



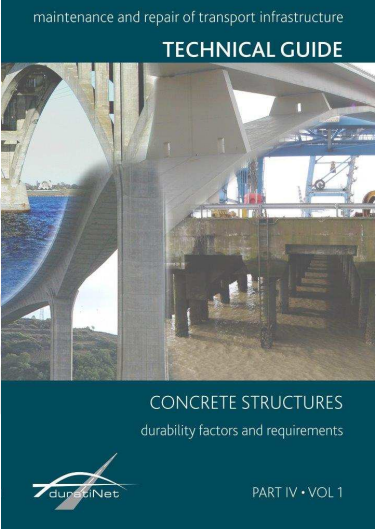
duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013


Guia Técnico DURATINET

PART IV – Estruturas de betão

Vol 1- Fatores e Requisitos Durabilidade

- Visão geral das normas europeias aplicáveis
- Normas nacionais e anexos nacionais em complemento da EN206-1
- Comparação entre requisitos nacionais complementares à EN206-1
- Exemplos de projetos com limites de desempenho para a durabilidade do betão



maintenence and repair of transport infrastructure
TECHNICAL GUIDE

CONCRETE STRUCTURES
durability factors and requirements

PART IV • VOL 1

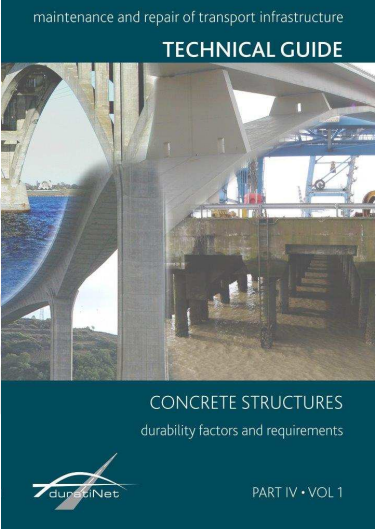



European Union
European Regional Development Fund

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013


Tópicos

- 1- Introdução
- 2- Metodologia para a durabilidade em estruturas de betão armado
 - 2.1 Visão geral das normas europeias aplicáveis
 - 2.2 Especificações nacionais complementares à NP EN206-1
- 3- Metodologia prescritiva
- 4- Modelos de desempenho
- 5- Comparação dos requisitos nacionais complementares à EN206-1 com os de outros países europeus
- 4- Exemplos de projetos de estruturas com limites de desempenho para a durabilidade do betão



maintenence and repair of transport infrastructure
TECHNICAL GUIDE

CONCRETE STRUCTURES
durability factors and requirements

PART IV • VOL 1




European Union
European Regional Development Fund

duratiNet SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Betão armado material estrutural de excelência do séc 20 e 21, mas! 1. Introdução

Pontes, viadutos, túneis, edifícios,.....
Corrosão/penetração de cloretos e carbonatação



ATLANTIC AREA
European Union
European Regional Development Fund

duratiNet SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Ponte-cais e plataformas portuárias 1. Introdução
Corrosão/penetração de cloretos



ATLANTIC AREA
European Union
European Regional Development Fund



SEMINÁRIO DURATINET

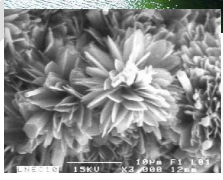
LISBOA, 26 novembro 2013



1. Introdução

Reações expansivas RAS , RS (Ext, Int -DEF)










SEMINÁRIO DURATINET

LISBOA, 26 novembro 2013



1. Introdução

A deterioração do betão pode resultar:

- ✓ **das condições ambientais a que o betão está exposto (CO₂, Cloretos, humidade, ..)**
- ✓ **de reações químicas expansivas internas (reações álcalis-agregado e reacções sulfáticas)**
- ✓ **de ações físicas que normalmente são tratadas no cálculo estrutural (p.e., ações térmicas, fluência, retração, desgaste e erosão)**
- ✓ **Outras ações específicas como seja ação biológica, penetração de água sob pressão, lixiviação e ações de ataque por produtos químicos diversos (ácidos, bases, orgânicos)**




duratiNet SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Principais fontes e causas da degradação em estruturas de betão armado

1. Introdução

Materiais	Projeto e execução	Ambiente exposição	Ações físicas	Manutenção
Composição do betão	Detalhes de projeto não ponderados	Atmosfera marítima e água do mar	Ações superiores ao projetado	Ausência manutenção
Caraterísticas dos agregados	Insuficiente recobrimento	Atmosfera rica CO2	Impacto	Mét. reparação inadequados
Razão a/c	Congestionamento armaduras	Ataque químico	Vibração	
Tipo cimento e adições	Fluência não prevista no projeto	Ação biológica e microbiológica	Assentamento	
Adjuvantes	Compactação e vibração inadequadas	Ações térmicas	Abrasão	
Contaminação constituintes	Cura	Fogo	Sísmicas	
	Segregação e exsudação		Alteração da utilização	
	Drenagem inadequada		Vento	
	Juntas de dilatação inadequadas			
	Acabamento superfície			

