ABECE
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL

11º ENECE 2008
ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL

QUALIDADE
DO PROJETO AO PRODUTO FINAL

CONTROLO DA QUALIDADE, LEGISLAÇÃO E PROCEDIMENTOS

23 de Outubro 2008

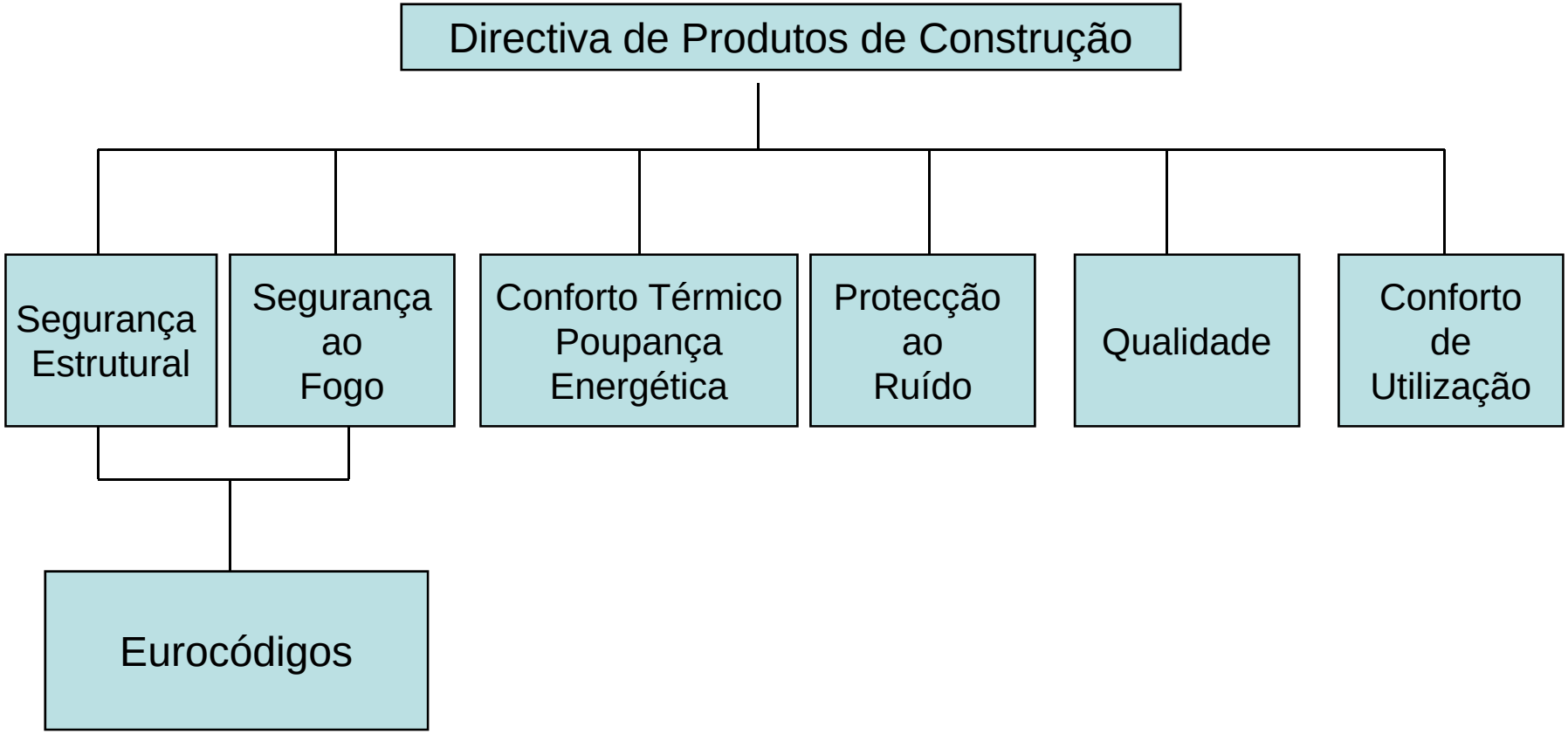
Paulo Fernandes

PECNON, Gabinete de Estudos e Projectos Lda.

- Na presente palestra irei tentar fornecer informação sobre a forma como em Portugal, no seguimento da orientação Europeia, são balizadas por normativas, todas as actividades de construção civil.

- Esta normalização enquadrada pelo Dec. Nº 301/2007, o qual regula em geral os produtos da construção, fala sobre actividades referentes a moldes e cimbres, aços e sua colocação, aprumos da estrutura, execução do betão e sua aplicação etc.

