

Previsão de vida útil das estruturas de concreto com base nos parâmetros da NBR 6118:2014 utilizando softwares

Durability prediction of concrete structures based on NBR 6118:2014 parameters by softwares

Andressa Lucena Martins de Miranda (1) Irene de Azevedo Lima Joffily (2)

(1) Engenheira Civil, Graduada pelo UniCeub, dessalucenaster@gmail.com;
(2) Professora UniCeub e Diretora Virtus Soluções, irene@virtussolucoes.com.br;
C. A. S. Chác. 131 casa 05, Vicente Pires – Brasília, DF.

Resumo

A vida útil das estruturas de concreto armado depende do atendimento de uma série de requisitos de projeto, execução e manutenção. No entanto, este atendimento não é uma tarefa fácil, e nos últimos anos tem crescido o número de estudos para determinar a vida útil das estruturas de concreto armado, dessa forma foram criados alguns softwares com esse objetivo. Neste trabalho serão utilizados softwares disponíveis no mercado para estimar a vida útil de projeto das estruturas de concreto com base nas exigências mínimas presentes na norma ABNT NBR 6118:2014, e verificar se esses quesitos atendem a vida útil mínima de 50 anos. Além de utilizar os softwares para determinar os parâmetros de projeto para atender a vida útil mínima, intermediária e superior (50,63 e 75 anos respectivamente) de acordo com a norma ABNT NBR 15575:2013. Observou-se que os parâmetros mínimos contidos na ABNT NBR 6118:2014, de acordo com os softwares, não são suficientes para atender a vida útil de 50 anos. E que é preciso realizar diferentes combinações com tratamentos adicionais no aço e no concreto para obter a vida útil mínima, intermediária e superior.

Palavra-Chave: Vida útil, concreto armado, softwares.

Abstract

The service life of reinforced concrete structures depends on meeting a series of requirements of design, execution and maintenance. However, this service is not an easy task, and in recent years has increased the number of studies to determine the service life of reinforced concrete structures, thereby some software were created for this purpose. In this work, software available in the market are used to estimate the project service life of concrete structures based on the minimum requirements present in ABNT NBR 6118:2014, and verify that these requirements meet the minimum service life of 50 years. And also, the software will be used to determine the design parameters to meet the minimum, intermediate and superior service life (50, 63 and 75 years respectively) according to ABNT NBR 15575:2013. It was observed that the minimum parameters contained in the ABNT NBR 6118:2014 are not sufficient to meet the service life of 50 years. And it takes hold different combinations with additional treatments in steel and concrete to achieve the minimum, intermediate and superior service life.

Keywords: Service life, reinforced concrete, software.

1 Introdução

Devido aos problemas de degradação das estruturas de concreto armado e protendido nos últimos anos e a preocupação com a sua segurança, observa-se um crescimento nos estudos sobre a vida útil das estruturas.

Segundo a ABNT NBR 6118:2014, entende-se como vida útil de projeto o período de tempo em que se mantêm as características das estruturas de concreto, sem intervenções significativas, e que sejam atendidos os requisitos de uso, inspeção e manutenção estabelecidos pelo projetista e pelo construtor, além de realizar os reparos necessários resultantes de danos acidentais. Além disso, relaciona a agressividade do meio ambiente com as ações físicas e químicas que atuam sobre a estrutura de concreto, e são classificadas de I a IV, sendo I – Fraca; II – Moderada ; III- Forte e a IV- Muito Forte.

A durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto de cobertura da armadura. Por isso a ABNT NBR 6118:2014, estipulou os requisitos mínimos para concreto armado, apresentados a seguir na Tabela 1.

Tabela 1- Classe de agressividade ambiental, relação água/cimento, classe de concreto e cobertura para concreto armado. (ABNT NBR 6118:2014)

Classe de Agressividade Ambiental	Relação água/cimento a/c	Classe de concreto	Cobertura (mm)		
			Laje	Viga/Pilar	Elementos Estruturais em contato com solo
I	$\leq 0,65$	$\geq C20$	20	25	30
II	$\leq 0,60$	$\geq C25$	25	30	30
III	$\leq 0,55$	$\geq C30$	35	40	40
IV	$\leq 0,45$	$\geq C40$	45	50	50

Helene, em 1997, comentou que até então não constava, em nenhuma norma brasileira, a vida útil de projeto para estruturas de concreto. Mas, em princípio, parecia estar subentendido o prazo de 50 anos.

