

DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE BETÃO NAS EN 206 E EN 1992-1-1 UMA PERSPETIVA PARA 2020



Arlindo Gonçalves*

Investigador
LNEC
Lisboa
arlindo@lnec.pt

Pedro Pontífice

Investigador
LNEC
Lisboa
pedropontifice@lnec.pt

José M. Catarino

Investigador
LNEC
Lisboa
jmcatarino@lnec.pt

SUMÁRIO

As prescrições clássicas relativas à durabilidade das estruturas de betão encontram-se atualmente distribuídas pelas normas europeias EN 206 e EN 1992-1-1. Vem-se assistindo a uma pressão crescente para substituir estas prescrições baseadas na composição do betão por outras centradas no seu desempenho. Por outro lado, a durabilidade é sem dúvida uma parte do projeto de estruturas, sendo previsível que as correspondentes disposições venham a ser centradas no eurocódigo relevante, assumindo a EN 206 o estatuto principal de norma de produto. Neste artigo faz-se uma análise da situação atual e apresenta-se uma perspetiva da evolução da normalização no domínio da durabilidade das estruturas de betão, tendo como referência o documento elaborado por um grupo de trabalho conjunto dos dois comités do CEN que tratam do betão e dos eurocódigos estruturais.

Palavras-chave: Betão, Durabilidade, Eurocódigo, Composição, Desempenho.

1. INTRODUÇÃO

Na degradação das estruturas de betão assume particular relevância a corrosão das armaduras, as reações expansivas de origem interna, o ataque químico por contacto com ambientes agressivos e, nos países de clima frio, a exposição aos ciclos de gelo/degelo. As

ações de desgaste, nomeadamente por abrasão, poderão ser condicionantes, mas apenas em situações bem específicas.

As disposições normativas europeias que visam garantir às estruturas de betão, ou mais simplificada ao betão, uma determinada vida útil nos ambientes em que as ações agressivas ocorrem, são expressas em termos de exigências de composição e, quando está em causa a corrosão das armaduras, fixando adicionalmente recobrimentos mínimos.

No caso do gelo/degelo, encontram-se há anos estabelecidas metodologias de ensaio, alternativas às exigências de composição, que permitem avaliar a capacidade de determinado betão ter comportamento satisfatório relativamente a este ataque. Por outro lado, para obras de maior relevância, vêm já sendo usados modelos de previsão da vida útil baseados no desempenho, quando está em causa a corrosão das armaduras, procedimento que no nosso país se encontra formalmente estabelecido na especificação LNEC E 465 [1]. Acresce ainda que a pressão para utilização de novos cimentos, de resíduos da indústria ou de materiais reciclados obriga ao recurso a abordagens desta natureza, em que o betão é avaliado pelas suas propriedades, já que a experiência que permitiu estabelecer as especificações de composição não existe para estes novos materiais.

Nesse sentido, o CEN/TC 104 tem vindo a permitir a aplicação desta abordagem alternativa baseada no desempenho, embora a EN 206 [2] atribua a cada país a competência para definir em concreto as respectivas regras de aplicação. Neste domínio refira-se a publicação CEN/TR 16563 [3] contendo os princípios orientadores para aplicação do conceito de durabilidade equivalente dos betões. Entre nós, esta nova abordagem encontra-se implementada através da especificação LNEC E 465, como atrás referido, e da especificação LNEC E 464 [4], estabelecendo-se nesta os princípios do desempenho equivalente, o qual permite a utilização de composições de betão que não cumpram o estabelecido nos seus quadros 6 e 7.

A durabilidade deve assumir um estatuto semelhante ao da estabilidade, sendo assim uma parte do projecto estrutural. Prevendo-se para 2020 a publicação de novas versões dos Eurocódigos, nomeadamente do Eurocódigo 2 – Parte 1-1 [5], pretende-se que este documento venha a incluir algumas disposições que agora se encontram na EN 206, passando esta norma a ser apenas uma norma de produto. Em simultâneo, aproveitar-se-á a oportunidade para dar um novo passo para tornar a metodologia baseada no desempenho uma ferramenta que poderá ser usada em paralelo com a metodologia prescritiva da composição, em particular no caso da degradação do betão por corrosão das armaduras, contribuindo assim para a harmonização das disposições normativas e para facilitar as trocas comerciais no espaço europeu.

2. ABORDAGEM ATUAL DA DURABILIDADE DO BETÃO

2.1 Abordagem nas normas europeias

A durabilidade do betão encontra-se estabelecida nas normas europeias EN 206 e EN 1992-1-1 (Eurocódigo 2).

Centrando-nos na EN 206, a norma começa por definir as classes de exposição ambiental, com exemplos informativos, agrupando-as em quatro grandes conjuntos: dois relativos à corrosão das armaduras (carbonatação e cloretos), outro referente à acção dos ciclos de gelo/degelo e, o quarto, respeitante ao ataque químico. No quadro F são depois estabelecidas, a título informativo, as exigências de composição que garantem ao betão uma vida útil de 50 anos, quando exposto àqueles ambientes.

O Eurocódigo 2 repete esta informação e recomenda ainda os recobrimentos, agrupados nas designadas classes estruturais, a usar em cada ambiente relativo à corrosão das armaduras. Estabelece também as regras que permitem, para estes ambientes, alargar a vida útil do betão de 50 para 100 anos, através do aumento do recobrimento, bem como as condições para a redução deste parâmetro, mediante a utilização de um betão com classe de resistência superior.

Relativamente a abordagens alternativas à consubstanciada no citado quadro F, a norma EN 206, como referido, permite o recurso a métodos baseados no desempenho, mas não estabelece as regras para a sua aplicação.