- O seu enquadramento normativo é resumido nos quadros seguintes:


Directiva de Produtos de Construção
Segurança Estrutural
Segurança ao Fogo
Conforto Térmico Poupança Energética
Protecção ao Ruído
Qualidade
Conforto de Utilização
Eurocódigos

Eurocódigos

- EN1992 Eurocódigo
- EN 206-1 Betão
  - Constituintes
    - EN 197 – Cimento
    - EN 450 – Cinzas
    - EN 13263 – Sílica de fumo
    - EN 934-2 - Adjuvantes
    - EN 12620 – Agregados
    - EN 1008 - Água
    - EN 13055-1 – Agregados leves
    - EN 12676 - Pigmentos
  - Ensaios
    - EN 12350 – Betão Fresco
    - EN 12390 – Betão endurecido
    - EN 12504 – Betão *in situ*
- EN 13670-1 Execução
- EN… Produtos préfabricados
- EN 13791 Avaliação da resistência do betão *in situ*

NP EN 206-1

NP ENV 13670-1
Ensaios de identidade
Colocação, compactação e cura

E 461
Reacção
Álcalis-silica

E 464
Conceito de mistura
Limites prescritivos
Desempenho equivalente

E 465
Especificação
baseada do
desempenho

- De toda esta regulamentação salienta-se, como de especial atenção para os projectistas a norma NP EN 206-1 e a NP ENV 13670-1, com implicação na especificação do betão e ensaios de identidade betonagem e inspecção.

- Estas normas são apoiadas pelas especificações do LNEC E464-2007, referente a metodologia para uma vida útil de projecto de 50 a 100 anos face às acções ambientais, e E 465-2007, referente a metodologia para estimar propriedades de desempenho do betão do comportamento especificado (ex: betão leve; betão de presa rápida, etc.).

- Todo o betão é abrangido por esta normalização, seja o betão efectuado em obra, o betão feito em central ou o betão pré fabricado.

- Para implementação desta normalização o dono de obra e o projectista deverão definir o tempo de vida útil previsto para a construção, sendo o projectista responsável sua pela indicação. Para obras do Estado é indicado no E465-2007 o tempo de vida útil estimado, indicado no quadro seguinte:

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

- Estas especificações são baseadas nos princípios e afirmações seguintes:

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

- Suporte todas as acções e influências que seja verosímil possam ocorrer durante a execução e
- permaneça apta ao uso para que é construída.

Assim, a durabilidade é a capacidade duma estrutura permanecer apta ao uso previsto durante a vida útil, sujeita a apropriada manutenção

2) Uma estrutura deve ser projectada para ter adequada resistência, utilidade e durabilidade.

3) Devem ser evitados ou limitados danos potenciais, escolhendo apropriadamente um ou mais dos seguintes meios:

- evitar, eliminar ou reduzir os riscos a que a estrutura está submetida;
- seleccionar a forma estrutural que é menos sensível ao risco considerado;
- seleccionar uma forma e projecto estruturais que possam sobreviver adequadamente à remoção acidental de uma ou parte da estrutura ou à ocorrência de danos localizáveis aceitáveis;
- evitar sistemas estruturais que possam colapsar sem aviso;
- ligar uns aos outros elementos estruturais.

4) A fiabilidade exigida às estruturas deve ser alcançada

- com um projecto respeitando a EN 1990 e

- com apropriada execução e com apropriadas medidas de gestão da qualidade

- Para um adequado cumprimento dos objectivos pretendidos é dado especial ênfase às especificações de projecto, nomeadamente:

- Tempo de vida útil
- Classe de inspecção a aplicar á estrutura e entidade que a efectua;
- Propriedades do betão;
- Propriedades dos aços;
- Ensaios de identidade do betão e ensaios de recepção dos aços;
- Gerações de observação e manutenção e manutenção pretendidas (Ex: estruturas metálicas em piscinas).

- Na definição das propriedades do betão é importante indicar:

- Resistência à compressão;
- Classe da especificação ambiental;
- Classe do teor de cloretos;
- Máxima dimensão do agregado;
- Classe da consistência do valor pretendido (incluindo neste caso a indicação do método de ensaio).

- A definição de resistência à compressão deverá ser determinada por ensaios de rebentamento, sendo definido no E464-2007 a retirada de 3 provetes cúbicos de 150x150x150, por cada amassadura, sendo igualmente indicado a forma de executar e conservar os provetes.

- As armaduras são protegidas pela alcalinidade do meio (PH 13).

  Quando o PH desce para 10 ou os cloretos ultrapassam o valor critico ocorre a destruição da película passiva, podendo surgir humidade e oxigénio, iniciando-se o processo de corrosão das armaduras

- A corrosão é um processo electroquímico no qual existe um ânodo (zona de armaduras despassivadas, um cátodo (zona de armaduras com acesso a oxigénio), um condutor eléctrico (armaduras) e um electrólito (betão).