Atualmente, a norma ABNT NBR 15575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho, estabelece em sua tabela C.6, Vida útil de projeto para estruturas de concreto em mínimo, intermediário e superior, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Vida Útil de acordo com a tabela C.6 da 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

Os mecanismos preponderantes de deterioração das estruturas de concreto armado são àqueles relativos à armadura, pois são considerados os que têm maior influência sobre a vida útil e maiores prejuízos econômicos. Os principais agentes responsáveis pela degradação do aço são a carbonatação e consequente despassivação do aço e o ataque por íons cloreto (Cl⁻). Portanto, este trabalho utilizará softwares que utilizam modelos baseados nestes dois fenômenos para previsão de vida útil das estruturas de concreto armado.

O processo de carbonatação ocorre principalmente pela ação do dióxido de carbono (CO₂) que está presente na atmosfera, ao penetrar no concreto por meio de difusão, transforma o hidróxido de cálcio Ca(OH)₂ em carbonato de cálcio CaCO₃, ocasionando a redução do pH no concreto, que originalmente está entre 12,5 e 13,5, para valores inferiores a 9. No avanço da frente de carbonatação são constatadas três zonas distintas, uma não carbonatada, uma parcialmente carbonatada e uma carbonatada, com pH aproximadamente >12,5, 10 e 8,3 respectivamente, sendo que no último estágio a estrutura atinge sua vida útil de projeto (POSSAN, 2010).

Outro mecanismo de degradação das armaduras é a penetração de íons cloreto. Após o início da hidratação do cimento, uma camada de γ-Fe₂O₃ é formada e aderida ao aço fortemente. Essa película é responsável pela proteção do aço. O processo corrosivo inicia-se quando existir uma diferença de potencial elétrico entre dois pontos do aço no concreto, formando-se uma célula eletroquímica onde são constituídas uma região anódica e uma região catódica, ligadas pelo eletrólito na forma de água dos poros da pasta endurecida. Para que ocorra a corrosão, é necessário que a película passivadora seja rompida. Os íons cloreto ativam a superfície do aço formando o ânodo, e o cátodo é a superfície passivada (NEVILLE, 1997).

Na vida útil das estruturas a corrosão da armadura pode ser distinguida em duas partes, a primeira é o período de iniciação, que corresponde ao período de tempo que vai até a despassivação da armadura, ou seja, é período de tempo necessário para que a frente de carbonatação ou a frente de cloretos atinja a armadura. E o período de propagação, que está relacionado quando há uma redução significativa da seção resistente da armadura e/ou uma perda importante da aderência armadura/concreto, podendo comprometer a funcionalidade ou segurança da estrutura (LIBERATI, LEONEL e NOGUEIRA, 2014).

De modo geral, muitos estudos mostram que são vários os fatores que influenciam na profundidade de carbonatação e na penetração íons cloreto. Os principais fatores são a concentração de CO_2 no ambiente, umidade relativa (UR) do ambiente, relação água/cimento, cura e compactação do concreto, temperatura, pH das soluções contidas nos poros, tipo de cimento e adições, entre outras.

Muitos pesquisadores tem buscado uma metodologia eficiente para a determinação da vida útil das estruturas, e alguns softwares foram desenvolvidos com esse objetivo. Este trabalho irá utilizar os softwares Carambola e Life 365 para estimar a vida útil das estruturas de concreto que seguem os requisitos mínimos de durabilidade previstos na ABNT NBR 6118:2014. O programa Carambola utilizou o modelo de Helene (1997) para a despassivação por carbonatação, e o Life 365 utilizou o modelo de difusão representada pela 2ª Lei de Fick, para penetração íons cloreto.

2 Metodologia

Nesse trabalho será estudada a vida útil de projeto de estruturas de concreto armado, que corresponde ao período de iniciação, não sendo considerada a fase de propagação.

Como o objetivo do mesmo é verificar a vida útil das estruturas de concreto armado de acordo com os parâmetros da ABNT NBR 6118:2014, serão apresentados os dados de entradas dos softwares Carambola e Life 365 na Figura 1, e também os dados utilizados em cada software para a obtenção da vida útil de projeto para verificar se atendem a vida útil mínima de 50 anos. Com a ajuda dos softwares, serão realizadas combinações de variáveis existentes em cada um para determinar os parâmetros de projeto visando atender a vida útil mínima, intermediária e superior, da ABNT NBR 15575:2013. E por fim será feita uma análise comparativa dos softwares com base nos resultados obtidos de vida útil.

