ANÁLISE COMPARATIVA DAS PREMISSAS DE DURABILIDADE DA NORMA BRASILEIRA E DE NORMAS INTERNACIONAIS

P. MEZZOMO
Acadêmico de Engenharia Civil
UNISINOS
São Leopoldo/RS; Brasil
pmezzomos@unisinos.br

J. R. GRABASCK
Arq. e Urb., Ms. Eng. Civil
UNISINOS
São Leopoldo/RS; Brasil
jaquegrabasck@gmail.com

L.R.R. HEITNER
Eng. Civil
Profissional liberal
São Leopoldo/RS; Brasil
leticiarinaldirs@gmail.com

F. PACHECO
Prof. Ms. Eng. Civil
UNISINOS
São Leopoldo/RS; Brasil
fernandapache@unisinos.br

R. CHRIST
Prof. Ms. Eng. Civil
UNISINOS
São Leopoldo/RS; Brasil
rchrist@unisinos.br

RESUMO

A preocupação com o desempenho das estruturas de concreto armado dá-se pela segurança dos usuários das edificações, pelo investimento financeiro e pela esfera de sustentabilidade ambiental, dados os resíduos de construção e demolição gerados. Desta forma, as normas técnicas apresentam premissas básicas para garantia da durabilidade, sendo este um requisito imposto pela NBR 15575 (ABNT, 2013) no Brasil. Cabe ressaltar, no entanto, que existem variações entre os requisitos estipulados em normas internacionais e os presentes no cenário brasileiro. Assim, este artigo visa apresentar uma análise comparativa entre os requisitos nacionais e internacionais relativos à composição das estruturas de concreto, definições de classe de agressividade ambiental e exigências de durabilidade. Consiste assim, de um referencial teórico apontando as exigências presentes nestes diferentes documentos com análise crítica fundamentada na deterioração das estruturas.
Palavras-chave: estruturas de concreto armado, durabilidade, padronização, normas técnicas.

ABSTRACT

The concern towards reinforced concrete structures performance is motivated by the security of the building users, the financial investment of its creation and the environmental sustainability, considering the waste generated in a buildings construction and demolition. Therefore, the technical standards present basical premises to guarantee durability, which is a requirement imposed by NBR 15575 (ABNT, 2013) in Brazil. However, it is relevant to note that are a variability between the stipulated requirements in international standards and the existing on the brazilian scenery. Thus, this article aims to present a comparative analysis between the national and international requirements relative to the concrete scrutures composition, the definitions of environmental aggressiveness class and other durability requirements. It consists, therefore, on a theoretical framework that aims the existing requirements on these distinct documents with a critical analysis based on the structures deteorioration.
Keywords: reinforced concrete structures, durability, standardization, technical standards.

1. INTRODUÇÃO

A produção do concreto em centrais dosadoras apresentou crescimento de 180% entre os anos de 2005 e 2012, no Brasil (ABCP, 2013). Mehta e Monteiro (2014) afirmam que o consumo mundial em 2014 foi da ordem de 19 bilhões de toneladas. Por seu elevado consumo, faz-se necessário o conhecimento, avaliação e classificação de sua durabilidade, uma vez que a vida útil do material influencia na geração de resíduos e nas condições seguras e economicamente viáveis de uso das construções. A durabilidade é a vida útil de um material em seu ambiente de exposição (MEHTA; MONTEIRO, 2014). A análise dos danos e de redução precoce de vida útil deve considerar períodos e ambientes de exposição (GJØRV, 2014), tecnologias construtivas, materiais e conhecimento dos profissionais, o que dificulta esta análise. Entre as razões de busca da durabilidade das estruturas tem-se os gastos elevados com a reabilitação, reparos, reforço e reposição de elementos estruturais (BASHEER; KROPP; CLELAND, 2001) e o potencial de poluição da indústria do cimento (WBCSD, 2012). De Schutter (2015) aponta a degradação precoce do concreto como um dano severo ao ambiente.

Para que as estruturas possam ser dimensionadas corretamente, de forma coerente e segura, é de grande importância o conhecimento sobre as normas vigentes e suas recomendações. As normas brasileiras que trazem requisitos de durabilidade na construção civil – NBR 6118 (ABNT, 2014), NBR 8681 (ABNT, 2003), NBR 12655 (ABNT, 2015) e NBR 15575-1 (ABNT, 2013) – enfocam a deterioração das estruturas de concreto e dos sistemas construtivos, se alinhando às principais normas internacionais. Em esfera internacional, destacam-se documentos como os códigos de dimensionamento de estruturas da Fédération internationale du béton (FIB) do Comité Euro-international du Betón (CEB) CEB 183 (FIB, 1992) e CEB 238 (FIB,1997); os Eurocodes 1 (EN 1991-1-1:2002) e 2 (EN 1992-1-2:2004); as recomendações do American Concrete Institute (ACI), ACI 201 (ACI, 2008) e 318 (ACI, 2014); e os documentos da American Society for Testing and Materials (ASTM), E-632 (ASTM, 1996). As exigências apresentadas refletem as atuais premissas do setor, que se voltam ao desenvolvimento de edificações com garantia de segurança, qualidade e durabilidade. Visando a forma como estas normas tratam e a diferença entre suas exigências à durabilidade de estruturas de concreto, este trabalho propõe uma análise comparativa entre os requisitos nacionais e internacionais frente as premissas de projeto das estruturas de concreto.