- Na carbonatação o dióxido de carbono da atmosfera reage com o hidróxido de cálcio do cimento, provocando abaixamento do PH de 13 para 10. Esta progressão é lenta

- A acção dos cloretos é localizada e a sua velocidade de progressão rápida.

- Nas normas definem-se as classes de exposição ambiental, indicadas consoante o risco de corrosão e os agentes de ataque ao betão.

- Estas classes serão definidas de acordo com os quadros seguintes:

Sem risco de corrosão ou ataque

Classe	Ambiente	Exemplos
X0	Para betão armado e sem metais embebidos: todas as exposições, excepto ao gelo/degelo, à abrasão ou ao ataque químico. Para betão armado ou com metais embebidos: ambiente muito seco	Betão no interior de edifícios com muito pouca humidade do ar

Corrosão induzida por carbonatação

Classe	Ambiente	Exemplos
XC1	Seco ou permanente húmido	Betão no interior de edifícios com baixa humidade do ar; Betão permanentemente submerso em água
XC2	Húmido, raramente seco	Superfícies de betão sujeito a longos períodos de contacto com água; Muitas fundações
XC3	Moderadamente húmido	Betão no interior de edifícios com moderada ou elevada humidade do ar; Betão no exterior protegido de chuva
XC4	Ciclicamente húmido e seco	Superfícies de betão sujeitas ao contacto com água, fora do âmbito da classe XC2

Corrosão induzida por cloretos não proveniente de água do mar

Classe	Ambiente	Exemplos
XD1	Moderadamente húmido	Superfícies de betão expostas a cloretos transportados 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

Corrosão induzida por cloretos da água do mar

Classe	Ambiente	Exemplos
XS1	Ar transportando sais marinhos mas sem contacto directo com a água do mar	Estruturas na zona costeira ou na proximidade
XS2	Submersão permanente	Parte de estruturas marítimas
XS3	Zonas de marés, de rebentação ou de salpicos	Partes de estruturas marítimas

Ataque pelo gelo/degelo com ou sem produtos descongelantes

Classe	Ambiente	Exemplos
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 transportados pelo ar
XF3	Fortemente saturado, sem produtos descongelantes	Superfícies horizontais de betão expostas à chuva e 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; Zonas das estruturas marítimas expostas à rebentação e ao gelo

Ataque químico

Classe	Ambiente	Exemplos
XA1	Ligeiramente agressivo	Água do mar Solos naturais e águas subterrâneas Contendo agentes químicos agressivos para o betão e para os elementos metálicos embebidos
XA2	Moderadamente agressivo	
XA3	Fortemente agressivo	

- Consoante o tipo de ambiente previsto, e no caso de possibilidade de ataque de mais de um agente, estes deverão ser indicados, sendo a prescrição efectuada para o mais desfavorável.

- No quadro seguinte indica-se as prescrições para cada tipo de ambiente e condicionalismos a cumprir, para uma vida útil, de 50 anos.

Tipo de cimento	Classe de exposição	Recobrimento nominal mínimo	Dosagem de cimento mínima	Razão A/C máxima
-	X0	-	-	-
CEM I; CEMII/A	XC1	25 mm	240 Kg/m³	0,65
	XC2	35 mm		
	XC3	35 mm	280 Kg/m³	0,60
	XC4	40 mm		
	XS1/XD1	45 mm	360 kg/m³	0,45
	XS2/XD2	50 mm		
	XS3/XD3	55 mm	380 Kg/m³	0,40
	XF1	-	280 Kg/m³	0,60
	XF2			0,55
	XA1	-	340 Kg/m³	0,50
	XA2		360 Kg/m³	0,45
	XA3		380 Kg/m³	

Tipo de cimento	Classe de exposição	Classe de resistência mínima	
		Betão normal	Betão leve
-	X0	C12/15	-
CEM I; CEMII/A	XC1	C25/30	LC25/28
	XC2		
	XC3	C30/37	LC30/33
	XC4		
	XS1/XD1	C40/50	LC40/44
	XS2/XD2		
	XS3/XD3	C50/60	LC50/55
	XF1	C30/37	LC30/33
	XF2		
	XA1	C35/45	LC35/38
	XA2	C40/50	LC40/44
	XA3		

Tipo de cimento	Classe de exposição	Recobrimento nominal mínimo	Dosagem de cimento mínima	Razão A/C máxima
CEM II/B;CEMII/A; CEM IV; CEM V/A	XC1	25 mm	260 Kg/m³	0,65
	XC2	35 mm		
	XC3	35 mm	300 Kg/m³	0,55
	XC4	40 mm		
	XF1	-	300 kg/m³	0,55
	XF2			0,50
CEMIV/A; CEM IV/B; CEM III/B; CEM V; CEMII/B; CEM II/A-D	XS1/XD1	45 mm	320 Kg m³	0,55
	XS27XD2	50 mm		
	XS3/XD3	55 mm	340 Kg/m³	0,45
	XA1	-	320 Kg/m³	0,55
	XA2		340 Kg/m³	0,50
	XA3		360 Kg/m³	0,45