2.2 Abordagem no nosso país

Entre nós, a NP EN 206-1 [6], que será brevemente substituída pela NP EN 206, através do seu anexo nacional, que reporta para a especificação LNEC E 464, complementa as classes de exposição ambiental relacionadas com a corrosão das armaduras com informação adicional, ao mesmo tempo que concretiza e simplifica as classes referentes aos ciclos de gelo/degelo para ter em conta as especificidades do nosso clima.

Na especificação LNEC E 464 encontram-se ainda os princípios gerais para a garantia da vida útil das estruturas de betão. Assim, pode seguir-se a designada abordagem prescritiva, apresentando nos quadros 6 a 9 as exigências de composição e, quando aplicável, o respectivo recobrimento para as diferentes classes de exposição ambiental. Note-se que naqueles quadros se assumiu que a classe de resistência à compressão seria o parâmetro controlador da composição, face à facilidade com que pode ser determinada. No anexo nacional da NP EN 1992-1-1 [7] foram, em geral, tidas em conta as exigências prescritivas desta especificação.

Nos casos em que se pretender não respeitar as exigências de composição indicadas na especificação LNEC E 464, pode recorrer-se ao conceito de desempenho equivalente, conforme estabelecido na sua secção 8; quando se pretender usar outros recobrimentos ou considerar tempos de vida útil diferentes de 50 ou 100 anos, é possível recorrer a uma

abordagem baseada no desempenho, de acordo com a metodologia constante da especificação LNEC E 465.

Pode-se assim considerar que, no nosso país, o quadro normativo permite e define alternativas para a garantia da vida útil do betão, embora se reconheça que a metodologia prescritiva baseada na composição é de longe a mais utilizada. O conceito de desempenho equivalente não terá sido sequer aplicado.

2.3 O quadro F nos países europeus

Durante a vigência da EN 206-1, substituída no final de 2013 pela EN 206, foi efetuado um levantamento das disposições de cada país em relação à aplicação das diferentes secções da norma [8]. No que respeita à durabilidade, nas figuras 1 e 2 pode observar-se uma significativa variedade de exigências, situação que se estende também aos cimentos que se podem usar nos diferentes ambientes. Em dois países (PT e UK) as exigências dependem do tipo de cimento, pelo que a referência a estes países surge em duplicado.

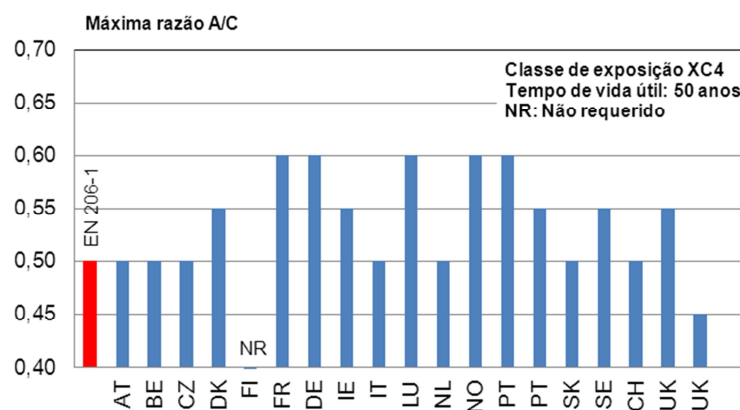


Figura 1. Máxima razão A/C permitida para a classe XC4 nos diversos países [8].

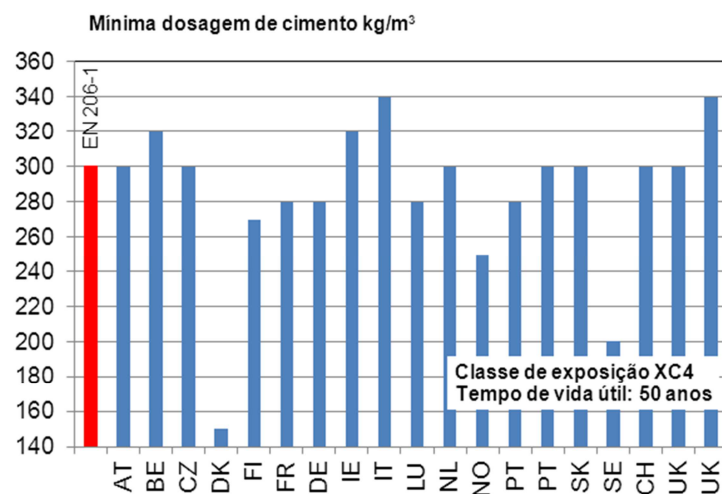


Figura 2. Mínima dosagem de cimento exigida para a classe XC4 nos diversos países [8].

No sentido de caminhar para uma crescente uniformização da normalização europeia, ao mesmo tempo que se dá maior liberdade aos produtores de betão para desenvolverem as suas formulações e, em última instância, se criam as bases para a utilização de novos materiais, está em curso um processo envolvendo o CEN/TC 104 e o CEN/TC 250, apoiado num grupo de especialistas, o qual irá preparar uma proposta alternativa ao atual quadro F, que contemplará a utilização das duas metodologias, uma prescritiva e outra baseada no desempenho, permitindo ainda variar as exigências em função do recobrimento.

3. A ABORDAGEM PREVISTA PARA 2020

3.1 Bases técnicas da proposta

De acordo com a norma ISO 16204 [9] e o *fib* Model Code 2010 [10], no projecto de durabilidade para a garantia do tempo de vida das estruturas de betão podem seguir-se quatro métodos ou formatos:

- Totalmente probabilístico (*full probabilistic method*)
- Fator parcial (*partial factor method*)
- Prescritivo da composição (*deemed-to-satisfy method*)
- Evitar a degradação (*avoidance-of-deterioration method*).