Transitional Programme

duratiNet SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Desempenho do betão armado

1. Introdução

AÇÃO

Desempenho

Curva desejável

Iniciação (Fase1)

Propagação (Fase2+3)

ELS - limite de vida em serviço

ELU - Fim de vida útil

Tempo

FASE 1

FASE 2

FASE 3

T_i

T_f

T_{vs}

Medidas preventivas

Reparações corretivas

Abandono ou demolição

ATLANTIC AREA
Transitional Programme

European Union
European Regional Development Fund

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013


2. Metodologia

NP EN 1990
Eurocódigo. Bases para o projeto de estruturas

Uma estrutura deve ser projetada e executada de tal forma que, durante a vida útil pretendida, com apropriados graus de fiabilidade e duma forma económica:

- *suporte todas as ações e influências que possam ocorrer durante a execução*
- e
- *permaneça apta ao uso para que é construída durante a vida útil de projeto*




duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013


2. Metodologia

Ainda de acordo com a NP EN 1990:2009:
Para que se possa atingir a fiabilidade (resistência estrutural e durabilidade) requerida para uma estrutura exige que se atenda a:

- escolha adequada do sistema estrutural, forma e detalhes do projeto da estrutura para adequada resistência, utilidade e durabilidade e que limite danos potenciais;
- adequada supervisão e controlo de qualidade adequados durante a execução da obra;
- utilização de materiais e produtos de construção de acordo com as especificações aplicáveis tendo em conta as ações ambientais e outras previstas;
- manutenção adequada definida no projeto;
- utilização em conformidade com as hipóteses do projeto.




duratiNet

SEMINÁRIO DURATINET
 LISBOA, 26 novembro 2013

2. Metodologia

NP EN 1990 : Valores indicativos do tempo vida útil de projeto

Vida útil pretendida		Exemplos
Categoria	t_g (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 (v.g., hospitais, escolas)
5	100	Edifícios monumentais, pontes e outras estruturas de engenharia civil (economicamente importantes)

European Union
 European Regional Development Fund

duratiNet

SEMINÁRIO DURATINET
 LISBOA, 26 novembro 2013

2. Metodologia

INTERVENIENTES NA DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS

Intervenientes / Garantia da DURABILIDADE	
Dono obra uso	Uso, vida útil, requisitos para projeto e obra, controlo qualidade, inspeção e ensaios
Projetista	Identificação condições ambientais; conceção estrutural, sistema e geometria elementos; materiais e recobrimentos, critérios de projeto (fendilhação condicionada tb pela durabilidade), medidas proteção adicional, requisitos manutenção
Empreiteiro	Execução satisfazendo requisitos do projeto, controlo de materiais, controlo colocação betão, controlo recobrimentos, cura
Utilizador	Avaliação do desempenho ao longo da vida em serviço através de planos de inspeção, manutenção com aplicação optimizada de medidas corretivas, não modificar a utilização

European Union
 European Regional Development Fund



duratiNet SEMINÁRIO DURATINET LISBOA, 26 novembro 2013

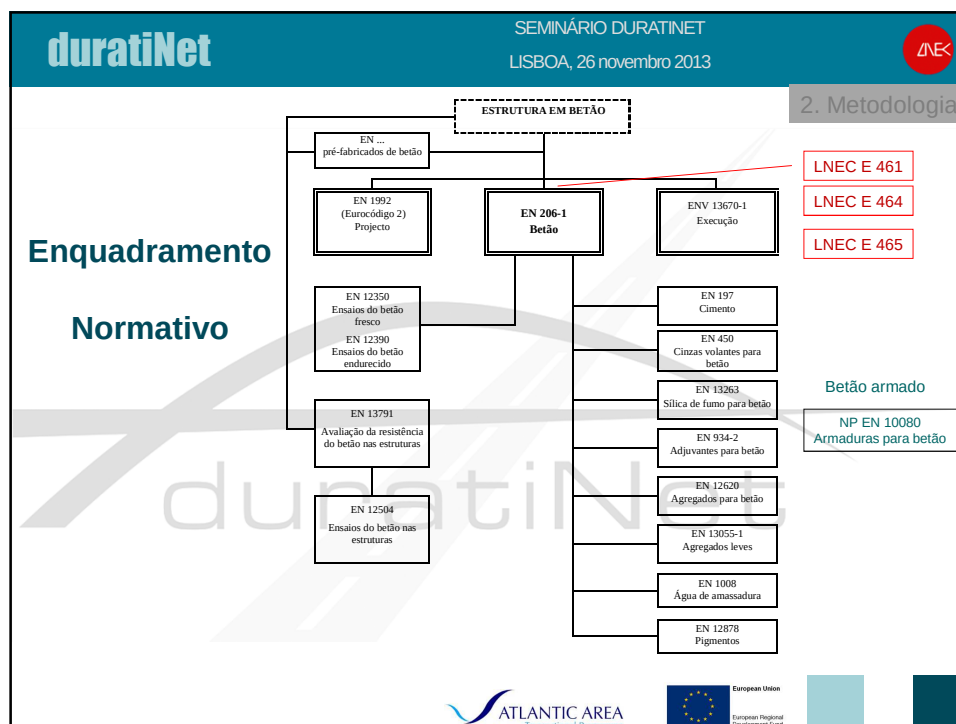
2. Metodologia

Metodologia mais simples do tratamento da durabilidade do betão na fase de projeto consiste em evitar as reações que induzem a sua deterioração :