2. MÉTODO

O método deste trabalho trata-se de uma pesquisa bibliográfica, por consulta e coleta de informações das principais normas vigentes que trazem requisitos de durabilidade do concreto. Esta busca foi realizada considerando os documentos de maior relevância e aplicação na construção civil, no Brasil e em outros países de referência na área. Foram analisadas normas brasileiras, européias, americanas, australianas e indianas, em suas versões vigentes no ano de 2017. O entendimento destes documentos possibilita visualizar a diferença entre os requisitos exigidos por cada norma. Posteriormente, realizou-se análise comparativa entre os requisitos de durabilidade do concreto exigido por cada norma. Para tal, foram elaboradas tabelas para ilustrar e quantificar comparativamente os resultados observados na pesquisa, possibilitando uma visão frente a cada recomendação.

3. RESULTADOS

3.1 Avaliação da durabilidade em normas brasileiras

A NBR 15575-1: Edificações Habitacionais – Desempenho (ABNT, 2013) trouxe, de forma inédita no sistema normativo brasileiro, níveis de durabilidade a serem atingidos pelos sistemas que compõem uma edificação (Tabela 1). Esta norma conceitua a durabilidade como “a capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas no manual de uso, operação e manutenção”, apontando, períodos mínimos de vida útil dos sistemas e maior clareza na definição dos responsáveis pelo projeto, construção e manutenção da edificação. Ainda que a NBR 15575 (ABNT, 2013) seja a principal norma a abordar a durabilidade das estruturas de concreto, existem outros documentos complementares. A NBR 12655 - Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento (ABNT, 2015), apresenta o consumo de cimento mínimo dos concretos, frente às classes de agressividade estipuladas pela NBR 6118 (ABNT,

2014), apontando ainda requisitos para os concretos em condições especiais de exposição, conforme Tabela 2.

Cabe à NBR 8953 - Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência (ABNT, 2015) - informar as classes mínimas de resistência do concreto para concreto armado e protendido nas diferentes classes de agressividade, conforme Tabela 3.

Tabela 1 - Requisitos de durabilidade impostos pela ABNT NBR 15575:2013

Parte da edificação	Exemplos	VUP (anos)		
		Mínimo	Intermediário	Superior
Estrutura principal	Fundações, elementos estruturais (pilares, vigas, lajes e outros), paredes estruturais, estruturas periféricas, contenções e arrimos	≥50	≥63	≥75
Estruturas auxiliares	Muros divisórios, estruturas de escadas externas	≥20	≥25	≥30
Vedação externa	Paredes de vedação externas, painéis de fachada, fachadas-cortina	≥40	≥50	≥60
Vedação interna	Paredes e divisórias leves internas, escadas internas, guarda-corpos	≥20	≥25	≥30
Piso externo	Pétreo, cimentados de concreto e cerâmico	≥13	≥17	≥20

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013). Editado pelo autor: mantidas as estruturas de possível execução em concreto armado

Tabela 2 - Condições especiais de exposição e requisitos da ABNT NBR 12655:2015

Condições de exposição	Máxima relação água/cimento em massa, para concreto com agregado normal	Mínimo valor de fck (para concreto com agregado normal ou leve) MPa
Condições em que é necessário um concreto de baixa permeabilidade à água, por exemplo, em caixas d'água	0,5	35
Exposição a processos de congelamento e descongelamento em condições de umidade ou a agentes químicos de degelo	0,45	40
Exposição a cloreto provenientes de agentes químicos de degelo, sais, água salgada, água do mar, respingos ou borrifação desses agentes	0,45	40

Fonte: NBR 12655 (ABNT, 2015).

Tabela 3 - Valores estipulados de classe de concreto para as classes de agressividade

Concreto	Tipo de concreto	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Classe de concreto	CA	≥C20	≥C25	≥C30	≥C40
	CP	≥C25	≥C30	≥C35	≥C40

Fonte: NBR 8953 (ABNT, 2015).

Destaca-se ainda que, a NBR 6118 (ABNT, 2014) traz as principais especificações técnicas para o concreto, incluindo requisitos como a relação água/cimento máxima e os valores mínimos de cobrimento nominal de armaduras, sem que seja estabelecido de forma explícita os períodos de vida útil das estruturas especificadas por estes documentos. Tanesi, Silva e Gomes (2012) informam que esta norma em sua versão do ano de 2003 apresenta caráter generalista, como a máxima relação água/cimento, resistência mecânica à compressão mínima e cobrimento necessário às armaduras. Ao analisar versões posteriores da norma (2007 e 2014), observa-se a permanência dos mesmos valores nos parâmetros de especificação, mesmo após a publicação da Norma de Desempenho. Quanto à NBR 8681 (ABNT, 2004), mesmo sem abranger durabilidade, aponta o período de vida útil estabelecido de 50 anos para o retorno das ações previstas em edificações, o que pode ser um indício da consideração de vida útil mínima das edificações.