No primeiro método, o tempo para atingir um certo estado limite com determinada fiabilidade é calculado com base em dados estatísticos da acção ambiental e da resistência da estrutura. O segundo e o terceiro métodos correspondem ao que temos em vigor nas especificações LNEC E 465 e LNEC E 464, respetivamente, e ambos necessitam de ser calibrados através dos métodos probabilísticos ou da experiência de utilização. Finalmente, no quarto método, o contacto com o ambiente agressivo é evitado ou a reacção impedida através, por exemplo, de técnicas electroquímicas. A abordagem prevista para 2020 propõe a utilização do método totalmente probabilístico.

Face à diferença nas exigências prescritivas dos diversos países, como evidenciado nas figuras 1 e 2, poderá admitir-se que existirão diferentes entendimentos do que é o final do tempo de vida ou diferentes índices de fiabilidade para os correspondentes estados limite [11].

Na figura 3 mostram-se os vários estados limite que podem ser considerados em relação à corrosão das armaduras e os níveis de fiabilidade associados, expressos em probabilidades. Entre nós, na especificação LNEC E 465, o estado limite é o correspondente à formação de fissuras, enquanto na abordagem prevista para 2020 se escolheu como estado limite a despassivação das armaduras. Esta escolha introduz à partida uma dificuldade, pois em certos ambientes o período de propagação da corrosão até haver fissuração pode ser longo.

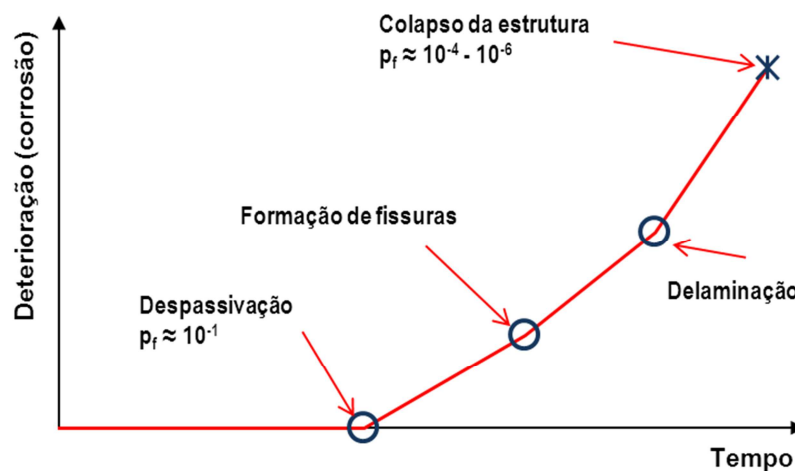


Figura 3. Estados limite e níveis de fiabilidade relativos à corrosão das armaduras [11].

Relativamente ao índice de fiabilidade β ,

$$\beta = \frac{R_{m\acute{e}dia} - S_{m\acute{e}dia}}{\sqrt{\text{var } R + \text{var } S}} \quad (1)$$

este expressa a probabilidade de falha, ou seja a probabilidade da resistência da estrutura (R) ser inferior à acção (S), como se exemplifica na figura 4, em que $Z = R - S$ e o desvio padrão de Z é igual à raiz quadrada da soma das variâncias de R e S . A acção S pode ser associada à frente de carbonatação e a resistência R ao recobrimento, expressando o índice de fiabilidade a probabilidade da carbonatação atingir as armaduras. O índice terá um valor negativo se essa probabilidade ultrapassar 50%.

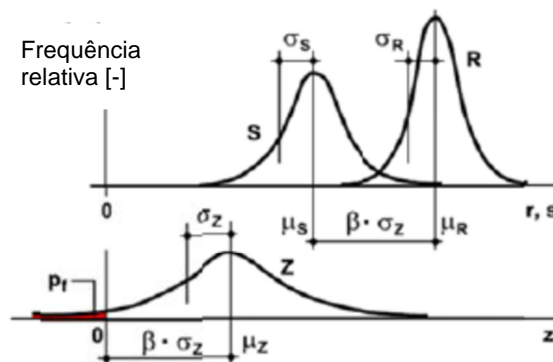


Figura 4. Comparação das variáveis ação e resistência [12].

A especificação LNEC E 465 atribui às três classes de fiabilidade (RC) os índices de fiabilidade indicados no quadro 1, para o estado limite de início de fissuração. Na proposta para 2020, assumiu-se 1,5 como valor alvo para o índice de fiabilidade.

Quadro 1. Índices mínimos de fiabilidade previstos na E 465.

Classe de fiabilidade	RC3	RC2	RC1
B	2,0	1,5	1,2
Probabilidade	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$6,7 \cdot 10^{-2}$	$12 \cdot 10^{-2}$

Na generalidade das situações, e em particular para a degradação do betão por corrosão das armaduras, o índice de fiabilidade diminui ao longo do tempo, sendo o valor proposto de 1,5 referente ao final da vida útil de 50 anos.

3.2 Avaliação da situação existente

O grupo de especialistas envolvidos no estudo começou por avaliar a situação existente nos diversos países, tendo depois desenvolvido as propostas com base em modelos de previsão e em valores de desempenho de diversas composições.

Na figura 5 pode observar-se, como seria de esperar, que os índices de fiabilidade, ao fim de 50 anos, para as classes de exposição relativas à corrosão de armaduras pelos cloretos da água do mar são extremamente variáveis e, nalguns casos, negativos, em particular quando se usam cimentos CEM I ou CEM II/A-L [13].