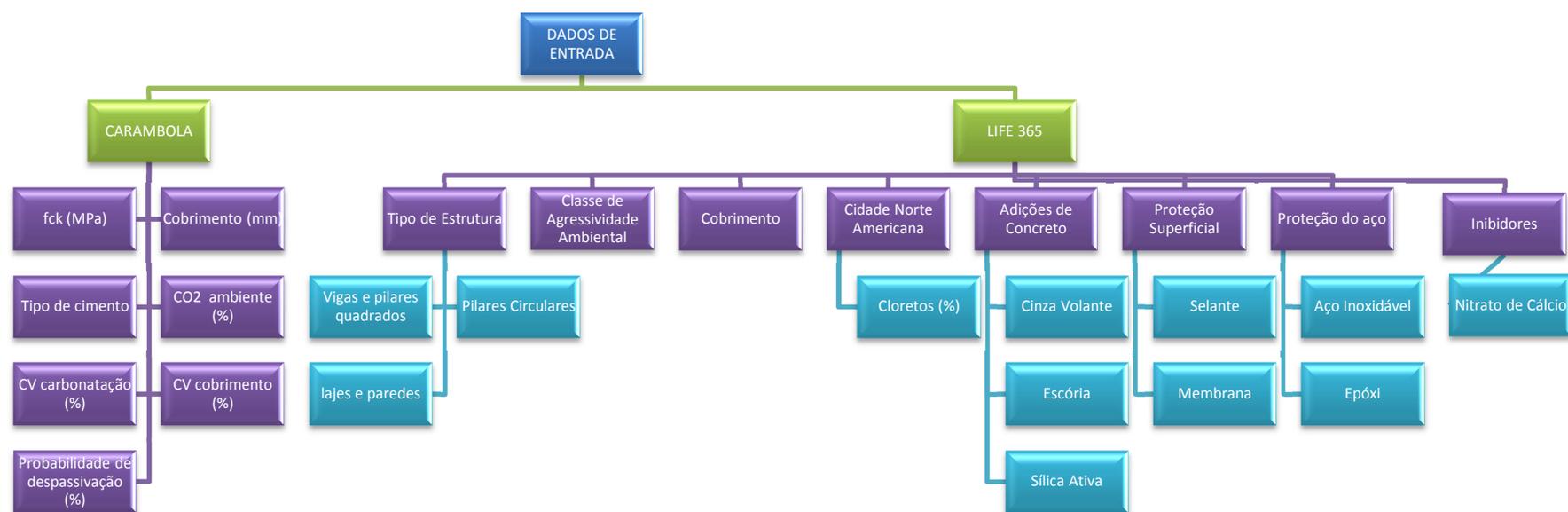


Figura 1 - Dados de entrada dos softwares Carambola e Life 365

2.1 Dados de Entrada Carambola

Nos dados de entrada do Carambola o 'fck', 'tipo de cimento' e 'cobrimento' são variáveis e seus valores são de acordo com a classe de agressividade da ABNT NBR 6118:2014. A concentração de CO₂ no ambiente adotado é de 0,1%, segundo Helene (1993), e adotou-se CV paracarbonatação igual a 25% e CV do cobrimento igual a 25% segundo Helene (1997). Para a

probabilidade de despassivação foi adotado o valor de 50%, este valor chega ao mesmo resultado de vida útil da análise determinista. Esses valores são fixos na análise.

Para cada classe de agressividade foram usados dois tipos de cimento. Segundo Helene (1997) para reduzir a profundidade de carbonatação são preferíveis os cimentos tipo CP-I e CP-V e para reduzir a penetração de cloretos são preferíveis os cimentos com adições tipo CP-III e CP-IV, assim como adição extra de sílica ativa, microsílica e cinza de casca de arroz.

A versão utilizada do programa Carambola tem disponível apenas o CP-I, CP-III E CP-IV. Portanto para classe de agressividade I e II, foram usados os cimentos CP I, que apesar de não ser um cimento comercializado sua composição é a mais parecida com a do cimento CP V, e o CP-III que é o mais utilizado em construções de ambientes urbanos em Brasília. E para a classe de agressividade III e IV, utilizaram-se os cimentos CP-III e CP-IV. Será apresentado em forma de tabela as combinações e os dados utilizados no Carambola para a obtenção da vida útil, com as exigências mínimas da ABNT NBR 6118:2014 para fck e cobrimento, de acordo com a classe de agressividade.

Tabela 3: Dados de entrada utilizados no Carambola.

