VIDA ÚTIL DAS ESTRUTURAS: ANÁLISE DOS MODELOS DE PENETRAÇÃO DE CLORETOS EM CONCRETO

Schiper, N.[1]; Andrade, J.[2]; Pereira, M.[3]; Macedo, G.[4]; Godziuk, G[5];

[1] Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, Curso de Engenharia Civil, Engenheira Civil, e-mail: nicole@schiper.com
[2] Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, Curso de Engenharia Civil, Professor Doutor, e-mail: jairo.andrade@pucrs.br
[3] Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, Curso de Engenharia Civil, Graduando, e-mail: matheus.sperry@acad.pucrs.br
[4] Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, Curso de Engenharia Civil, Engenheira Civil, e-mail: gisele.b.m@hotmail.com
[5] Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul - PUCRS, Curso de Engenharia Civil, Graduando, e-mail: guilherme.godziuk@acad.pucrs.br

RESUMO

Em função dos problemas patológicos que ocorrem nas estruturas, estudos devem ser realizados visando verificar a efetividade da proteção que os cimentos oferecem em relação à penetração de agentes agressivos. Nesse contexto, a presente pesquisa teve como objetivo verificar a aplicabilidade de diversas formulações que visam modelar a penetração de cloretos em concretos moldados com diferentes tipos de cimento. Para tanto, foram moldadas vigas de concreto para atender ao grau de agressividade IV (relação a/c = 0,45 e C40) de acordo com as exigências da NBR 6118, empregando os cimentos CP-IIE, CPIV e CPV ARI. Tais vigas foram submetidas ao processo de cura úmida por 28 dias e logo após as mesmas foram inseridas em uma solução de cloreto de sódio. A determinadas idades (30, 60, 180, 365 e 545 dias) foram retiradas amostras de concreto e determinados os perfis de penetração de cloretos, através dos quais calcularam-se os valores do coeficiente de difusão e da concentração superficial. Tais dados foram empregados em diversas formulações apresentadas na literatura, a fim de verificar qual delas é a mais adequada para prever a vida útil de projeto das estruturas de concreto armado quando inseridas em ambientes com cloretos.

Palavras chave: Concreto, Durabilidade, Modelagem, Vida útil, Cloretos.

ABSTRACT

Depending on the pathological problems that occur in the structures, studies should be conducted to verify the effectiveness of the protection that cements offer in relation to the penetration of aggressive agents. In this context, the present study aimed to verify the applicability of various formulations aimed at modeling the chloride penetration into concrete molded with different types of cement. For that were molded concrete beams to meet the level of aggressiveness IV (w/c ratio = 0.45 and C40) in accordance with the requirements of NBR 6118, employing the CP-IIE, CPIV and CPV ARI cements. These beams were subjected to moist curing process for 28 days and then were inserted into the same solution of sodium chloride. A certain age (30, 60, 180, 365 and 545 days) concrete specimens and determined profiles chloride penetration through which calculated the values of the diffusion coefficient and concentration were removed surface. These data were employed in various formulations presented in the literature in order to verify which one is most suitable to predict the service life of the project reinforced concrete structures when inserted in chloride environments

Keywords: Concrete, Durability, Modeling, Service life, Chlorides.

1. INTRODUÇÃO

A vida útil de uma estrutura é entendida como o tempo que esta construção terá as mesmas características iniciais do concreto armado, atendendo às manutenções previstas pelo projetista e pelo construtor, e, também, a possíveis reparos por danos acidentais. Tendo em vista os recentes casos de acidentes devidos a insatisfatória vida útil de estruturas de concreto, é indispensável a análise sistemática para determinar as causas, para evitar a recorrência desses problemas. Uma das possíveis causas dessa redução da vida útil é a exposição dessas estruturas a ambientes marinhos e industriais. Como uma grande parte das construções do país são litorâneas, é importante a realização de estudos para verificar os agentes que influenciam na corrosão dessas armaduras. Com a combinação de fatores como relação água/cimento, resistência mecânica e determinados tipos de cimentos junto com a utilização da 2ª Lei de Fick para determinação da concentração superficial de cloretos e do coeficiente de difusão em um dado tempo para ensaios não acelerados e verificando a evolução desses resultados, é possível realizar um estudo com outros trabalhos presentes na literatura para verificar os resultados encontrados nesse trabalho, assim possível avaliar a vida útil das estruturas expostas aos íons cloreto.

A durabilidade de uma estrutura não depende somente de sua resistência a esforços mecânicos, conforme citado por CALÇADA (2004), mas depende, também, de sua resistência a agentes agressivos. Através dessa afirmação, a NBR 6118 (ABNT, 2007) estabelece que as estruturas de concreto devem ser projetadas tendo em vista o ambiente no qual estas serão construídas, para que essas tenham segurança e uma vida útil coerente com a qual esta foi projetada.