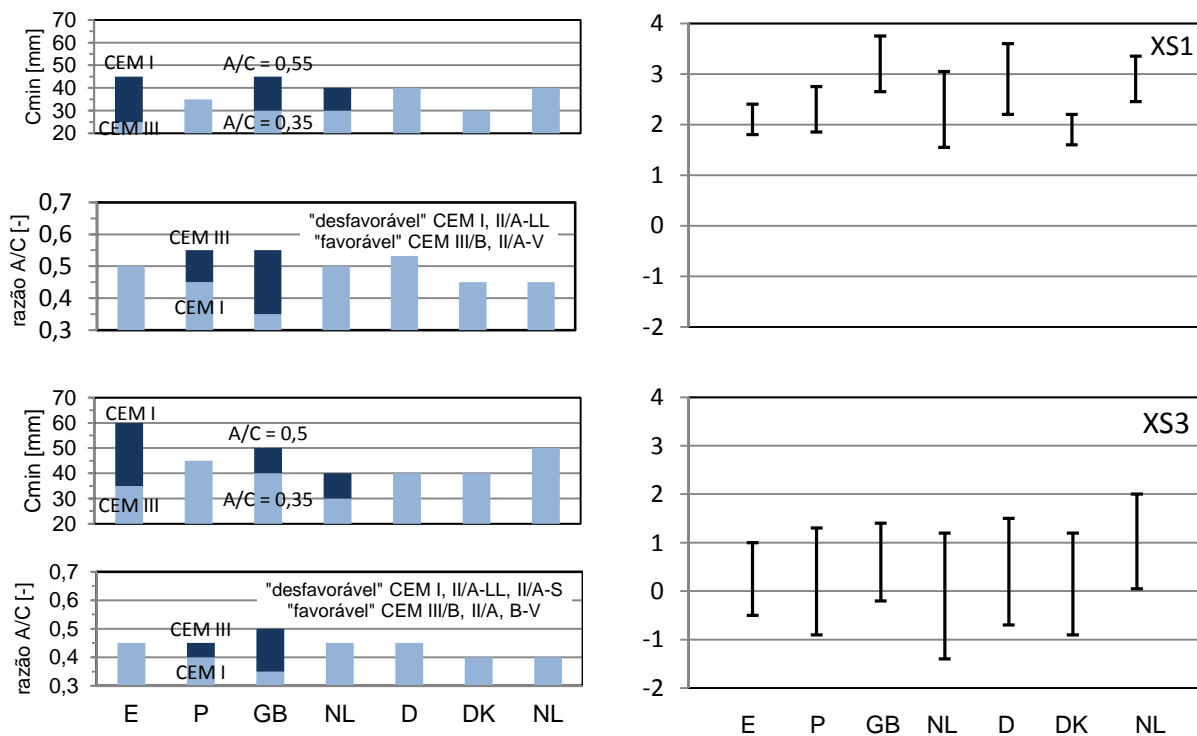


Figura 5. Índices de fiabilidade relativos à metodologia prescritiva de diversos países para as classes de exposição XS1 e XS3, associadas à corrosão das armaduras pelos cloretos da água do mar [13].

A constatação destas diferenças, que se estendem também à carbonatação, esteve na base da proposta para 2020, a qual se espera venha a facilitar a circulação do betão ou dos produtos de betão nas zonas de fronteira entre países.

3.3 Calibração da proposta - carbonatação

A proposta em desenvolvimento pretende abranger a corrosão das armaduras e o ataque por ação dos ciclos de gelo/degelo. Por simplicidade, desenvolve-se aqui apenas a corrosão das armaduras devida à carbonatação.

O modelo usado para estimar a profundidade de carbonatação indica-se na equação seguinte [11],

$$X_c(t) = \sqrt{2 \cdot k_e \cdot k_c \cdot R_{NAC,0}^{-1} \cdot C_s \cdot \sqrt{t} \cdot W(t)} \quad (2)$$

onde:

- $X_c(t)$: profundidade de carbonatação [mm]
- K_e : efeito da humidade [-] dependente da humidade relativa HR_{real} [%]
- K_c : parâmetro que tem em conta o efeito da cura [-]
- $R_{NAC,0}^{-1}$: Inverso da resistência à carbonatação [(mm²/a)/(kg/m³)]
- C_s : concentração de CO₂ do ar ambiente [kg/m³]
- $W(t)$: função que tem em conta o efeito das condições meso-climáticas [-]

Para os diferentes parâmetros da equação (2) foram definidas as respectivas distribuições e os correspondentes valores, tendo-se escolhido a classe XC3 para uma avaliação preliminar, por apresentar boas condições para o desenvolvimento da carbonatação, ser bem representada pelo modelo e pelo ensaio em laboratório, para além de existirem dados em condições reais de exposição.

Consideraram-se várias composições de betão em que se variou a tipo de cimento e a razão A/C, de modo a cobrir a gama de resistências à carbonatação correspondente aos betões usualmente aplicados nos diversos países. Antes, e com base numa avaliação preliminar de algumas composições, definiram-se três classes de resistência à carbonatação:

- RC20 – elevada,
- RC30 – média,
- RC40 – baixa,

sendo o número representativo de cada classe a profundidade de carbonatação, ao fim de 50 anos, na classe de exposição XC3 ($HR=65\%$; $CO_2=0,040\% \pm 0,005\%$; $T=20^\circ C \pm 2^\circ C$). Limitou-se a 10% a probabilidade desta profundidade de carbonatação ser excedida.

Na figura 6 mostra-se a profundidade de carbonatação (percentil de 90%) atingida pelas diversas composições consideradas ao fim de 50 anos, na classe de exposição XC3, tendo

como referência os limites das três classes de resistência à carbonatação. Como se pode constatar, quatro composições apresentam resistência elevada, sete exibem resistência média e três evidenciam resistência baixa. Existem ainda quatro composições com carbonatação superior ao limite da classe menos resistente.