Nomenclatura	Classe de agressividade ambiental	Tipo de cimento	Fck (MPa)	Cobrimento (mm)
CI/CPI	I	CP-I	20	25
CI/CPIII		CP-III		
CII/CPI	II	CP-I	25	30
CII/CPIII		CP-III		
CIII/CPIV	III	CP-IV	30	40
CIII/CPIII		CP-III		
CIV/CPIV	IV	CP-IV	40	50
CIV/CPIII		CP-III		
Dados fixos: Concentração de CO ₂ no ambiente = 0,1% CV carbonatação = 25% CV cobrimento = 25% Probabilidade de despassivação = 50%				

2.2 Dados de Entrada Life 365

Como dado de entrada é necessário escolher entre vigas e pilares quadrados, pilares circulares ou lajes e paredes. Adotou-se para o estudo, vigas e pilares quadrados com uma seção transversal de 50x50 cm e 4 metros de altura. O programa não aceita ANAIS DO 57º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2015 – 57CBC

cobrimento menor do que 30 mm e maior que 75 mm. Portanto não foi considerado no estudo a Classe de Agressividade Ambiental I, pois o cobrimento é 25 mm (ABNT NBR 6118:2014).

As classes de agressividade apresentadas pelo software foram relacionadas com as Classes de Agressividade Ambiental da NBR 6118, da seguinte maneira: Classe II – Pontes de estrada urbana; Classe III – menos de 1500 metros do mar e Classe IV – Zona de respingo do mar.

É necessário escolher a cidade em que se encontra a obra, como o Life 365 é um software norte americano, deve-se escolher uma cidade nos Estados Unidos, portanto buscou-se um clima similar ao encontrado no Brasil, e foi selecionada a cidade de Charleston, na Carolina do Sul. Ao escolher a cidade, para cada classe de agressividade, o software atribui um teor de cloreto. O cobrimento e a relação água/cimento utilizada em cada classe de agressividade estão de acordo com a norma ABNT NBR 6118:2014.

Usando a mesma composição do Carambola, utilizou-se para classe de agressividade II os cimentos CP I e CP-III. E para a classe de agressividade III e IV, os cimentos CP-III e CP-IV. O programa não possui a opção de tipo de cimento, porém apresenta a utilização de adições: escória; cinza volante e sílica ativa. Portanto foi considerado como CP III o cimento com adição de escória e CP IV o cimento com adição de cinza volante. Para o CP III considerou-se 52.5% de escória, que é a média do intervalo permitido na norma para este cimento (35% e 70%) e para o CP IV considerou-se também a média 32.5% de cinza volante (pozolana). Para o CP I, não foi considerado nenhuma adição.

A Tabela a seguir apresenta os dados de entrada utilizados no Life 365, para o cálculo da vida útil de acordo com a ABNT NBR 6118:2014 para cobrimento e relação a/c, e a NBR 5735 e NBR 5736 para escória e cinza volante respectivamente.

Tabela 4: Dados de entrada no Life 365

Nomenclatura	Classe De Agressividade Ambiental	Tipo De Cimento	Cobrimento (mm)	Relação A/C	Adição (%)	
					Escória	Cinza Volante
CII/CPI	II	CP I	30	≤ 0,60	-	-
CII/CPIII	II	CP III	30	≤ 0,60	52,50%	-
CIII/CPIII	III	CP III	40	≤ 0,55	52,50%	-
CIII/CPIV	III	CP IV	40	≤ 0,55	-	32,50%
CIV/CPIII	IV	CP III	50	≤ 0,45	52,50%	-
CIV/CPIV	IV	CP IV	50	≤ 0,45	-	32,50%

3 Resultados e Análises

3.1 Vida Útil Carambola de acordo a ABNT NBR 6118:2014

A seguir, na tabela 5 são apresentados os resultados da vida útil obtidos no programa carambola. Os resultados em vermelho representam as combinações que não atingiram a vida útil de 50 anos, e os resultados em azul os que atingiram.

Tabela 5: Vida útil do concreto – Carambola

Nomenclatura	Fck (Mpa)	Cobrimento (mm)	VIDA ÚTIL (anos)
CI/CPI	20	25	30,5
CI/CPIII			21,2
CII/CPI	25	30	57,4
CII/CPIII			39,8
CIII/CPIV	30	40	114,7
CIII/CPIII			96,4
CIV/CPIV	40	50	403
CIV/CPIII			338,6

Ao analisar os resultados observa-se que os valores maiores de vida útil são os da classe de agressividade III e IV. Porém o programa Carambola foi desenvolvido para determinar a vida útil de estruturas que sofrem despassivação por carbonatação, e normalmente estruturas que se encontram na classe de agressividade III e IV sofrem despassivação por cloretos. Portanto não são considerados realistas os resultados para classe de agressividade ambiental III e IV.