- a) mudando o ambiente, v.g., com revestimentos por pintura, utilizando membranas
- b) escolhendo materiais especiais, como aço inox ou aço revestido, cimento resistente aos sulfatos, ar introduzido no caso do gelo/degelo;
- c) inibindo as reações de corrosão, v.g., com proteção catódica, o que pode exigir pormenorização específica para o efeito no projeto estrutural.

O Projeto da **Durabilidade** normalmente utiliza o betão como única barreira às ações de degradação. Sistemas multibarreira, juntando localmente alguma das intervenções a) a c), podem ser utilizados em condições de elevada corrosividade e longos tempos de vida

ATLANTIC AREA European Union European Regional Development Fund



duratiNet SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

2. Metodologia

As 3 normas fundamentais no projeto estruturas de betão estabelecem:

- ✓ NP EN 1992-1-1 -os princípios e regras de projeto de estruturas de betão e os requisitos para a durabilidade no que respeita a recobrimentos mínimos das armaduras
- ✓ NP EN 206-1 - os requisitos e especificações do betão moldado in situ e produtos de betão pré fabricados
- ✓ NP EN 13670 - os requisitos de execução de estruturas de betão projetadas de acordo com o eurocódigo NP EN 1992-1-1:2004.

+ 3 Espec. nacionais complementares à NP EN 206-1:

- LNEC E 461
- LNEC E 464
- LNEC E 465

ATLANTIC AREA Transnational Programme

European Union European Regional Development Fund



SEMINÁRIO DURATINET

LISBOA, 26 novembro 2013



2. Metodologia

NP EN 1992-1-1

- ✓ A proteção requerida para a estrutura deve ser estabelecida tendo em conta a utilização, a vida útil de projeto, plano de manutenção e as ações
- ✓ A influência de ações diretas e indiretas e das condições ambientais e efeitos consequentes devem ser considerados
- ✓ A proteção das armaduras depende da densidade, qualidade e espessura do recobrimento e da fissuração . A qualidade e densidade do recobrimento é determinada pela máxima razão a/ce mínimo teor de cimento e pode ser relacionada com a classe mínima de resistência do betão .
- ✓ requisitos adicionais devem ser considerados para estruturas especiais (de grande valor económico, ou sujeitas a ações não correntes e extremas






SEMINÁRIO DURATINET

LISBOA, 26 novembro 2013



2. Metodologia

NP EN 1992-1-1

As condições de exposição criam interações físicas e químicas com o betão que têm que ser consideradas para além das ações mecânicas:

- As condições ambientais são classificadas segundo a NP EN 206-1
- Em adição às condições ambientais, formas particulares de agressividade ou ações indirectas devem ser também consideradas incluindo por exemplo:
 - ataque de produtos químicos, ácidos ou sais
 - cloretos existentes nos constituintes
 - reações expansivas
 - ataques físicos decorrentes de variações de temperatura,
 - abrasão, penetração de água,...




duratiNet

SEMINÁRIO DURATINET
 LISBOA, 26 novembro 2013

2. Metodologia

Para se atingir o **tempo de vida útil** requerido devem ser tomadas medidas adequadas para proteger cada elemento estrutural contra as ações relevantes a que está submetido.

Requisitos para a Durabilidade	
Conceção estrutural	Forma estrutural, geometria, robustez
Pormenorização	Recobrimento, pormenorização, drenagem
Seleção materiais	Composição do betão (A/C, dosagem cimento, tipo de cimento e agregados)
Execução	Colocação e compactação Proteção e cura Recobrimento armaduras
Controlo qualidade	Verificação das propriedades especificadas para os materiais e processos construtivos
Inspecção	Plano de observação da estrutura
Medidas especiais	Aço inox Revestimentos superfície Inibidores, métodos electroquímicos activos (PC)

duratiNet

SEMINÁRIO DURATINET
 LISBOA, 26 novembro 2013

2. Metodologia

LNEC E 461

- trata a forma de prevenir as reações expansivas internas no betão

LNEC E 464 (implementa as regras de aplicação da NP EN 1990 e NP EN 206-1)

- estabelece a aptidão dos ligantes hidráulicos – cimentos e misturas de cimentos e adições – como constituintes do betão,
- clarifica a seleção das classes de exposição em que as ações ambientais agressivas para o betão estão organizadas na NP EN 206-1
- fixa as medidas prescritivas vida útil de projeto das estruturas de 50 ou de 100 anos nas diversas classes de exposição,
- faz enquadramento geral para garantir a vida útil de projeto das estruturas de betão
- e introduz o conceito de desempenho equivalente, propondo a sua metodologia.