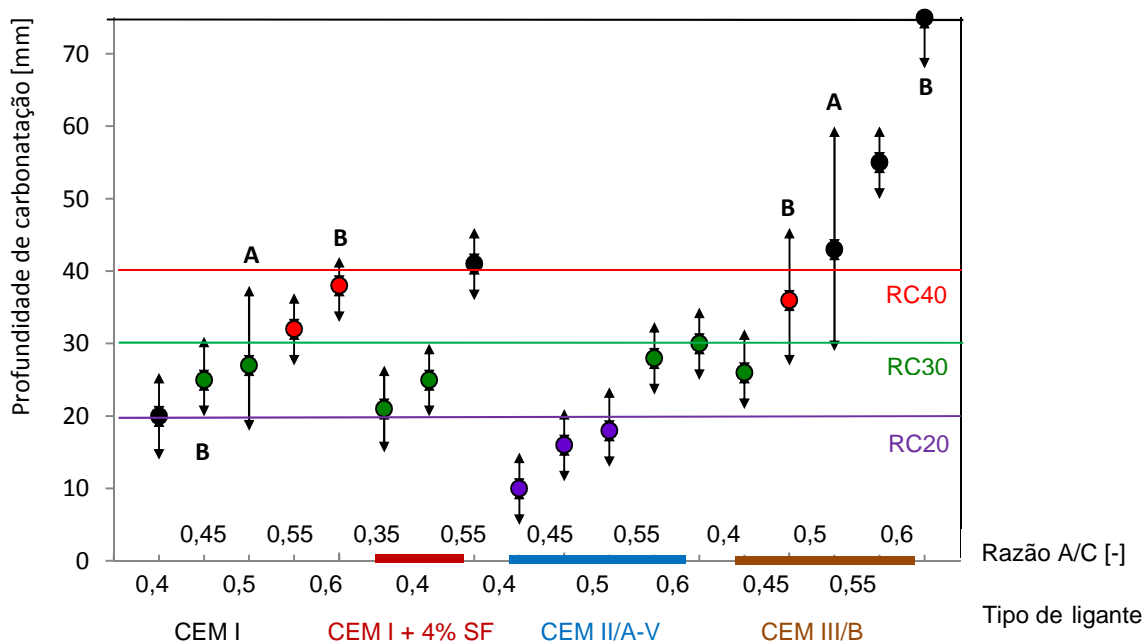


Figura 6. Profundidade de carbonatação aos 50 anos (percentil de 90%) de diferentes composições na classe de exposição XC3 [13].

É possível calcular, para as composições abrangidas pelas três classes de resistência à carbonatação, o respectivo índice de fiabilidade ao fim de 50 anos, quando expostas aos ambientes XC2, XC3 e XC4, considerando um recobrimento mínimo de 25 mm. De acordo com a figura 7, para a exposição XC3 ($c_{min}=25$ mm) as composições pertencentes à classe RC30 (média) conduzem a índices de fiabilidade entre 1 e 2, aproximadamente, o mesmo se verificando para a classe RC40 na exposição XC2, parecendo assim equilibrada a definição das classes de resistência à carbonatação.

Fixando em cerca de 1,5 o valor do índice de fiabilidade aos 50 anos, pode estimar-se qual o recobrimento mínimo necessário para as composições das três classes de carbonatação, quando expostas aos diferentes ambientes de exposição considerados (figura 8).

Como se observa, na exposição XC3, se fosse usado um betão da classe RC20, bastaria um recobrimento de 20 mm para garantir a fiabilidade requerida, enquanto um betão da classe RC40 obrigaria a aumentar o recobrimento para cerca de 40 mm, para manter o índice de fiabilidade.

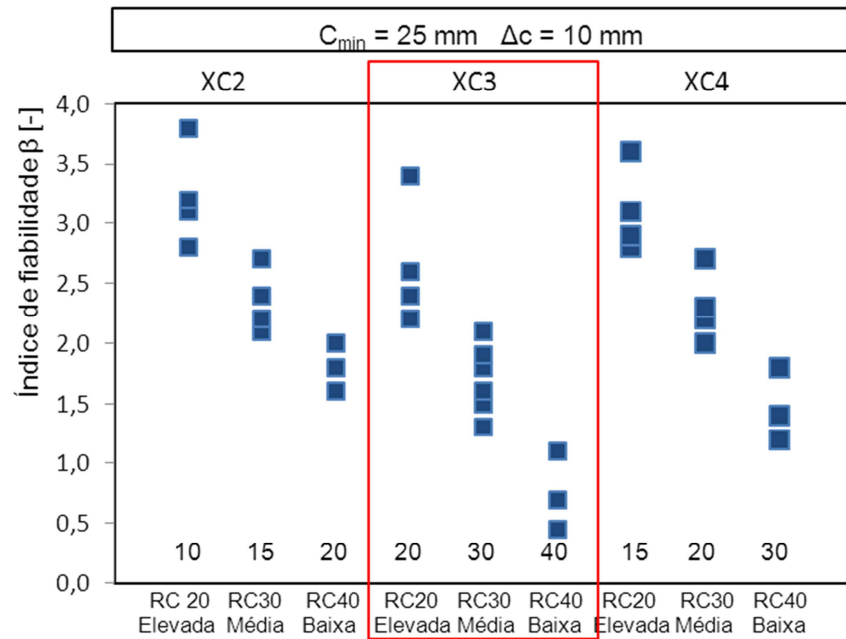


Figura 7. Índices de fiabilidade aos 50 anos relativos às diferentes classes de carbonatação, assumindo um recobrimento mínimo de 25 mm nos três ambientes de exposição [13].