Já na classe de agressividade I e II, observa-se que o cimento CP-I apresentou vida útil maior que o cimento CP-III. Sabe-se que o CP I é um cimento mais puro que os outros tipos de cimento Portland, e é o tipo mais básico, indicado para o uso em construções que não requeiram condições especiais e não apresentem ambientes desfavoráveis como exposição a águas subterrâneas, esgotos, água do mar ou qualquer outro meio com a presença de sulfatos. Como esperado, o CP I apresentou maior vida útil que o CP III.

De acordo com Helene (1997) a maioria dos edifícios tem estrutura de concreto aparente nas garagens, que devem ser considerados ambientes externos, pois sempre estão em contato direto com o exterior. Logo, garagens, térreo, pilares de fachada, cisternas e reservatório superior e cobertura são considerados em Brasília, por exemplo, como classe de agressividade II. Assim, tomemos como base os resultados obtidos para classe de agressividade II. Para o cimento CP-I a vida útil é de 57,4 anos, e para o CP-III a vida útil é de 39,8 anos.

Sabe-se que o CP-I não é um cimento comercializado no Brasil, porém é similar em composição ao cimento CP V, porém, esta versão do software não apresenta como opção o cimento CP V. Mas, acredita-se que este tipo de cimento apresentaria comportamento superior ao CP I, por ser mais fino e que possivelmente resultaria em vida útil maior que 50 anos. Já o CP-III que é um cimento utilizado em Brasília, sua vida útil é de 39,8 anos, e não alcançou a vida útil mínima de 50 anos de uma estrutura de concreto armado. Portanto, apenas o CP I, quando na classe de agressividade II atendeu a vida útil mínima de 50 anos, utilizando os parâmetros exigidos na ABNT NBR 6118:2014 no programa Carambola.

3.2 Vida útil Life 365 de acordo com a ABNT NBR 6118:2014

A Tabela 6 a seguir apresenta os resultados da vida útil obtidos no programa Life 365.

Tabela 6: Vida útil do concreto – Life 365

Nomenclatura	Cobrimento (mm)	Relação A/C	Adição (%)		Vida útil (anos)
			Escória	Cinza Volante	
CII/CPI	30	≤ 0,60	-	-	33,0
CII/CPIII	30	≤ 0,60	52,50%	-	41,5
CIII/CPIII	40	≤ 0,55	52,50%	-	8,3
CIII/CPIV	40	≤ 0,55	-	32,50%	7,7
CIV/CPIII	50	≤ 0,45	52,50%	-	9,3
CIV/CPIV	50	≤ 0,45	-	32,50%	8,1

Assim como nos resultados do Carambola, foram marcados os resultados da vida útil em cores. No caso dos resultados do Life 365, nenhum resultado atingiu a vida útil mínima de 50 anos, por isso todos estão em vermelho. Os maiores valores de vida útil foram na classe de agressividade II, com 33 anos para o cimento CP I e 41,5 anos para o CP III. Observa-se que há uma redução significativa na vida útil da classe de agressividade II para as classes III e IV. O Life 365 estima a vida útil utilizando o modelo de penetração de íons cloreto, que ocorre normalmente nas classes de agressividade III e IV, por isso os valores são menores para essas classes, pois a agressividade do meio é bem maior do que na classe II.

3.3 Parâmetros para atender a vida útil de acordo com a ABNT NBR 15575:2013

3.3.1 Carambola

Para determinar os parâmetros necessários para atender a vida útil de projeto (VUP) mínima, intermediária e superior, 50, 63 e 75 anos respectivamente, de acordo com a Norma de Edificações Ambientais – Desempenho (NBR 15575:2013) foi utilizado o

programa Carambola e Life 365. Adotou-se o Carambola para as classes de agressividade I e II, e o Life 365 para as classes de agressividade III e IV. Existem várias combinações que podem ser feitas no Carambola para atender uma vida útil desejada. Buscando atender aos requisitos da ABNT NBR 15575:2013 sobre a vida útil mínima, intermediária e superior das classes de agressividade I e II, foram realizadas algumas combinações apresentadas na Tabela 7. Para cada caso foram realizados dois cálculos, primeiramente foi mantido o fck mínimo da norma e variou apenas o cobrimento e depois aumentou-se em 5 MPa o fck e variou-se o cobrimento.