3.2 Avaliação de durabilidade em normas internacionais

Assim como a norma brasileira, na medida em que foram realizados estudos relevantes acerca das propriedades do concreto e seus componentes, as normas internacionais evoluíram na especificação dos concretos de modo a garantir durabilidade. A AS 3600 - Australian Standard - Concrete Structures (AS, 2009) - apresenta o conceito de estruturas duráveis como, “aquelas que resistem às condições de desgaste e deterioração ao longo da vida útil sem a necessidade excessiva de manutenção”. Este conceito é semelhante ao que apresenta a EN 1992-1 - Eurocode 2, Design of concrete structures - Part 1: general rules and rules for buldings (EN, 2004) - “estruturas que devem satisfazer os requisitos de resistência, manutenção e estabilidade durante a vida útil, sem a perda das condições de uso ou necessidade de manutenção excessiva não prevista em projeto”. Para a IS 456 - Indian Standard - Plain and reinforced concrete - Code of practice (IS, 2000) um concreto durável é aquele que “mantém de forma satisfatória em seu ambiente e condições previstas sua função durante a vida útil de exposição”, sabendo-se que “deve ser mantida a integridade e, se aplicável, a proteção das barras de aço imersas no concreto contra a corrosão”. A ACI 318 (ACI, 2014) apresentou, desde sua versão de 1989, um maior enfoque na necessidade de considerar a durabilidade para determinação dos valores de resistência à compressão do concreto e cobrimento das armaduras.

As principais normas internacionais apresentam, no que tange à durabilidade, a descrição de ambientes agressivos às estruturas e a relação com parâmetros mínimos e máximos de especificação das estruturas de concreto (AS 3600, 2009; IS 456, 2000; EN 206-1, 2013; ACI 318, 2014). Cabe destacar que estes ambientes baseiam-se nos agentes de deterioração predominantes no local de análise. ABS 8500 (ABS, 2015), complementar a EN 1992-1 (EN, 2004) e a EN 206-1 (EN, 2013), apresenta os requisitos necessários para o alcance dos períodos de vida útil de 50 e 100 anos. Apresenta, ainda, os valores mínimos de consumo de cimento para respectiva relação água/cimento. Para as distintas classes de agressividade, percebe-se possibilidade de arbitragem de valores de resistência à compressão, e de relação água/cimento, sendo estas variáveis em relação ao tamanho de agregado.

Segundo Bebby e Narayanan (2005) ainda na década de 70, foram percebidos, em diversos países, inúmeros danos nas construções, como a corrosão em ambientes marinhos, redução na resistência, deterioração causada pela reação álcali-sílica, entre outros. Diante destas constatações de desempenho não satisfatório, a atenção internacional se voltou nos anos 80 para pesquisas acerca da durabilidade das estruturas, embasando as normas técnicas com novos requisitos e recomendações. Essa preocupação tardia com a durabilidade acarretou em impactos financeiros consideráveis para reparo, recuperação e substituição de estruturas de concreto armado. Ainda nesse contexto, Dyer (2014) aponta que mesmo com as especificações presentes em norma a tarefa de definição das estruturas de concreto é trabalhosa, dado que os requisitos de durabilidade impostos podem entrar em conflito com os de caráter estrutural e com a estética da edificação. Nganga, Alexander e Beshausen (2015) expõem limitações às prescrições de norma: dificuldade de controle da relação água/cimento e do teor de cimento in loco; o fato de que os valores de consumo de cimento foram especificados por testes prévios; a dificuldade de se ter a resistência à compressão como medida de controle, tendo em vista a diferença entre as condições de cura e tratamento do concreto moldado in loco e em laboratório.

3.3 Parâmetros de avaliação de normas nacionais e internacionais

3.3.1 Zona de agressividade

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), a agressividade do meio está relacionada às ações físicas e químicas, independentemente das ações mecânicas, variações volumétricas de origem térmica, de retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas. A agressividade é definida diante de parâmetros como temperatura, umidade, pressão atmosférica, concentração de agentes de deterioração, entre outros. Vilasboas e Machado (2010) afirmam que este termo é utilizado para classificar a potencial presença de substâncias que conduzem a processos oxidativos em estruturas de concreto armado, principalmente o dióxido de carbono e cloretos. A NBR 6118 (ABNT, 2014) traza consideração de classes de agressividade em função de fatores como temperatura, geometria da peça e tempo de cura do elemento anterior ao início da degradação. A norma, porém, definiu a classificação de forma mais simples do que propuseram os estudos, o que resultou em algumas lacunas na definição das diferentes zonas de agressividade. As

classificações definidas pela NBR 6118 (ABNT, 2014) são: I (fraca) – para ambientes rurais ou submersos; II (moderada) – zonas urbanas, com pequeno risco de deterioração das estruturas; III (forte) – áreas marinhas ou industriais de menor potencial agressor; e IV (muito forte) – ambientes industriais ou sob respingos de maré, com elevado risco de deterioração. Ainda, a norma possibilita a redução da agressividade considerada para ambientes internos secos e para obras em regiões de clima seco, com umidade relativa do ar inferior a 65%, para partes de estrutura protegidas da ação de chuvas ou em regiões de rara ocorrência de precipitação.

Em 1983 foram definidas, no Dec. 4036 - Decreto Português sobre Betão Armado, (PORTUGAL,1918), três classes de agressividade: ambientes poucos agressivos: 2cm; moderadamente agressivos: 3cm; e muito agressivos: 4cm. Na Europa, estes requisitos mantiveram-se até início dos anos 2000, sendo detalhados no Eurocode 2 (EN 1992-1-1, 2004) e na EN 206-1 (EN, 2013), com classes mais específicas e considerações frente ao tipo de agressão.