LNEC E 465

- metodologia para estimar as propriedades de desempenho do betão armado ou pré-esforçado sob ação do dióxido de carbono e dos cloretos para satisfazer a vida útil pretendida

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

2. Metodologia

METODOLOGIA PRESCRITIVA

- Requisitos de composição do betão
- Recobrimentos das armaduras

METODOLOGIA BASEADA NA MODELAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE DESEMPENHO DO BETÃO

- Modelação dos mecanismos de deterioração considerando a incerteza associada (análise probabilística)

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

2.1. Metodologia prescritiva

Classes exposição NP EN 206-1

Classe	Descrição do ambiente	Exemplos
1 Sem risco de corrosão ou ataque		
X0	betão não armado betão armado ou com metais embebidos: ambiente muito seco.	Betão no interior de edifícios com muito baixa humidade do ar
2 Corrosão induzida por carbonatação		
Betão armado exposto ao ar e à humidade		
XC1	Seco ou permanentemente húmido	Betão no interior de edifícios com baixa humidade do ar; Betão permanentemente submerso em água.
XC2	Húmido, raramente seco	Superfícies de betão sujeitas a longos períodos contacto com água; fundações.
XC3	Moderadamente húmido	Betão no interior de edifícios com moderada ou elevada humidade do ar; betão no exterior protegido da chuva.
XC4	Ciclicamente húmido e seco	Superfícies de betão sujeitas ao contacto com a água, fora do âmbito da classe XC2
3 Corrosão induzida por cloretos não provenientes da água do mar		
Betão armado em contacto com água, que não água do mar, contendo cloretos, incluindo sais descongelantes		
XD1	Moderadamente húmido	Superfícies de betão expostas a cloretos trans-portados pelo ar
XD2	Húmido, raramente seco	Piscinas; Betão exposto a águas industriais contendo cloretos
XD3	Ciclicamente húmido e seco	Partes de pontes expostas a salpicos de água contendo cloretos; Pavimentos; Lajes de parques de estacionamento de automóveis

duratiNet

SEMINÁRIO DURATINET

LISBOA, 26 novembro 2013

A&E

Classes exposição NP EN 206-1

2.1. Metodologia prescritiva

Classe	Descrição do ambiente	Exemplos
4 Corrosão induzida por cloretos da água do mar		
Betão armado em contacto com cloretos provenientes da água do mar ou com sais marinhos		
XS1	Ar transportando sais marinhos mas sem contacto direto com a água do mar	Estruturas na zona costeira ou na sua proximidade
XS2	Submersão permanente	Partes de estruturas marítimas
XS3	Zonas de marés, de rebentação ou de salpicos	Partes de estruturas marítimas
5 Ataque pelo gelo/degelo com ou sem produtos descongelantes		
Betão exposto a ataque por ciclos de gelo/degelo		
XF1	Moderadamente saturado de água, sem produtos descongelantes	Superfícies verticais de betão expostas à chuva e ao gelo
XF2	Moderadamente saturado de água, com produtos descongelantes	Superfícies verticais de betão de estruturas rodoviárias expostas ao gelo e a produtos descongelantes
XF3	Fortemente saturado, sem produtos descongelantes	Superfícies horizontais de betão expostas à chuva e ao gelo
XF4	Fortemente saturado, com produtos descongelantes	Estradas e tabuleiros de pontes expostos a produtos descongelantes; Superfícies de betão expostas ao gelo e a salpicos de água contendo produtos descongelantes; Zona das estruturas marítimas expostas à re-bentação e ao gelo
6 Ataque químico		
Betão exposto ao ataque químico proveniente de solos naturais e de águas subterrâneas. A classificação da água do mar depende da localização geográfica, aplicando-se assim a classificação válida no local de utilização do betão. Estudo especial para : outros agentes químicos agressivos; água ou solos poluídos quimicamente; grande velocidade de água em conjunto com os agentes químicos do quadro 2.		
XA1	Ligeiramente agressivo	
XA2	Moderadamente agressivo	
XA3	Fortemente agressivo	

 ATLANTIC AREA

 European Union
 European Regional Development Fund

duratiNet

SEMINÁRIO DURATINET

LISBOA, 26 novembro 2013

A&E

2.1. Metodologia prescritiva

Combinações mais comuns de classes exposição

XC2 com	XD2 XS2 + ataque da água do mar (XA1) XF1 XA1, XA2 ou XA3
XC3 ou XC4 com	XF1 XD1+ XF2 XS1 XD3 XS3+ ataque da água do mar (XA1)
XC4 com	XA1, XA2 ou XA3

 ATLANTIC AREA

 European Union
 European Regional

duratiNet SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

2.1. Metodologia prescritiva

Combinação de classes exposição

ZONA EXPOSIÇÃO

- Atmosférica**: Corrosão devido A névoa salina e ao CO₂
- Salpicos**: Corrosão/ cloretos, Erosão devido impacto ondas
- MaréTidal**: Corrosão/ cloretos, Crescimento de bio-organismos
- Submersa**: Corrosão Cl, Corrosão microbológica nos sedimentos

Classes de exposição associadas:

- XC4 ou XC3/XS1
- XC4/XS3
- XC4/XS3/XA1
- XC2/XS2/XA1

ATLANTIC AREA
European Union
European Regional Development Fund

duratiNet SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

NP EN206-1: parâmetros prescritivos do betão

	Sem risco de corrosão ou ataque X0	Classes de exposição												Ataque pelo gelo/degelo				Ambientes químicos agressivos		
		Corrosão induzida por carbonatação				Corrosão induzida por Cloretos provenientes da água do mar				Cloretos provenientes de outras origens										
		XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3		
Máxima razão A/C	—	0,65	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5		
Mínima classe de resistência	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C35/45	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45		
Mínima dosagem de cimento (kg/m ³)	—	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360		
Mínimo teor de ar (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a	—	—		
Outros requisitos	—	—										Agregados conformes com a EN 12620:2002 com suficiente resistência ao gelo/degelo				Cimento resistente aos sulfatos				

^a Se o betão não tiver ar incorporado, convém que o seu desempenho seja avaliado com um método de ensaio apropriado, tendo como referência um betão cuja resistência ao gelo/degelo, para a classe de exposição aplicável, se encontre estabelecida

^b Quando o concreto for classificado para as classes de exposição XA2 e XA3, é essencial utilizar cimento resistente aos sulfatos. Se o cimento estiver classificado quanto à resistência aos sulfatos, convém utilizar cimento de moderada ou elevada resistência aos sulfatos na classe de exposição XA2 (e quando aplicável na XA1) e cimento de elevada resistência aos sulfatos na classe de exposição XA3

ATLANTIC AREA
European Union
European Regional Development Fund

duratiNet SEMINÁRIO DURATINET LISBOA, 26 novembro 2013

NP EN1992-1-1:Recobrimento mínimo 2.1. Metodologia prescritiva

$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev}$ $\Delta C_{dev} = 10 \text{ mm}$ (EN 13670)

$C_{min} = \max\{C_{min,b}; C_{min,dur}; \Delta C_{dur,y} - \Delta C_{dur,st} - \Delta C_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$

C_{min} : adequada força de ligação aço-betão, resistência ao fogo, proteção contra corrosão

$C_{min,dur}$ Betão armado

Classe estrutural	Classe de exposição ambiental						
	X0	XC1	XC2/3	XC4	XD1/ XS1	XD2/ XS2	XD3/ XS3
1	10	10	10	15	20	25	30
2	10	10	15	20	25	30	35
3	10	10	20	25	30	35	40
4	10	15	25	30	35	40	45
5	15	20	30	35	40	45	50
6	20	25	35	40	45	50	55

$\Delta C_{dur,st} = 20 \text{ mm}$

$\Delta C_{dur,add} = 5 \text{ mm}$

Betão pre-esforçado

Classe estrutural	Classe de exposição ambiental						
	X0	XC1	XC2/3	XC4	XD1/ XS1	XD2/ XS2	XD3/ XS3
1	10	15	20	25	30	35	40
2	10	15	25	30	35	40	45
3	10	20	30	35	40	45	50
4	10	25	35	40	45	50	55
5	15	30	40	45	50	55	60
6	20	35	45	50	55	60	65

Classe estrutural recomendada para T projeto de 50 anos é S4

ATLANTIC AREA European Union European Regional Development Fund

duratiNet SEMINÁRIO DURATINET LISBOA, 26 novembro 2013

LNCE E 464: composições de betão e recobrimentos prescritos 2.1. Metodologia prescritiva

Limites da composição e da classe de resistência do betão vida útil de 50 anos

CO2

Tipo de cimento	CEM I (Referência); CEM II/A ⁽¹⁾				CEM II/B ⁽¹⁾ ; CEM III/A ⁽²⁾ ; CEM IV ⁽²⁾ ; CEM V/A ⁽²⁾			
	XC1	XC2	XC3	XC4	XC1	XC2	XC3	XC4
Mínimo recobrimento nominal, mm	25	35	35	40	25	35	35	40
Máxima razão água/cimento	0,65	0,65	0,60	0,60	0,65	0,65	0,55	0,55
Mínima dosagem de cimento, C (kg/m³)	240	240	280	280	260	260	300	300
Mínima classe de resistência	C25/30 LC25/28	C25/30 LC25/28	C30/37 LC30/33	C30/37 LC30/33	C25/30 LC25/28	C25/30 LC25/28	C30/37 LC30/33	C30/37 LC30/33

cloratos

Tipo de cimento	CEM IV/A (Referência); CEM IV/B; CEM III/A; CEM III/B; CEM V; CEM II/B ⁽¹⁾ ; CEM II/A-D			CEM I; CEM II/A ⁽¹⁾		
	XS1/ XD1	XS2/ XD2	XS3/ XD3	XS1/ XD1	XS2/ XD2	XS3/ XD3
Mínimo recobrimento nominal (mm)*	45	50	55	45	50	55
Máxima razão água/cimento	0,55	0,55	0,45	0,45	0,45	0,40
Mínima dosagem de cimento, C (kg/m³)	320	320	340	360	360	380
Mínima classe de resistência	C30/37 LC30/33	C30/37 LC30/33	C35/45 LC35/38	C40/50 LC40/44	C40/50 LC40/44	C50/60 LC50/55