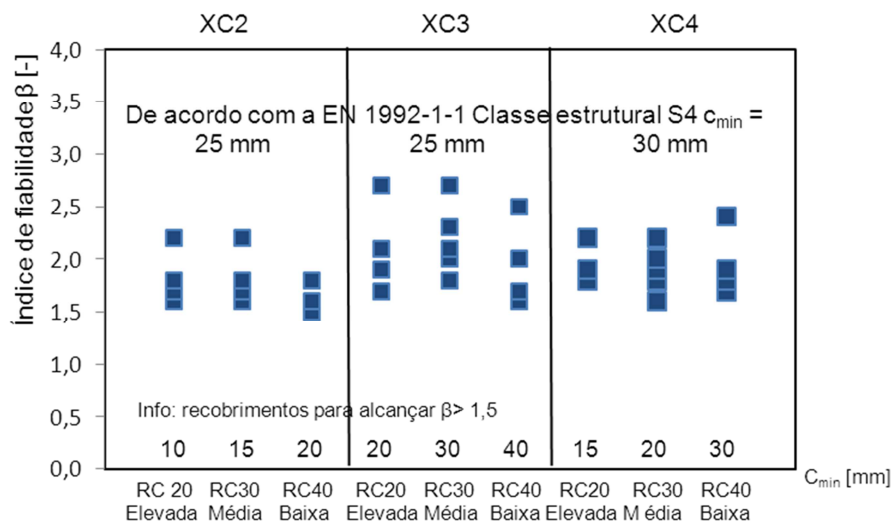


Figura 8. Índice de fiabilidade aos 50 anos relativos às diferentes classes de carbonatação em função do recobrimento para os três ambientes de exposição [13].

3.4 Novos quadros para a durabilidade

Tendo em vista associar as classes de resistência à carbonatação à composição do betão, de modo a manter operativa a designada abordagem prescritiva, foi realizado um estudo envolvendo diversas estruturas, com diferentes idades, nas quais foram usados betões em que se variou o tipo de cimento e a razão A/C.

Esse estudo permitiu concluir que a profundidade de carbonatação aumenta com a razão A/C e com a diminuição do teor de clínquer do cimento, verificando-se ainda que a dispersão dos valores aumenta para profundidades de carbonatação maiores. As medições in situ, conjugadas com valores estimados a partir de ensaios em laboratório, permitiram construir o quadro 2, onde se apresenta a proposta preliminar, de equivalência entre composição e classes de resistência relativas à durabilidade, para o futuro quadro F.

Quadro 2. Proposta preliminar de equivalência entre as exigências prescritivas e de desempenho para o betão exposto aos ambientes XC e XS [13].

Valores preliminares	Classe de resistência à carbonatação RC				Classe de resistência aos cloretos RSD		
	RC20	RC30	RC40	RCX0 ¹	RSD45	RSD60	RSD75
Definição de classe, profundidade da frente após 50 anos (mm)	20	30	40	-	45	60	75
Norma de ensaio	EN xxx	EN xxx	EN xxx	EN xxx	EN yyy	EN yyy	EN yyy
Metodologia prescritiva da composição	Máxima razão A/L L é a soma do cimento e adições no betão, dentro dos limites definidos para os cimentos definidos na EN 197-1						
CEM I	0,55	0,60	0,65	0,90	NA	NA	0,45
CEM II-A	0,45	0,55	0,65	0,90	0,40	0,50	0,60
CEM II-B	0,40	0,50	0,60	0,75	0,40	0,50	0,60
CEM III-A	NA	0,45	0,55	0,75	?	?	?
CEM III-B	NA	NA	0,45	0,65	0,38	0,45	0,55
Dosagem mínima de ligante (kg/m ³)	280	280	280	240	280	280	280
¹ A classe RCX0 só deve ser usada na exposição X0							

Neste quadro, as classes de resistência aos cloretos são identificadas por RSD, designando o número de cada classe a profundidade máxima (percentil de 90%) em que o teor de cloretos pode atingir 0,5% da massa do cimento, na classe XSD2 e ao fim de 50 anos.

Para estabelecer os recobrimentos, entre outras ações, atribuíram-se às diferentes classes de exposição valores para a humidade relativa e para os períodos de molhagem, tendo-se também avaliado a dispersão dos recobrimentos in situ, com estabelecimento de um desvio padrão de 9mm. Uma vez que o estado limite é o início da corrosão, para ter em conta a velocidade de corrosão nos vários ambientes, ajustaram-se os índices de fiabilidade, o que, de forma indireta, permitiu considerar o período de propagação e não alterar a hierarquia atualmente existente para a agressividade das classes de exposição (quadro 3).

Quadro 3. Índices de fiabilidade relativos às classes de exposição XC [13].

	XC1		XC2	XC3	XC4
Definição EN 1992	Seco	Sempre húmido	Húmido, raramente seco	Humidade moderada	Ciclos molhagem secagem
Veloc. carbonatação	Moderada	Baixa	Baixa	Rápida	Moderada
Velocidade corrosão	Baixa	Desprezável	Elevada	Baixa	Elevada
Índice de fiabilidade, β	--	--	$\beta = 1,5$	$0,5 \leq \beta \leq 1,5$	$\beta = 1,5$

Usando o modelo da equação (2) e tendo em conta os índices de fiabilidade do quadro 3, foi possível construir o quadro 4 onde se indicam os recobrimentos e as classes de resistência relativas à durabilidade para uma vida útil de 50 e de 100 anos e, para os betões de melhor qualidade, para uma vida útil de 200 anos.