As classes de agressividades são definidas pela EN 1992-1 (EN, 2004) como a consideração das características físicas e químicas a que a estrutura está exposta, somando-se às ações mecânicas que as desgastam. A parametrização das classes de agressividade é oriunda da EN 206-1 (EN, 2013), com a divisão nas classes: X0 – estruturas sem riscos de corrosão ou ataque; XC – riscos de corrosão por carbonatação; XD – perigo de corrosão por íons cloretos; XS – ameaça de corrosão por íons cloretos em ambiente marinho; XF – zonas de gelo e degelo das estruturas; e XA – risco de ataque químico. De forma semelhante, a ACI 318 (ACI, 2014) apresenta, com categorias e classes, o grau de severidade ambiental para as estruturas de concreto. Estas classes indicam as seguintes categorias: F –submetidas a gelo e degelo; S –sujeitas à ação de sulfatos presentes na água ou no solo; P – elementos que requeiram baixa permeabilidade; e C – de partes cuja proteção à corrosão se faz necessária.

A norma australiana AS 3600 (AS, 2009) classifica a exposição do concreto nas escalas A1, A2, B1, B2 e C, informando os requisitos mínimos de resistência à compressão e de cobrimento das armaduras para os concretos inseridos nestes ambientes. Analogamente, a Indian Standard IS 456 (IS, 2000) classifica a localização das estruturas em ambientes de agressão suave, moderada, severa, muito severa e extrema, apontando os valores máximos de relação água/cimento e mínimos de consumo de cimento e resistência mecânica à compressão para compor estruturas duráveis sob as condições de ataque. A Tabela 4 apresenta síntese contendo a nomenclatura das classes de agressividade (CA) e exemplos de estruturas descritos nas normas internacionais supracitadas.

Tabela 4 - Classes de agressividade admitidas pelas normas nacionais e internacionais (continua)

NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 6118:2014	
CA	Exemplos de meio de inserção da estrutura
I	Estruturas em ambientes rurais ou submersos, com reduzida presença de agentes agressores
II	Estruturas em zonas urbanas, com pequeno risco de deterioração das estruturas
III	Edificações construídas em zona marinha ou área industrial de menor potencial agressor, como mecânica, laticínios e alimentícia
IV	Edificações inseridas em ambiente sob respingos de maré ou área industrial de ambientes quimicamente agressivos, como tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústria de celulose e papel, armazéns de fertilizantes e indústrias químicas

NORMA EUROPÉIA EN 206-1:2013			
CA	Exemplos de meio de inserção da estrutura	CA	Exemplos de meio de inserção da estrutura
X0	Concreto simples, em todas exposições exceto ataque químico e ciclos de gelo e degelo. Concreto armado com condição de exposição muito seca.	XS2	Estruturas permanentemente submersas em água marinha
XC1	Concreto permanentemente submerso ou dentro de edificações.	XS3	Área de respingos, maré e névoa salina
XC2	Concreto submetido a ação duradoura das águas (fundações)	XF1	Estruturas de concreto verticais expostas à ação da chuva e congelamento
XC3	Concreto externo, porém, ao abrigo das chuvas, concreto interno com umidade do ar moderada ou alta	XF2	Superfícies de concreto ou estradas de concreto sujeitas ao congelamento e agentes de degelo
XC4	Concreto exposto a ciclos de molhagem e secagem	XF3	Estruturas de concreto horizontais expostas à ação da chuva e congelamento

XD1	Concretos expostos a cloretos no ar	XF4	Estruturas submetidas à zona de névoa salina, estradas e pontes sujeitas à ação de degelo.
XD2	Concreto exposto a águas industriais contendo cloretos	XA1	Ambiente levemente agressivo quimicamente
XD3	Ciclos de molhagem e secagem ou expostos a névoas contendo cloretos.	XA2	Ambiente moderadamente agressivo quimicamente
XS1	Estruturas próximas a zona de névoa salina	XA3	Ambiente altamente agressivo quimicamente

ACI 318:2014				
CA	Exemplos de meio de inserção da estrutura	CA	Exemplos de meio de inserção da estrutura	
F0	Concreto não exposto às condições de gelo e degelo	-	Sulfatos solúveis em água (SO_4), no solo, (% em massa)	Sulfatos dissolvido (SO_4) na água, ppm.

Tabela 4 - Classes de agressividade admitidas pelas normas nacionais e internacionais (conclusão)

F1	Concreto exposto a ciclos de gelo e degelo e ocasionalmente exposto à umidade	S0	$SO_4 < 0,10$	$SO_4 < 150$
F2	Concreto exposto à ciclos de gelo e degelo e constantemente exposto à umidade	S1	$0,10 < SO_4 < 0,20$	$150 < SO_4 < 1500$ (água oceânica)
F3	Concreto exposto à ciclos de gelo e degelo e constantemente exposto à umidade e a produtos químicos de degelo	S2	$0,20 < SO_4 < 2,00$	$1500 < SO_4 < 10000$
C0	Concreto seco ou protegido da umidade	S3	$SO_4 > 2,00$	$SO_4 > 10000$
C1	Concreto exposto a umidade, mas não a fontes externas de cloretos	P0	Estruturas em contato com a água onde não se faz necessária baixa permeabilidade	
C2	Concreto exposto a umidade e fonte externa de cloretos de químicos de degelo, sal, águas marinhas, névoa salina, respindos de maré	P1	Estruturas em contato com a água onde se faz necessária baixa permeabilidade	