Tipo de cimento	Classe de exposição	Classe de resistência mínima	
		Betão Normal	Betão Leve
CEM II/B;CEMII/A; CEM IV; CEM V/A	XC1	C25/30	LC25/28
	XC2		
	XC3	C30/37	LC30/33
	XC4		
	XF1	C30/37	LC30/33
	XF2		
CEMIV/A; CEM IV/B; CEM III/B; CEM V; CEMII/B; CEM II/A-D	XS1/XD1	C30/37	LC30/33
	XS27XD2		
	XS3/XD3	C35/45	LC35/38
	XA1	C30/37	LC30/33
	XA2	C35/45	LC35/38
	XA3		

- Para uma vida útil de 100 anos os dos requisitos dos quadros anteriores, devem ter as seguintes alterações:

  - nos betões armados ou pré-esforçados sujeitos à acção do dióxido de carbono ou dos cloretos, o valor do recobrimento nominal quadros é aumentado de 10 mm, mantendo-se os requisitos exigidos ao betão nestes quadros;

  - nos betões sujeitos à acção de gelo-degelo, ou ao ataque químico, a máxima razão água/cimento é diminuída de 0,05, a mínima dosagem de cimento é aumentada de 20 Kg/m³ e a classe de resistência à compressão simples dos betões é aumentada de 2 classes.

- Salienta-se que é dado grande relevância ao recobrimento por este parâmetro ser dos mais condicionantes na durabilidade do betão, por exemplo para os efeitos de carbonatação.

- Teor máximo de cloretos, provenientes de vários constituintes, (ex: areia, betão, etc.), deve obedecer ás prescrições do quadro anexo:

- TEOR DE CLORETOS
- O teor de cloretos não deve exceder o valor correspondente à classe seleccionada.

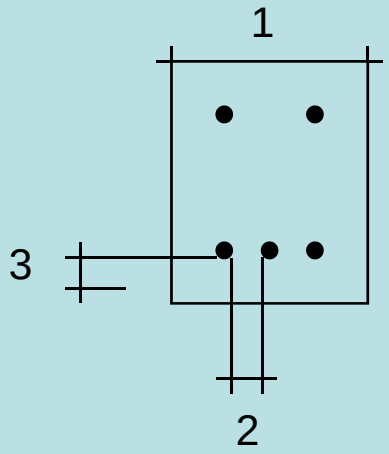
Utilização do betão	Classe de teor de cloretos	
	XC; XF; XA	XS; XD
Sem armaduras de aço ou outras peças metálicas embebidas	CI 1,0	
Com armaduras de aço ou outras peças metálicas embebidas	CI 0,4	CI 0,2
Com aço pré-esforço	CI 0,2	CI 0,1

- A dimensão máxima do agregado deve obedecer ás recomendações do quadro anexo

DIMENSÃO MÁXIMA DO AGREGADO

Determinação (recomendação)

1. ¼ da menor dimensão do elemento estrutural
2. Espaçamento livre entre armaduras reduzido de 5 mm
3. Recobrimento mínimo



- A consistência, deverá ser especificada através de uma classe ou em casos especiais, através de um valor pretendido, tendo em consideração o método de ensaio mais adequado :

- Ensaio de Abaixamento
- Ensaio de Vêbê
- Ensaio de Compactação
- Ensaio de espalhamento

- No entanto o ensaio mais utilizado nas obras correntes é o **Ensaio de Abaixamento**

Classe	Abaixamento (mm)
S1	10 a 40
S2	50 a 90
S3	100 a 150
S4	160 a 210
S5	$\geq$ 220

- **Recomendação**

Betão para bombear	Classe ≥ S3
Pavimentos com meios tradicionais de Colocação e acabamento	Classe ≥ S3
Superfícies com betão à vista	Classe ≥ S3
Elevado tempo de transporte e/ou clima quente	Classe ≥ S3
Betões de alta resistência	Classe ≥ S4

- Na referida legislação é ainda dada relevância e indicação de todos os quesitos de projecto:

  - responsabilidade do construtor no pedido do betão;

  - responsabilidade do produtor no seu fabrico, bem como fornecimento das suas especificações (assinalados na guia de remessa);

  - definição dos ensaios de identidade com o respectivo plano de amostragem e forma de fabrico e transporte dos provetes;

  - definição dos planos de betonagem e verificação das cofragens antes das betonagens;

  - colocação e compactação de betão, nomeadamente na vibração em que se dá especial relevância à sua execução na vertical, dimensão das agulhas, etc.;

  - colocação de betão, protecção e cura.