Porém, existem ações que podem diminuir, de maneira muito perigosa, a vida útil de uma estrutura, como a despassivação da armadura presente no concreto armado. Esse fenômeno pode ocorrer através da carbonatação do concreto, que altera o ph interno da estrutura, possibilitando a oxidação do aço presente na mesma, e, também, pode ocorrer a penetração de íons cloreto que, novamente, provocam a despassivação da armadura do concreto. Como consequência as estruturas poderão apresentar danos como perda da seção das armaduras, fissuração, perda de aderência entre o aço e o concreto e lascamento e desplacamento do concreto.

Para combater esses males, a NBR 6118 (ABNT, 2007), criou critérios para dividir os ambientes agressivos em classes conforme seu grau de agressividade ambiental, limitando a relação água/cimento e a resistência do concreto, como se pode verificar na Tabela 1.

Assim, é de extrema importância analisar o desempenho dos diferentes tipos de cimentos comercializados no mercado em relação à proteção contra a penetração de íons de cloreto, considerando os critérios de durabilidade prescritos na NBR 6118 (ABNT, 2007).

Tabela 1: Classe de agressividade ambiental

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água /cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

NOTAS
1. O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir os requisitos estabelecidos na NBR 12655.
2. CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.
3. CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Para a determinação da vida útil de estruturas pode-se utilizar, entre outros modelos, o modelo matemático da 2ª Lei de Fick, que possibilita a determinação da concentração superficial (Cs) de cloretos e do coeficiente de difusão (D) em um dado tempo t para ensaios não acelerados (ANDRADE, 2005). Com esses valores determinados, pode-se, então, analisar seu comportamento, a fim de, verificar sua evolução durante o tempo possibilitando a previsão de valores de Cs e D para futuras idades, conforme é proposto por Costa e Appleton (1999).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo principal modelar matematicamente a vida útil de concretos de cimento Portland frente à penetração de íons cloreto através de técnicas estatísticas e será apresentado comparações e análises entre os modelos existentes na literatura para previsão da penetração de íons cloreto no concreto.

2.2 Objetivos específicos

- Verificar a influência dos principais parâmetros que governam a penetração de íons cloreto segundo os parâmetros previstos na NBR 6118 (ABNT, 2007);
- Validar o modelo proposto por Andrade (2001) para a previsão da vida útil de concretos inseridos em ambientes com cloreto. Além disso, o modelo proposto será comparado com a 2ª Lei de Fick e uma de suas soluções, a função erro;

- Utilizar análises probabilísticas para incorporar os efeitos da aleatoriedade dos parâmetros envolvidos nas formulações, empregando-se a análise de confiabilidade e as Cadeiras de Markov;

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Estudo de dosagem

Tendo como base as especificações da NBR 6118 (ABNT, 2007) foi realizado um estudo de dosagem com três diferentes tipos de cimento Portland: o CP V ARI, o CP IV e o CP II E.

As propriedades dos agregados utilizados estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Propriedades dos agregados utilizados

	Agregado graúdo	Agregado miúdo
Tipo	Basáltico	Natural (de rio)
$D_{máx}$	19 mm	1,18 mm
Módulo de finura	6,76	1,87
Massa específica	2,95 kg/dm^3	2,64 kg/dm^3
Massa unitária	1,43 kg/dm^3	1,57 kg/dm^3

O método escolhido para a moldagem dos corpos de prova foi o IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1993), onde o teor de argamassa estabelecido é de 53% e o abatimento fixo de 8,0 ± 1,0 cm. Através da NBR 6118 (ABNT, 2007) foi limitada a relação água/cimento para 0,45 e uma resistência mecânica de 40 MPa. O estudo de dosagem e as características dos concretos estão exibidas na Figura 1 e Tabela 3, respectivamente.

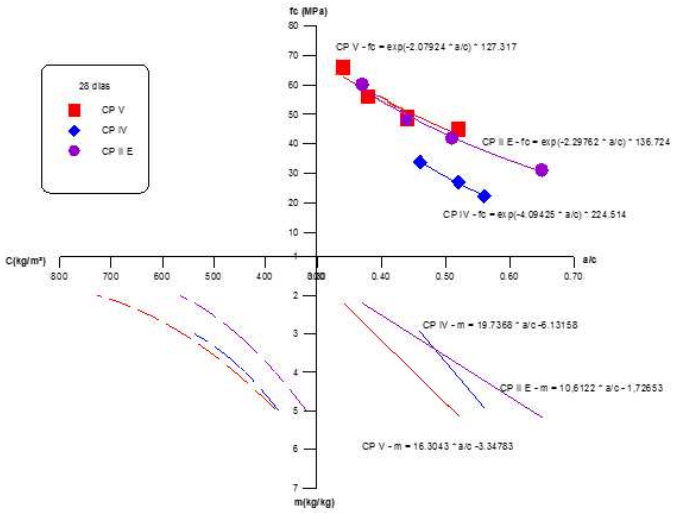


Figura 1: Resistência à compressão média dos concretos conforme relação a/c.