NORMA AUSTRALIANA AS 3600:2009	
CA	Exemplos de meio de inserção da estrutura
A1	Estruturas internas, nas zonas de clima árido e em zonas não industriais, imersas em solo não agressivo
A2	Estruturas em zonas não industriais e de clima temperado
B1	Estruturas sujeitas à ciclos de molhagem e secagem, em zona não estrutural e clima tropical, ou ainda, em zonas industriais de qualquer zona climática e estruturas próximas à costa marinha (1 a 50km de distância)
B2	Estruturas permanentemente submersas, estruturas afastadas em até 1km da costa marinha
C	Estruturas em zonas de respingos ou névoa salina

NORMA INDIANA IS 456:2000	
CA	Exemplos de meio de inserção da estrutura
Suave	Concretos protegidos das ações climáticas e agentes deletérios, exceto os presentes na zona costeira
Moderada	Concretos expostos à ação da chuva e condensação, em contato com solo não agressivo e lençóis freáticos, permanentemente submerso e protegido das ações da névoa salina
Severa	Estruturas expostas a condições severas de chuva, ciclos de molhagem e secagem ou ciclos de gelo e degelo e condições extremas de condensação. Estruturas submersas em água oceânica.
Muito severa	Concretos em contato ou submersos em solos agressivos, fumaças corrosivas, expostos à ação de névoa salina ou severas condições de gelo.
Extrema	Estruturas expostas a zonas de marés ou químicos agressivos

É possível perceber certa semelhança entre a norma brasileira (ABNT NBR 6118:2014) ,a norma indiana (IS 456:2000) e australiana (AS 3600:2009) em termos de zonas de agressividade, abrangendo o nível de ataque da classe mais ameno a mais intenso, sem especificação detalhada dos agentes de deterioração, opondo-se às normas européia e americana. Ainda, percebe-se uma afinidade entre estes dois documentos – EN 206-1:2013 e ACI 318:2014, respectivamente – , que classificam as zonas de agressividade de maneira mais aprofundada em relação a seus agentes deletérios. De forma global, denota-se a classificação das zonas de névoa salina ou respingos de maré como agressão intensa e a avaliação das zonas industriais como de possível ataque através de agentes químicos.

3.3.3 Resistência mecânica à compressão

A resistência mecânica à compressão consiste em um parâmetro fundamental de dimensionamento de estruturas de concreto armado. Conforme Andrade e Tutikian (2011), a resistência mecânica à compressão é a capacidade do material suportar as cargas aplicadas sobre ele, sem que entre em ruína. Influenciando no transporte de substâncias no concreto e caminhos para deterioração das estruturas. Em relação aos

valores das normas, a NBR 6118 (ABNT, 2014) apresenta valores mínimos de resistência mecânica à compressão de acordo com a classe de agressividade do ambiente, assim como a AS 3600 (AS, 2009), IS 456 (AS, 2000), ACI-318 (ACI, 2014) e EN 1992-1 (EN, 2004). Estes valores especificados estão resumidos e comparados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores mínimos de resistência à compressão das normas nacionais e internacionais

ABNT NBR 6118		AS 3600		IS 456		EN 1992-1		ACI-318*	
Classe de agressão	fcj mínimo (MPa)	Classe de agressão	fcj mínimo (MPa)	Classe de agressão	fcj mínimo (MPa)	Classe de agressão	Resistência à compressão (MPa)**	Classe de agressão	fcj mínimo (MPa)
I	20	A1	20	Suave	20	X0	≥ 25/30	F0	17,2
II	25	A2	25	Moderada	25	XC1	≥ 25/30	F1	31
III	30	B1	32	Severa	30	XC2/XC3	≥ 30/37	F2	31
IV	40	B2	40	Muito severa	35	XC4	≥ 35/45	F3	31
		C	50	Extrema	40	XD1	≥ 35/45	S0	27,6
						XD2/XS1	≥ 35/45	S1/S2/S3	31
						XD3/XS2/XS3	≥ 40/50	P0	17,2
								P1	27,6
								C0/ C1	17,2
								C2	34,5

*São expostos critérios específicos para lajes, situações com controle tecnológico do concreto e dimensionamento para 100 anos de vida útil; **Considera-se o primeiro valor para ensaios de compressão em amostras cilíndricas e o segundo para amostras prismáticas.

Observa-se que as classes mais severas de agressividade exigem estruturas de concreto armado com maior resistência à compressão, dada a relação de resistência mecânica e vida útil das estruturas. Cabe destacar que as exigências impostas pela EN 1992-1 (EN, 2004) são ainda complementadas pela EN 206 (EN, 2013). Esta norma se assemelha, em termos de escopo, à norma brasileira NBR 12655 (ABNT, 2015), indicando os requisitos de especificação, desempenho, recebimento e controle do concreto empregado, expondo os valores de resistência à compressão conforme indicado na Tabela 6. É pertinente salientar que ambas as normas expõem, que a especificação é alusiva ao período de vida útil de 50 anos.