ataque químico

Tipo de cimento	CEM IV/A (Referência); CEM IV/B; CEM III/A; CEM III/B; CEM V; CEM II/B ⁽¹⁾ ; CEM II/A-D			CEM I; CEM II/A ⁽¹⁾		
	XA1	XA2 ⁽²⁾	XA3 ⁽²⁾	XA1	XA2 ⁽²⁾	XA3 ⁽²⁾
Máxima razão água/cimento	0,55	0,50	0,45	0,50	0,45	0,45
Mínima dosagem de cimento, C (kg/m³)	320	340	360	340	360	380
Mínima classe de resistência	C30/37 LC30/33	C35/45 LC35/38	C35/45 LC35/38	C35/45 LC35/38	C40/50 LC40/44	C40/50 LC40/44

vida útil de 100 anos: aumento de 10 mm nos recobrimentos

ATLANTIC AREA European Union European Regional Development Fund

duratiNet		SEMINÁRIO DURATINET LISBOA, 26 novembro 2013						
Tempo de vida	REC	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
Tempo vida útil 50 anos, classe estr. S4	Rec mínimo	10	15	25	30	35	40	45
	Rec nominal	20	25	35	40	45	50	55
Tempo vida útil 100 anos, classe estr. S6	Rec mínimo	20	25	35	40	45	50	55
	Rec nominal	30	35	45	50	55	60	65

duratiNet

SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

ANEC

2.1. Metodologia prescritiva

Classificação estrutural recomendada pela EN 1992-1-1

Classe estrutural							
Critério	Classe exposição de acordo com EN 206-1						
	X0	XC1	XC2/ XC3	XC4	XD1	XD2/ XS1	XD3/ XS2/ XS3
vida útil projeto 100 anos	aumenta class de 2	aumenta class de 2	aumenta class de 2	aumenta class de 2	aumenta class de 2	aumenta class de 2	aumenta class de 2
Classe resistencia	$\geq$ C30/C37 reduz a class de 1	$\geq$ C30/C37 rebus class 1	$\geq$ C35/C45 reduz class by 1	$\geq$ C40/C50 reduz class by 1	$\geq$ C40/C50 reduz class by 1	$\geq$ C40/C50 reduz class by 1	$\geq$ C45/C55 reduz class by 1
elemento com geometria de laje	Reduz class de 1	Reduz class de 1	Reduz class de 1	Reduz class de 1	Reduz class de 1	Reduz class de 1	Reduz class de 1
controle de qualidade da produção de betão	Reduz class de 1	Reduz class de 1	Reduz class de 1	Reduz class de 1	Reduz class de 1	Reduz class de 1	Reduz class de 1

 ATLANTIC AREA



European Union
European Regional

SEMINÁRIO DURATINET

LISBOA, 26 novembro 2013

LNEC E 464

Conceito de “desempenho equivalente”

2.1. Metodologia prescritiva

Para outros cimentos (ou outras misturas) que não os indicados nos quadros prescritivos de composições deve usar-se conceito de “desempenho equivalente do betão” em relação à exposição ambiental em causa (XC ou XS) ou à que for mais desfavorável no caso de haver combinação

Procedimento:

Para a composição de referência que satisfaça as exigências limite de composição e de resistência mecânica prescritas para a classe de exposição em aplicável e com o cimento de referência indicado para esta classe determinam-se as propriedades relacionadas com o desempenho para a classe de exposição.