Tabela 7: Vida útil mínima, intermediária e superior.

Nomenclatura (1)	Fck (Mpa) (2)	Cobrimento (mm) (3)	Acréscimo de fck (Mpa) (4)	Acréscimo de Cobrimento (mm) (5)	VIDA ÚTIL (anos) (6)	VUP (7)
CI/CPI	20	32	0	7	50	M
		36	0	11	63,3	I
		40	0	15	78,1	S
	25	28	5	3	50	M
		32	5	7	65,3	I
		35	5	10	78,1	S
CI/CPiII	20	39	0	14	51,6	M
		44	0	19	65,6	I
		48	0	23	78,1	S
	25	34	5	9	51,2	M
		38	5	13	63,9	I
		42	5	17	78,1	S
CII/CPI	25	30	0	0	57,4	M
		32	0	2	65,3	I
		35	0	5	78,1	S
	30	24	5	-6	50	M
		27	5	-3	63,2	I
		30	5	0	78,1	S
CII/CPiII	25	34	0	4	51,2	M
		38	0	8	63,9	I
		42	0	12	78,1	S
	30	30	5	0	54,2	M
		33	5	3	65,6	I
		36	5	6	78,1	S

Onde: M - Vida útil mínima
I - Vida útil intermediária
S - Vida útil superior

As colunas 4 e 5 da tabela, representam o acréscimo de f_{ck} e o acréscimo de cobrimento, respectivamente, referente aos valores da ABNT NBR 6118:2013. A coluna 7 representa em qual vida útil (mínima, intermediária e superior) esses parâmetros se encaixam. Os valores negativos na coluna 5 representam valores inferiores aos apresentados na norma ABNT NBR 6118:2013, porém recomenda-se sempre obedecer os valores de norma, o que resultaria em maiores valores de VUP.

Observa-se que aumentando a resistência característica do concreto em 5 MPa, os valores de cobrimento teriam que sofrer pequenos incrementos em relação ao previsto em norma, para atender os valores de VUP da NBR 15.575 (ABNT, 2013).

Na coluna 3 foram utilizados valores variados de cobrimento, sem seguir nenhuma regra, pois esses valores foram utilizados para atender apenas a VUP, mínima intermediária e superior. No entanto recomenda-se adotar cobrimentos múltiplos de 5mm.

3.3.2 Life 365

Foram realizados cálculos mantendo os mesmos parâmetros da norma, porém aumentando o cobrimento até que se chegou ao cobrimento máximo permitido pelo programa (75 mm), e também utilizou-se as proteções superficiais membrana e selante, e mesmo assim nenhum resultado alcançou 50 anos de vida útil. Por isso foram realizadas outras combinações apresentadas a seguir, a fim de chegar aos valores de vida útil mínima, intermediária e superior.

A tabela 8 apresenta as combinações realizadas para a classe de agressividade III e a tabela 9 para a classe de agressividade IV, para alcançar a vida útil mínima intermediária e superior. Os valores de cobrimento e a/c que estão na cor cinza, correspondem aos mesmos valores da ABNT NBR 6118:2014. Observa-se que para as duas classes de agressividade, mesmo diminuindo a relação água/cimento e aumentando o cobrimento (OP1 e OP2), não foi suficiente para alcançar a vida útil mínima de 50 anos.

Tabela 8 – Vida útil mínima, intermediária e superior – CAA III

Padrão	Cimento	Cobrimento	a/c	Tratamento	Vida Útil (anos)	VUP
	CPIII	40	0,55			
OP1	CPIII	60	0,5	-	23,5	-
	CPIV	60	0,5	-	20	-
OP2	CPIV	75	0,45	-	45,5	-
	CPIV	75	0,45	-	38,3	-
OP3	CPIII	50	0,45	Sílica 8%	65,8	I
	CPIV	50	0,45		54,8	M
OP4	CPIII	60	0,45	Sílica 8%	87,9	S
	CPIV	60	0,45		72,6	I
OP5	CPIII	60	0,45	Inibidor (15 L/m³)	74,2	I
	CPIV	60	0,45		62,2	M
OP6	CPIII	50	0,45	Inibidor (20 L/m³)	79,7	S
	CPIV	50	0,45		66,7	I
OP7	CPIII	50	0,55	Sílica 8% + Inibidor (10 L/m³)	73,9	I
	CPIV	50	0,55		61,8	M
OP8	CPIII	40	0,5	Sílica 8% + Inibidor (15 L/m³) + membrana	79,8	S
	CPIV	40	0,5		68,8	I
OP9	CPIII	40	0,55	Aço inox	75,2	S
	CPIV	40	0,55		63,4	I