Quadro 4. Valores preliminares do recobrimento para uma vida útil de 50, 100 e 200 anos, em função das classes de exposição e de resistência relativas à durabilidade [13].

		Recobrimento mínimo para 50, 100 e 200 anos de tempo de vida útil (valores recomendados preliminares)						
Classe de exposição		RC20 (RCH) ² RSD45 (RSDH)			RC30 (RCM) ² RSD60 (RSDM)		RC40 (RCL) ² RSD75 (RSDL)	
		50	100	200	50	100	50	100
	(S4) ³	50	100	200	50	100	50	100
X0¹	(10)	$C_{min,b}$	$C_{min,b}$	$C_{min,b}$	$C_{min,b}$	$C_{min,b}$	$C_{min,b}$	$C_{min,b}$
XC1	(15)	10	15	20	10	20	10	20
XC2,	(25)	15	20	30	20	30	25	35
XC3	(25)	15	20	30	20	30	25	35
XC4	(30)	15	20	30	20	30	25	35
XD1,	(35)	15	20	30	20	30	25	35
XS1	(35)	15	20	30	20	30	25	35
XD2,	(40)	45	55	65	55	70	70	NA
XS2	(40)	45	55	65	55	70	70	NA
XD3	(45)	55	65	75	70	NA	80	NA
XS3	(45)	55	65	75	70	NA	80	NA

¹ Na classe de exposição X0, o betão da classe de resistência à carbonatação RCX0 pode ser usado com o recobrimento mínimo para os requisitos de aderência, $C_{min,b}$

² Na face tracionada das vigas, o recobrimento deve ser aumentado de 5mm para os betões RC20 e de 10mm para os RC30 e RC40, nas classes de exposição XC2, XC3, XC4, XS1 e XD1

³ Valores do recobrimento mínimo da classe estrutural S4 (EN1992-1-1)

Comparando os quadros 2 e 4 com os quadros 6 e 7 da especificação LNEC E 464, verifica-se que os requisitos desta especificação são em geral mais exigentes que os da abordagem prevista para 2020 no que se refere à corrosão das armaduras por carbonatação. Relativamente aos cloretos verifica-se uma situação semelhante no que se refere à classe XS1, mas a situação inverte-se para as duas outras classes, em particular para a classe XS3, relativamente à qual a abordagem prevista para 2020 propõe um recobrimento mínimo de 55 mm, enquanto a especificação LNEC E 464 estabelece o valor de 45 mm.

Note-se que a dosagem mínima de cimento estabelecida no quadro 2 tem um carácter indicativo, uma vez que os estudos foram conduzidos com base na razão A/C.

3.5 Controlo da produção

O projetista especificará uma determinada classe de resistência à carbonatação, podendo o produtor de betão optar por seguir a abordagem prescritiva ou a baseada no desempenho. Neste caso terá de caracterizar o seu betão através de um método de ensaio, em que se prevê utilizar uma concentração de CO₂ de 0.04%, uma humidade relativa de 65% e temperatura de 20°C, sendo a sua duração de 140 dias a um ano. No ensaio determina-se a velocidade de carbonatação do betão, K_{NAC} , expressa em mm.a^{0.5}.

Uma vez que à profundidade média de carbonatação de 20mm corresponde um percentil de 90% de cerca de 13 mm, e considerando que a equação (2) pode ser escrita

$$X_c(t) = K_{NAC} \sqrt{t} \quad (3)$$

no quadro 5 mostram-se as velocidades de carbonatação correspondentes às três classes de carbonatação e os correspondentes desvio padrão. Assim, para a classe RC30, a velocidade de carbonatação ($K_{NAC,\mu}$) deverá situar-se entre 1,9 e 3,1 mm.a^{0.5}.

Quadro 5. Velocidades de carbonatação e respetivo desvio padrão para as diferentes classes de resistência à carbonatação do betão [13].

Classe	RC20	RC30	RC40
$K_{NAC,\mu}$ [mm/a ^{0.5}]	≤ 1,9	≤ 3,1	≤ 4,3
$K_{NAC,\sigma}$ [mm/a ^{0.5}]	≤ 0,7	≤ 0,9	≤ 1,1

A metodologia experimental a seguir para os estudos relativos à carbonatação apresenta propostas para ensaiar um conjunto de constituintes, onde se recomenda o ensaio de pelo menos cinco composições, ou o ensaio de um só betão, devendo neste caso realizar-se pelo menos três amassaduras desse betão. Em qualquer das situações, deverão ser moldados dois prismas, sendo a média destes dois provetes o resultado do ensaio.

No caso de se ensaiar um só betão, o desvio padrão calcula-se a partir dos três resultados de cada uma das três amassaduras, mas se for ensaiado um conjunto de constituintes, de onde se poderá estimar as composições que permitirão garantir diferentes classes de

resistência à carbonatação, não é claro que o desempenho dessas composições tenha de ser depois individualmente confirmado. Existem também dúvidas sobre se os valores médios do quadro 4 são máximos absolutos ou se poderá existir uma margem para ter em conta a dispersão, em particular quando estiver em causa a verificação periódica do desempenho das composições.

Presume-se que o controlo corrente da produção será baseado na resistência à compressão, faltando esclarecer as circunstâncias em que a verificação atrás referida deve ser realizada, quer numa base de rotina, quer por ocorrência de situações particulares, como por exemplo a obtenção de valores baixos da tensão de rotura ou a alteração das características de um constituinte. Se ocorrer um período em que não seja possível garantir determinada classe de resistência relativa à durabilidade, o produtor poderá temporariamente recorrer à metodologia prescritiva baseada na composição, mas importa definir a interação que, nessas circunstâncias, deverá ser estabelecida com o utilizador.