SEMINÁRIO DURATINET

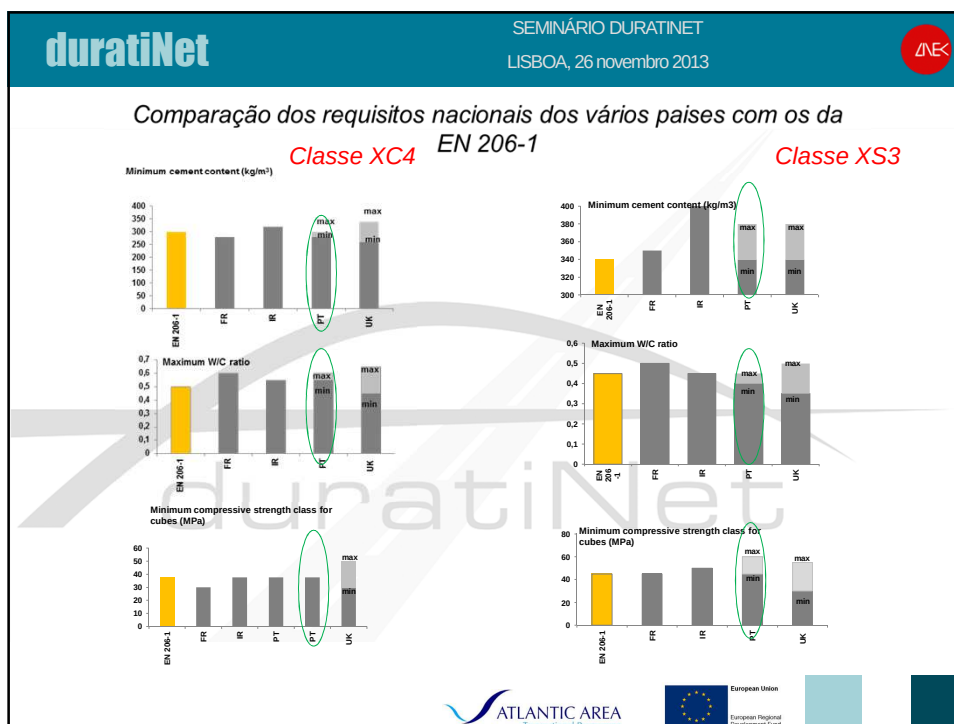
LISBOA, 26 novembro 2013

Propriedades, métodos e provetes de

Classe de exposição	Propriedades a determinar	Métodos de ensaio	Número e tipo de provetes (mm)
XC1	Carbonatação acelerada	LNEC E 391	1 provete 150x150x600
XC2	Permeabilidade ao oxigénio	LNEC E 392	3 provetes φ 150; h = 50
XC3	Resistência à compressão	NP EN 12390-3	3 provetes de 150x150x150
XC4	Resistência à compressão	NP EN 12390-3	3 provetes de 150x150x150
XS1/XD1	Coef. de difusão dos cloretos	LNEC E 463	2 provetes φ 100; h = 50
XS2/XD2	Absorção capilar	LNEC E 393	3 provetes φ 150; h = 50
XS3/XD3	Resistência à compressão	NP EN 12390-3	3 provetes de 150x150x150

Procede-se de igual modo com a composição a estudar, cujo desempenho se pretende avaliar e comparam-se os resultados das duas

Propriedades a determinar	Relação com a composição REF
Profundidade de carbonatação acelerada, PCA:	$\frac{PCA_{estudo}}{PCA_{referencia}} \leq 1,3$
Absorção capilar, AC:	$\frac{AC_{estudo}}{AC_{referencia}} \leq 1,3$
Permeabilidade ao oxigénio, K:	$\frac{K_{estudo}}{K_{referencia}} \leq 2,0$
Coeficiente de difusão dos cloretos, D:	$\frac{D_{estudo}}{D_{referencia}} \leq 2,0$
Resistência à compressão, f_c :	$\frac{f_{c, referencia}}{f_{c, estudo}} \leq 1,1$



duratiNet SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

METODOLOGIA BASEADA EM PROPRIEDADES DE DESEMPENHO DO BETÃO

- Modelação dos mecanismos de deterioração considerando a incerteza associada (análise probabilística)

LNEC E 465: apresenta uma metodologia para estimar as propriedades de desempenho do betão armado ou pré-esforçado sob ação do dióxido de carbono e dos cloretos para satisfazer a vida útil pretendida

ATLANTIC AREA
Transnational Programme

European Union
European Regional Development Fund

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

Quando a durabilidade assenta apenas na resistência do betão às ações ambientais, requiere que se quantifique:

- a) o tempo de vida útil previsto para a estrutura, que é normalmente definido pelo dono de obra;
- a) b) a máxima probabilidade aceitável (ou o mínimo índice de fiabilidade aceitável) de serem atingidos os estados limites últimos e de utilização;
- c) o estado limite último (relacionado com a segurança última da estrutura ou de pessoas)
- d) o estado limite de utilização (relacionados com o funcionamento e aparência normais da estrutura e o conforto das pessoas);
- e) o desenvolvimento no tempo não só da “ação” imposta pela exposição ambiental, S , como da “resistência a essa ação” por parte da estrutura, R_s , usando modelos apropriados.

duratiNet
SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

A metodologia geral do projeto de durabilidade procura garantir, em cada estado limite e para a vida útil pretendida t_g :