Tabela 6 - Valores exigidos de resistência à compressão segundo a EN 206:2013

Classe de agressão	fcj mínimo (MPa)*	Classe de agressão	fcj mínimo (MPa)*
X0	12/15	XD 1	30/37
XC 1	20/25	XD 2	30/37
XC 2	25/30	XD 3	35/45
XC 3	30/37	XF 1	30/37
XC 4	30/37	XF 2	25/30
XS 1	30/37	XF 3	30/37
XS 2	35/45	XF 4	30/37
XS 3	35/45	XA 1	30/37
		XA 2	30/37
		XA 3	35/45

*Considera-se o primeiro valor para ensaios de compressão em amostras cilíndricas e o segundo para amostras prismáticas.

Observa-se que a NBR 6118 (ABNT, 2014) apresenta valores de resistência à compressão mínima que se assemelham ao exigido pelas normas australiana e indiana, assim como as zonas de agressividade. Entre as normas, destaca-se o menor valor permitido de resistência à compressão no documento americano, de 17,2 MPa, exigindo também valores reduzidos em comparação aos demais documentos nas outras classes de agressividade equivalentes. Ainda, apresenta a flexibilidade para adotar classes mais brandas, como para lajes e situações com garantia de controle tecnológico do concreto, e mais agressiva, para vida útil de 100 anos. Observa-se nos documentos europeus, que os valores da EN 1992-1 (EN, 2004) são mais rigorosos que os da EN 206 (EN, 2013), em termos de agressividade. Os requisitos da EN 1992-1 (EN, 2004) são referentes as estruturas e os da EN 206 (EN, 2013) são do controle tecnológico do concreto.

3.3.4 Consumo de cimento

No que tange à abordagem do teor mínimo de cimento nas estruturas de concreto, a norma indiana IS 456 (IS, 2000) e a norma européia EN 206-1 (EN, 2013) apresentam os valores expostos de modo comparativo com o recomendado pela NBR 12655 (ABNT, 2015), conforme a Tabela 7.

Tabela 7 - Valores mínimos de consumo de cimento das normas brasileira, indiana e européia

ABNT NBR 6118:2014		IS 456:2000			EN 206-1:2013	
Classe de agressividade	Consumo mínimo de cimento (kg/m³)	Classe de agressividade	Consumo mínimo de cimento (kg/m³)		Classes de agressividade	Consumo mínimo de cimento(kg/m³)
			CS	CA		
I	260	Suave	220	300	XC1	260
II	280	Moderada	240	300	XC2 e XC3	280
III	320	Severa	250	320	XC4, XS1, XD1, XD2, XF1, XF2 e XA1	300
IV	360	Muito severa	260	340	XS2, XD3, XF3 e XA2	320
		Extrema	280	360	XS3 e XF4	340
					XA3	360

A partir da Tabela 7, observa-se a similaridade entre as distintas normas, à exceção de certos pontos na norma indiana, que estipula alguns consumos de cimento elevados, como para a agressão suave de 300kg/m³. Ainda, especifica valores diferenciados para concreto simples e concreto armado, diferentes das normas brasileira e européia. Nos requisitos impostos pela AS 3600 (AS, 2009), não constam valores mínimos de consumo de cimento, apenas o valor mínimo de 470kg/m³ quando a agressividade do local de inserção da estrutura for “C” – (zonas de respingos ou névoa salina), equivalente à classe IV da norma brasileira.

3.3.5 Cobrimento das armaduras

A norma brasileira faz menção aos valores mínimos de espessura de cobrimento das armaduras em função da classe de agressividade, do tipo de concreto (armado ou protendido) e da peça a ser confeccionada, conforme Tabela 8. Analogamente, as normas australiana e européia apresentam prescrições sobre os valores mínimos de cobrimento das armaduras de acordo com a classe de agressividade ambiental, conforme apresenta-se nas Tabelas 9 e 10, respectivamente.

Tabela 8 - Cobrimento nominal das armaduras, segundo a ABNT NBR 6118:2014

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental			
		I	II	III	IV
		Cobrimento nominal (mm)			
Concreto armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo	30		40	50
Concreto protendido	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

a Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado. b Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15mm. c Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV. d No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45mm.

Fonte: NBR 6118 (ABNT, 2014)

Tabela 9 - Valores mínimos de cobrimento das armaduras segundo a norma australiana AS 3600:2009

Classe de agressividade	Cobrimento nominal (mm)				
	Resistência mecânica à compressão (MPa)				
	20	25	32	40	≥50
A1	20	20	20	20	20

A2	(50)	30	25	20	20
B1	-	(60)	40	30	25
B2	-	-	(65)	45	35
C	-	-	-	(70)	50

Fonte: AS 3600 (AS, 2009)

Os valores apresentados entre parênteses são alusivos ao item 4.3.2 da referida norma, que permite o uso de concretos de menor resistência à compressão quando apenas uma face do elemento estrutural está exposta ao ambiente natural.