Onde: M – Vida Útil Mínima
I – Vida Útil Intermediária
S – Vida Útil Superior

Portanto, para atender a vida útil mínima de projeto para estruturas na classe de agressividade III, tanto para o cimento CP III como CP IV, basta reduzir o fator a/c de 0,55 para 0,45, aumentar 1 cm no cobrimento (de 40 para 50 mm) e adicionar 8% de sílica ativa. Para uma vida útil intermediária, seria possível utilizar o cimento CP III com as mesmas recomendações anteriores. Já para a vida útil superior uma opção interessante seria utilizar o CP III, com cobrimento de 60 mm e a/c de 0,45 além da adição de 8% de sílica ativa ou apenas utilizar o aço inox e cimento CP III, mantendo os demais parâmetros da ANBT NBR 6118:2014.

Tabela 9 - Vida útil mínima, intermediária e superior – CAA IV

Padrão	Cimento	Cobrimento	a/c	Tratamento	Vida Útil (anos)	VUP
	CPIII	50	0,45			
	CPIV					
OP1	CPIII	70	0,4	-	24,3	-
	CPIV	70	0,4	-	19,6	-
OP2	CPIV	75	0,4	-	32,8	-
	CPIV	75	0,4	-	26,2	-
OP3	CPIII	60	0,4	Sílica 8%	76,9	S
	CPIV	60	0,4		61,3	M
OP4	CPIII	70	0,45	Sílica 8%	78,2	S
	CPIV	70	0,45		62,3	M
OP5	CPIII	70	0,4	Inibidor (15 L/m³)	62,6	M
	CPIV	70	0,4		50,1	M
OP6	CPIII	70	0,4	Inibidor (20 L/m³)	86,6	S
	CPIV	70	0,4		64,3	I
OP7	CPIII	50	0,45	Sílica 8% + Inibidor (10 L/m³)	71,5	I
	CPIV	50	0,45		57,1	M
OP8	CPIII	50	0,45	Sílica 8% + Inibidor (10 L/m³) + membrana	86,1	S
	CPIV	50	0,45		71	I
OP9	CPIII	50	0,45	Aço inox	56,8	M
	CPIV	50	0,45		45,5	-
OP10	CPIII	60	0,45	Aço inox	78,5	S
	CPIV	60	0,45		83,4	S

Onde: M – Vida Útil Mínima
I – Vida Útil Intermediária
S – Vida Útil Superior

Analisando os resultados da Tabela 9, nota-se que para a classe de agressividade IV para atingir a vida útil mínima seria necessário o uso do cimento CP IV, e para a vida útil superior o uso do cimento CP III, além de reduzir o fator de a/c de 0,45 para 0,40, aumentar 1 cm no cobrimento (de 50 para 60) e adicionar 8% de sílica ativa, ou manter o parâmetro da norma para o fator a/c e aumentar 2 cm no cobrimento (de 50 para 70) e adicionar 8 % de sílica ativa.

Para uma vida útil intermediária, seria possível utilizar o cimento CP III com as mesmas recomendações anteriores, ou manter os parâmetros da norma e acrescentar 8% de sílica ativa e 10 l/m³ de inibidor utilizando também o CP III.

Observa-se que em alguns casos é possível manter os parâmetros da ABNT NBR 6118:2014, e acrescentar alguns tratamentos para chegar pelo menos na vida útil mínima, como é o caso da OP9 na tabela 8 e OP7 e OP8 na tabela 9. E à medida que são acrescentados tratamentos adicionais, menor é o acréscimo de cobrimento e redução da relação a/c .

Para a classe de agressividade III a utilização do aço inox não necessita de mais nenhuma alteração para atingir uma vida útil alta, ou seja, apenas o uso dele com os parâmetros da norma ABNT NBR 6118:2014 é suficiente para alcançar a vida útil superior. Já na classe de agressividade IV, o CPIV não alcançou a vida útil mínima, mas o acréscimo de um centímetro no cobrimento foi suficiente para o CPIII e CPIV ultrapassarem a vida útil superior, o que mostra que apenas o uso dele, garante um grande ganho de vida útil.