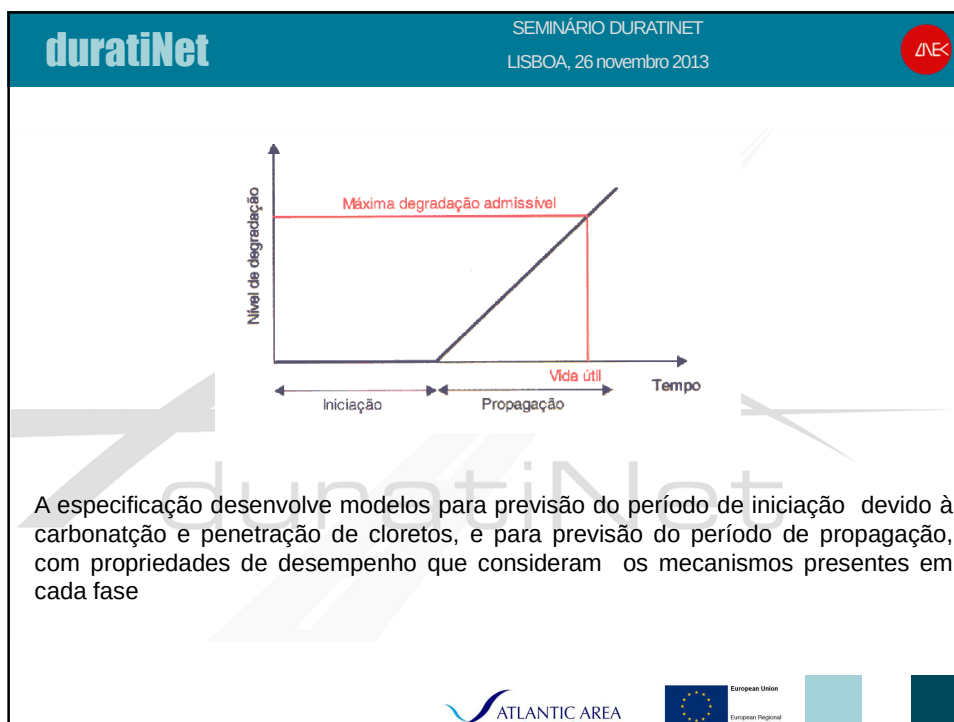
- 1- que a resistência da estrutura face às ações ambientais, $R_s(t_g)$, calculada utilizando modelos de desempenho, seja superior à acção ambiental $S(t_g)$:

$$R_s(t_g) - S(t_g) > 0$$
ou,
- 2- que a vida útil, t_L , avaliada através do modelo de desempenho, seja superior à vida útil pretendida, t_g :

$$t_L - t_g > 0$$

Especificação LNEC E 465 baseia –se nesta última condição para estimar propriedades de desempenho, recorrendo ao factor de segurança da vida útil, γ , como no cálculo estrutural em que se utilizam fatores parciais afetando materiais e ações.

Com este factor γ podem calcular-se de forma determinística as propriedades de desempenho para o valor da “vida útil de cálculo”, $t_d = \gamma * t_g$, satisfazendo aquela condição com uma abordagem probabilística.



duratiNet		SEMINÁRIO DURATINET LISBOA, 26 novembro 2013			
Structure	Channel Tunnel (UK-France)	Vasco da Gama Bridge (Fig. 11) (Portugal)	Medway Viaduct (Fig. 12) (UK)	Millau Bridge (Fig. 13) (France)	Extension of Condamine Port floating dyke (France)
Construction Period	1987-1992	1995-1998	1998-2001	2002-2004	1999-2002
Specified service life	120 years	120 years	100 years	120 years	100 years
Concrete Type	B45 & B55	B40, B45 and B50	C40 to C60	B60	B54, B65
Type of Binder	CEM I PM (additions permitted)	PM (seawater) cement containing FA	CEM I + slag or CEM I + FA	CEM I 52.5 N PM ES CP2 – no additions	CEM I PM (seawater) + FA + SF
Max w/c ratio	0.32	0.33 to 0.42	0.45 – 0.50	Max. 0.45 W_{eff}/c 0.335	0.35
Min. Cement (kg/m ³)	400 for 425 requested	400	-	420	-
Min. Cement and additions (kg/m ³)	-	-	325 to 350	-	425
Aggregates	NR	NR	-	Class A, NR	Class A, NR
Water porosity	-	-	-	11-13 (piers)	< 12 (B54) < 10 (B65)
Water Permeability (m/s)	< 10 ⁻¹³	-	-	-	-
Gas Permeability (m ²)	-	< 10 ⁻¹⁷ (at 28 days)	-	< 10 ⁻¹⁷ (at 90 days)	< 10 ⁻¹⁶ - 10 ⁻¹⁷ (28 days 80 °C drying)
Apparent Chloride Diffusion Coeff. (m ² /s)	-	< 10 ⁻¹² (at 28 days)	< 10 ⁻¹²	< 10 ⁻¹² (at 90 days)	< 5 x 10 ⁻¹² (B54) < 1 x 10 ⁻¹² (B65)
Oxygen Diffusion Coeff. (m ² /s)	-	-	< 5 x 10 ⁻⁸	-	-
Quantity of electricity (coulombs)	-	< 1500 at 28 days < 1000 at 90 days	-	-	100-1000 (B65) 1000-2000 (B54)

ATLANTIC AREA

European Union
European Regional Development Fund

duratiNet

SEMINÁRIO DURATINET
LISBOA, 26 novembro 2013

A Durabilidade das estruturas começa na **fase de conceção e projeto**, aqui se definem as medidas preventivas com menores custos e maior eficácia para todo o ciclo de vida da estrutura

As fases de **execução e de manutenção em serviço** são também muito importantes pois nestas podem ter origem defeitos promotores de perda da durabilidade projetada

A garantia da Durabilidade depende dos diferentes intervenientes

Atualmente existem metodologias para estabelecer e aplicar os requisitos de durabilidade das estruturas, de modo a permitir que possam ter **tempos de vida em serviço longos e com custos reduzidos**

ATLANTIC AREA

European Union
European Regional Development Fund