Tabela 10 - Valores mínimos de cobrimento das armaduras segundo a norma européia EN- 1992-1:2004

Classe estrutural	Cobrimento efetivo (mm), sem considerar o Δc de 10mm						
	Classe de exposição						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

Fonte: EN 1992-1 (EN, 2004)

As normas australiana e européia especificam o cobrimento mínimo de acordo com a classe de agressividade e resistência mecânica, sendo uma especificação mais aprofundada em relação à norma brasileira, com uma maior flexibilidade de especificação do cobrimento, não relacionando apenas um valor fixo de resistência à compressão. Assim como a NBR 6118 (ABNT, 2014), a EN 1992-1 (EN, 2004) aponta situações em que a tolerância de execução dos cobrimentos pode ser minorada como, por exemplo, em concretos com proteções especiais ou com armadura de aço inoxidável. De forma semelhante ao especificado pela norma brasileira, a IS 456 (IS, 2000) apresenta um valor de cobrimento nominal das armaduras relacionado a cada classe de agressividade, sem a possibilidade de distintos valores de resistência à compressão (Tabela 11). A ACI-318 (ACI, 2014) especifica de forma levemente distinta o cobrimento mínimo das armaduras, em relação às demais normas. Destaca-se a separação conforme o tipo de concreto sendo exposto ou não às intempéries e em contato com o solo, conforme Tabela 12. Os valores de medida não usuais justificam-se pela conversão da unidade dimensional americana (polegadas).

Tabela 11 - Valores mínimos de cobrimento das armaduras de acordo com a IS 456:2000

Classe de exposição	Cobrimento nominal das armaduras (mm)
Suave	20
Moderado	30
Severo	45
Muito severo	50
Extremo	75

Nota: Para armaduras de diâmetro superior a 12 mm e condição suave de exposição, o cobrimento nominal pode ser reduzido em 5 mm. A não ser que especificado em projeto, o cobrimento efetivo não pode diferenciar-se do nominal mais de 10 mm. Para as condições de exposição severa e muito severa, é permitida a redução de 5 mm do cobrimento nominal quando o concreto utilizado apresenta resistência à compressão de 35 MPa ou superior.

Fonte: IS 456 (IS, 2000)

Tabela 12 - Valores recomendados de cobrimento nominal das armaduras de acordo com a ACI-318:2014

Condição de exposição das estruturas			Cobrimento nominal das armaduras (mm)
Estruturas de concreto em contato com o solo		Espessura das barras (mm)	76,2
Concreto em contato com solo ou intempéries	nº6 e nº18	19,05 e 57,33	50,8
	Nº5, w31 ou inferiores	15,88 e 15,95	25,4- 12,7
Concreto não exposto às intempéries ou em contato com o solo	Barras nº 14 e 18	43 e 57,33	25,4- 12,7
	Barras nº11 ou inferiores	35,8 ou inferiores	19,05

A norma expõe ainda as condições especiais para estruturas protendidas e segurança contra incêndio. O Eurocode 2 (EN 1992-1-1:2004) afirma que a densidade, a qualidade e a espessura do concreto são fatores de influência direta para promover a proteção ao aço. - Apresentando que tais características de densidade e qualidade adequada são obtidas através de um controle nos valores empregados de relação água/cimento e consumo de cimento, evidenciando a relação entre as variáveis de estudo deste trabalho.

3.3.6 Relação água/cimento

A necessidade das normas nacionais e internacionais estabelecerem valores máximos de relação água/cimento se dá pelo fato de o excesso de água na mistura poder conduzir à formação de poros capilares de difusão e de transporte de substâncias (SANJUAN; MUÑOZ-MARTIALAY, 1996), sendo que é através dos poros que se têm a entrada de agentes deletérios aos concretos. A Tabela 13 apresenta os valores máximos de relação água/cimento apresentados pela NBR 6118 (ABNT, 2014). De modo análogo, a Tabela 14 apresenta as especificações da norma americana ACI-318 (ACI, 2014).

Tabela 13 - Valores máximos de relação água/cimento segundo a ABNT NBR 6118:2014

Classe de agressividade ambiental	Máxima relação água/cimento
I	0,65
II	0,6
III	55
IV	0,45

Tabela 14 - Valores máximos de relação água/cimento estabelecidos pela ACI-318:2014

Classe de agressividade	Máxima relação água/cimento	Classe de agressividade	Máxima relação água/cimento
F0	N/A	S3	0,45
F1	0,45	P0	N/A
F2	0,45	P1	0,5
F3	0,45	C0	N/A
S0	N/A	C1	N/A
S1	0,5	C2	0,4
S2	0,45	-	-

É possível observar valores superiores de relação água/cimento permitidos pela norma brasileira, conforme Tanesi, Silva e Gomes (2012). A EN 206 (EN, 2013) especifica os valores máximos de relação água/cimento (Tabela 15). Os valores se assemelham aos apresentados pela NBR 6118 (ABNT, 2014), em todas as faixas. A AS 3600 (AS, 2009) não apresenta valores para relação água/cimento.

Tabela 15 - Valores máximos de relação água/cimento segundo a EN 206:2013

Classe de agressão	Máxima relação a/c	Classe de agressão	Máxima relação a/c
X0	-	XD 1	0,55
XC 1	0,65	XD 2	0,55
XC 2	0,60	XD 3	0,45
XC 3	0,55	XF 1	0,55
XC 4	0,50	XF 2	0,55
XS 1	0,50	XF 3	0,50
XS 2	0,45	XF 4	0,45
XS 3	0,45	XA 1	0,55
-	-	XA 2	0,50
-	-	XA 3	0,45

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise comparativa das premissas de durabilidade, é possível estabelecer as diferenças e semelhanças entre estas normas. Primeiramente, percebe-se um certo seguimento dos padrões internacionais no Brasil, . A diferença, de forma global, é relativamente baixa, o que pode ser justificado pela utilização do concreto em larga escala no Brasil, o colocando também como um dos países referência na normatização e requisitos normativos do material. Em relação à ciência do concreto, e portanto à

durabilidade, os resultados da análise comparativa apresentam uma simplificação considerável dos requisitos de durabilidade quando comparado a outros documentos, como de países da Europa e Estados Unidos, principalmente. Percebe-se isto pelo fato de a especificação das classes de agressividades ambientais da NBR 6118 (ABNT, 2014) ser feita de forma bastante sucinta em relação a todas as outras normas analisadas. Sendo a classe de agressividade ambiental um dos parâmetros fundamentais para a definição dos requisitos de durabilidade, há uma simplificação de forma clara neste requisito.