Além da vida útil, o Life 365 apresenta resultados do custo da construção e de reparo ao longo de determinado tempo. Foi observado que o custo de construção para estruturas com maiores números de tratamentos adicionais, é maior do que para estruturas com pouco ou nenhum tratamento adicional. No entanto ao longo de um período de tempo como, por exemplo, 100 anos, o custo final da estrutura, ou seja, o custo de construção mais o custo de reparo é bem menor para essas estruturas que receberam esses tratamentos adicionais. Logo, conclui-se que o gasto inicial é maior para essas estruturas, porém ao longo dos anos as intervenções de reparos serão menores, gerando um custo total menor para essa estrutura.

4 Conclusão

O desenvolvimento teórico e prático deste trabalho acerca da vida útil de projeto de acordo com os parâmetros da ABNT NBR 6118:20114 e da ABNT NBR 15575:2013, possibilitou a formulação de algumas considerações finais, as quais são listadas a seguir:

- De acordo com os softwares utilizados, os parâmetros mínimos previstos pela NBR 6118:2014, não são suficientes para garantir uma vida útil mínima de 50 anos;
- Para as classes de agressividade I e II, utilizando o software Carambola é necessário aumentar em até 14 mm o cobrimento ou elevar a resistência do concreto em 5 MPa e aumentar o cobrimento em 9 mm, para atingir VUP mínima;
- Utilizando o Life 365 para as classes de agressividade III e IV, nem mesmo aumentando o cobrimento e diminuindo a relação água/cimento não foi alcançado a VUP mínima de 50 anos. Isso mostra que não é necessário apenas rever os parâmetros que estão na norma, mas também acrescentar tratamentos no concreto e/ou no aço;

- Para atingir a vida útil mínima de 50, 63 e 75 anos utilizando o Life 365, verificou-se a necessidade de utilizar aço inox ou aumentar o cobrimento, reduzir a relação a/c e acrescentar sílica ativa ou inibidor de corrosão;
- O programa Carambola foi considerado satisfatório para os resultados da classe de agressividade ambiental I e II, enquanto o Life 365 foi considerado para a classe de agressividade ambiental III e IV.
- É necessário um estudo aprofundado das variáveis que mais afetam a vida útil das estruturas de concreto, para serem acrescentadas como requisitos mínimos nas normas de construção do Brasil, para obter a vida útil mínima de 50 anos, além da vida útil intermediária (63 anos) e superior (75 anos) apresentadas na ABNT NBR 15575:2013. Pois quanto mais variáveis, mais próximos da realidade estarão os resultados;
- É necessário realizar um estudo no custo final com essas alterações, para saber qual é melhor economicamente, pois o objetivo é que se tenha um ganho na vida útil, mas com o menor custo adicional possível;
- Utilizar tratamentos adicionais no concreto e no aço gera um custo maior para construir, mas ao longo de um período, como por exemplo, após 100 anos, o custo total dessa estrutura é menor comparado a estruturas que não possuem esses tratamentos. Portanto é mais vantajoso economicamente ter um custo mais elevado na hora de construir para gastar menos com reparos ao longo dos anos e ter um custo final menor do que não optar por tratamentos adicionais.

5 Referências

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5735**. Cimento Portland Pozolânico, 1991.

_____. **NBR 5736**. Cimento Portland Pozolânico, 1991.

_____. **NBR 6118**. Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. 2014.

_____. **NBR 15575**. Edificações Habitacionais – Desempenho, 2013.

FUSCO, P. B. **Tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados**. 1ª Edição. São Paulo: PINI, 2008.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo, 1993, 231p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

_____. **Vida útil das estruturas de concreto.** In: IV CONGRESSO IBEROAMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES. Anais... Porto Alegre, 1997.

LIBERATI, E.A.P.; LEONEL, E.D.; NOGUEIRA, C.G. **Influência da corrosão da armadura na capacidade resistente à flexão de vigas em concreto armado: uma abordagem via teoria da confiabilidade estrutural.** Revista IBRACON de Estruturas e Materiais. São Paulo, Vol. 7, nº 3, Mai/Jun, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** São Paulo: PINI, 1997, 828p.
NP - Norma Portuguesa. **EN 1504-1.** Produtos e Sistemas Para Proteção de Estruturas de Betão: Definições, requisitos, controlo da qualidade e avaliação da conformidade, 2006.

POSSAN, Edna. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano,** 2010, 265p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil: Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.