	45	55
	XD3	0,45	45	360	45	55
XS	XS1	0,50	37	340	45	55
	XS2	0,45	45	360	45	55
	XS3	0,45	45	360	45	55
XF	XF1	0,55	37	320	30	40
	XF2	0,55	30	340	45	55
	XF3	0,50	37	340	30	40
	XF4	0,45	30	360	45	55
XA	XA1	0,55	37	320	25	35
	XA2	0,50	37	340	25	35
	XA3	0,45	45	360	25	35

A espessura do recobrimento de ferro conforme prescrito no EUROCODICE 2.

Mapei S.p.A.

Via Cafiero, 22 - 20158 Milão - Itália

Tel. +39-02-37673.1 - Fax +39-02-37673.214

www.mapei.com - mapei@mapei.it

Lusomapei S.A.

Business Parque Tejo XXI

Estrada Nacional 1 - Km 19,65, Gelfas

2600-659 Castanheira do Ribatejo

Tel: +351 263 860 360 - Fax: +351 263 860 369

www.mapei.pt - E-mail: geral@mapei.pt