Em relação à resistência à compressão, consumo de cimento, cobrimento das armaduras e relação água/cimento, percebe-se que a norma brasileira adota todos estes parâmetros para garantia da durabilidade das estruturas de concreto, sendo mais detalhada nesta questão em relação a algumas normas internacionais. Além disso, percebe-se uma relação bastante aceitável entre os valores mínimos e máximos requisitados pela norma brasileira em relação as normas internacionais, embora de forma mais simplificada devido ao menor número de classes de agressividade adotadas. Desta forma, é possível considerar que no Brasil, embora inicialmente a norma aparente ser mais simplificada, isto não compromete a garantia dos requisitos de durabilidade em relação aos demais países de referência na área. A norma, inclusive, favorece a segurança ao apresentar menor flexibilização dos requisitos por conta do baixo número de classes de agressividade admitidos – o que pode ser positivo levando em conta a vida útil dos materiais, porém negativo do ponto de vista econômico, que poderia ser otimizado em caso de maior aprofundamento.

5. REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 201.2R-08**: Guide to Durable Concrete. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2008. 49 p.

_____. **ACI 318-14**: Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2014. 520 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E632-82**: Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials. West Conshohocken: ASTM International, 1996. 6 p.

ANDRADE, J. J. O.; TUTIKIAN, B. F. Resistência mecânica do concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo:IBRACON, 2011.Cap.17.p. 615-651.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). **Pesquisa inédita e exclusiva revela cenário do mercado brasileiro de concreto.** 2013. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/cms/imprensa/noticias/pesquisa-inedita-e-exclusiva-revela-cenario-do-mercado-brasileiro-de-concreto.Acesso:nov, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003. 18 p.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013. 71 p.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014. 238 p.

_____. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais - Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015. 3 p.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015. 23 p.

AUSTRALIAN STANDARD. **AS 3600**: Concrete structures. Sydney: Standards Australia Limited, 2009.

BASHEER, L.; KROPP, J.; CLELAND, D. J. Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: a review. **Construction and building materials**, v. 15, n. 2, p. 93-103, 2001.

BEUSHAUSEN, H. Introduction. In: BEUSHAUSEN, Hans; LUCO, Luis Fernandez. **Performance-Based Specifications and Control of Concrete Durability**. Netherlands: Springer Netherlands, 2016. p. 1-7.

BRITISH STANDARDS. **BS 8500-1**: Concrete. Complementary British Standard to BS EN 206. Method of specifying and guidance for the specifier. British Standards Institution, 2015.

BUREAU OF INDIAN STANDARDS**. IS 456**: Plain and Reinforced Concrete - Code of Practice. New Delhi: Bureau Of Indian Standards, 2000.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON. **CEB 183**: Durable concrete structures. Lausanne: Thomas Telford Ltd, 1992. 120 p.

_____. **CEB 238**: New Approach to Durability Design - An example for carbonation induced corrosion. Lausanne: Thomas Telford Ltd, 1997. 152 p.

DE SCHUTTER, G. No concrete is sustainable without being durable!. In: XIII International Conference on Durability of Building Materials and Components (XIII DBMC), 2014, São Paulo. **Proceedings of XIII International Conference on Durability of Building Materials and Components**. 2015. p. 38-44.

DYER, T. **Concrete Durability**. Boca Raton: CRC Press, 2014. 447 p.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1991-1-1**: Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings. Brussels: European Committee For Standardization, 2002.

_____. **EN 1992-1-2**: Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design. Brussels: European Committee For Standardization, 2004.

_____. **EN 206-1**: Concrete - Specification, performance, production and conformity. Brussels: European Committee For Standardization, 2013.

GJØRV, O. E. **Durability Design of Concrete Structures in Severe Environments**. 2. ed. Boca Raton: Crc Press, 2014.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2014. 782 p.

NGANGA, G. W.; ALEXANDER; M.G.; BEUSHAUSEN, H.D. Quality control of reinforced concrete structures for durability. In: XIII International Conference on Durability of Building Materials and Components (XIII DBMC), 2014, São Paulo. **Proceedings of XIII International Conference on Durability of Building Materials and Components**. 2015. p. 1006-1014.

SANJUAN, M. A.; MUÑOZ-MARTIALAY, R. Influence of the water/cement ratio on the air permeability of concrete. **Journal of materials science**, v. 31, n. 11, p. 2829-2832, 1996.

TANESI, J; DA SILVA, M.G; GOMES, V. Guidelines for the development of concrete performance-based specifications in Brazil. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 5, n. 2, p. 219-228, 2012.

World Bussiness Council for Sustainable Development- WBCSD (2012). **Iniciativa para a sustentabilidade do cimento (CSI)**.Disponível em: <http://www.wbcsd.org/home.aspx>. Acesso: novembro de 2017.