3.6 Aspetos a considerar

Uma das questões que se coloca relativamente à proposta para 2020 prende-se com o facto de ignorar o período de propagação da corrosão que, no caso das classes XC3 e XS2 assume particular importância. A ignorância deste período torna aquelas classes mais agressivas que as classes XC4 e XS3, respectivamente, o que não corresponde à realidade. A consideração de níveis de fiabilidade diferentes não terá sido suficiente para colocar a classe de exposição XC4 num patamar superior de agressividade, comparativamente à classe XC3.

Acresce ainda que alguns valores atribuídos aos parâmetros da equação (1) não serão representativos das condições existentes nos países do sul da Europa, sendo assim expectável a existência de diferenças na escolha da classe de durabilidade ou do recobrimento para determinado ambiente. Por outro lado, as classes de resistência relativas à durabilidade encontram-se apenas equiparadas a exigências de composição para certos tipos de cimento, pelo que a extensão desta equivalência a outros cimentos ou a misturas de cimentos e adições terá de ser precedida de estudos, os quais obrigarão à determinação do designado fator idade, no caso da penetração de cloretos [13]. Este fator destina-se a ter em conta a alveolação da estrutura porosa do betão com a idade, devido à continuada hidratação do cimento e à interação com o meio ambiente.

Como os ensaios de caracterização do betão para o classificar em determinada classe poderão ser demorados, importa criar mecanismos que defendam o utilizador e que lhe dêem garantias acrescidas de conformidade do betão, admitindo-se que a abordagem prevista para 2020 requeira a certificação do betão ou, pelo menos, do controlo da produção.

4. CONCLUSÕES

A durabilidade é parte integrante do projecto estrutural, facto que será formalmente assumido na nova geração de Eurocódigos, que se prevê venha a ser implementada por volta de 2020.

No caso particular do betão, parte do articulado da actual EN 206 relativo à durabilidade passará a constar apenas do Eurocódigo 2, pretendendo-se que este aspeto da vida útil das estruturas tenha um tratamento semelhante ao da estabilidade. A resistência do betão às ações ambientais será avaliada em termos de desempenho e expressa através de classes de resistência a essas ações, como no caso da compressão, com estabelecimento de estados limites de serviço e de uma abordagem probabilística para garantia dessa vida útil.

A análise da situação actual permitiu identificar diferentes níveis de fiabilidade na metodologia prescritiva implementada nos diversos países, pelo que a proposta preparada em conjunto pelo CEN/TC104 e CEN/TC250, com o apoio de um grupo de especialistas, visa também uniformizar esses índices, ao mesmo tempo que facilitará as trocas entre países, em particular nas zonas de fronteira.

Os novos quadros de exigências para a durabilidade, que continuarão a permitir a designada abordagem prescritiva da composição, foram construídos com base na experiência de alguns países, pelo que, sem prejuízo de virem a sofrer certos ajustes, será admissível que venham a existir na Europa diferenças relativamente aos requisitos para as várias classes de exposição ambiental. Porém, estando definidas e acordadas as metodologias de ensaio, a classificação do betão em termos de classes de resistência relativas à durabilidade passará a ser aceite por todos os países do espaço europeu.

A proposta que se apresentou em linhas gerais para a carbonatação foi também desenvolvida para os cloretos, havendo neste caso uma dificuldade acrescida pela circunstância da alteação da estrutura porosa do betão ao longo do tempo, traduzida pelo designado fator idade, ser extremamente condicionante.

REFERÊNCIAS

- [1] Especificação LNEC E 465 – 2007 – “*Betões. Metodologia para estimar as propriedades de desempenho do betão que permitem satisfazer a vida útil de projecto de estruturas de betão armado ou pré-esforçado sob as exposições ambientais XC e XS*”, Lisboa, LNEC, novembro de 2007, 24 p.
- [2] EN 206:2013, “*Concrete – Specification, performance, production and conformity*”, dezembro de 2013, 93 p.
- [4] Especificação LNEC E 464 – 2007 – “*Betões. Metodologias prescritiva para uma vida útil de projecto de 50 e de 100 anos face às ações ambientais*”, Lisboa, LNEC, novembro de 2007, 14 p.

- [5] EN 1992-1-1:2004, “Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings”, dezembro de 2004, 225 p.
- [6] NP EN 206-1:2007, “Betão. Parte 1 – Especificação, desempenho, produção e conformidade”, junho de 2007, 84 p.
- [7] NP EN 1992-1-1:2010, “Eurocódigo 2: Projecto de estruturas de betão. Parte 1-1: regras gerais e regras para edifícios”, março de 2010, 259 p.
- [8] CEN/TR 15868:2009 – “Survey of national requirements used in conjunction with EN 206-1:2000”, junho de 2009, 135 p.
- [9] ISO 16204:2012 (E) – “Durability life design of concrete structures”, setembro de 2012, 31 p.
- [10] fib – International Federation for Structural Concrete – “Model Code for Concrete Structures 2010”, outubro de 2013, 434 p.
- [11] Helland, S. – “Design for service life: implementation of fib Model Code 2010 rules in the operational code ISO 16204”. Structural Concrete, Nº 1, Vol. 14, março de 2013, p. 10-18.
- [12] fib Task Group 5.11 – “Benchmark for deemed-to-satisfy provisions in standards. Durability of Concrete Structures Exposed to Chlorides” (final draft), 2014, 191 p.
- [13] JWG TC104/SC1 - TC 250/SC2 N26 - “Exposure resistance classes – a new system to specify durability in EN 206 and EN 1992”, março 2014, 57 p.