Tabela 3: Resistência estimada e real para os concretos aos 28 dias

Tipo de cimento	Relação a/c	fc_{28} estimada (MPa)	fc_{28} real (MPa)
CP II E	0,45	48,62	45,6
CP IV	0,4	43,65	43,83
CP V ARI	0,45	50	45,68

As vigas moldadas têm dimensões de 10x20x50cm e colocados em cura por 28 dias.Essas vigas, após a cura, foram impermeabilizadas com resina epóxi em suas quatro faces menores, conforme mostra a Figura 2, para que a penetração de cloretos ocorresse somente em uma direção (Figura 2).

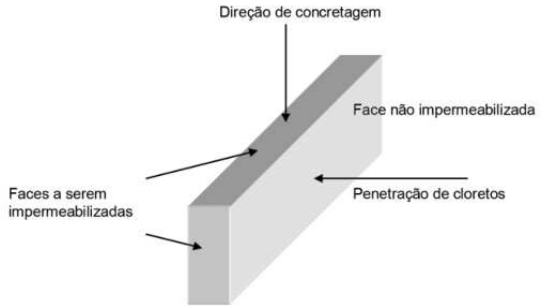


Figura 2: Viga impermeabilizada em suas faces de menor dimensão.

3.2 Imersão das vigas em solução e extração das amostras de concreto

Após a moldagem e impermeabilização, as vigas foram imersas em um tanque com uma concentração salina de 3,5%, concentração média dos oceanos, conforme a Figura 2 apresenta, caracterizando esse ensaio como um ensaio não acelerado.

As extrações das amostras de concretos foram realizadas como o auxílio de uma furadeira de impacto que, de acordo com Cascudo (2005) permite a coleta de amostras com profundidades predeterminadas, assim permitindo, traçar um perfil de concentração de cloretos ao longo das peças de concreto. As amostras dessa pesquisa foram tiradas de 0,5 a 0,5 cm até uma profundidade de 5,0 cm. Essa amostra, de forma pulverulenta, foi coletada com um funil, conforme é ilustrado pela Figura 3.



Figura 3: Vigas submersas em solução de NaCl.



Figura 4: Retirada do material na forma pulverulenta.

As extrações das amostras de concretos foram realizadas como o auxílio de uma furadeira de impacto que, de acordo com Cascudo (2005) permite a coleta de amostras com profundidades predeterminadas, assim permitindo, traçar um perfil de concentração de cloretos ao longo das

peças de concreto. As amostras dessa pesquisa foram tiradas de 0,5 a 0,5 cm até uma profundidade de 5,0 cm. Essa amostra, de forma pulverulenta, foi coletada com um funil, conforme é ilustrado pela Figura 4. Essas amostras passaram por uma peneira com abertura de 0,42 mm para possibilitar a análise química dessas amostras.

3.3 Análise da penetração de cloretos

Segundo Calçada (2004), o método mais rápido para a determinação da concentração de cloretos em amostras de concreto é o método de potenciometria direta. Esse método consiste na utilização de dois eletrodos, onde um é o indicador e o outro é o eletrodo íon seletivo de cloretos.

Para a determinação da curva de concentração de cloretos no concreto é necessário, primeiramente, a determinação de uma curva patrão. Onde, se criam pontos com concentrações de cloretos já conhecidas, formando uma curva da qual é possível modelar uma equação matemática do comportamento dos íons de cloreto. Essa equação é utilizada nas amostras de concretos assim sendo possível a determinação de suas respectivas concentrações.

Para a diluição das amostras de concreto foi utilizada a norma ASTM C114, em um Becker são separas 10 gramas da amostra e é adicionada 75,0 ml de solução. Essa solução consiste em 73,5 ml de água deionizada e, conforme a sugestão do fabricante dos eletrodos, é adicionada 1,5 g de nitrato de sódio diluído em 1,5 ml de água deionizada.

Essa solução é submetida a uma agitação magnética e é então possível realizar a leitura através de um voltímetro, conforme ilustra a Figura 5.



Figura 5: Análise da penetração de cloretos em amostras de concretos.

As amostras padrão dependem da idade do concreto a ser analisado. Em idades menores (15, 30, 60 dias), é utilizado uma concentração padrão de 1000 ppm e para as idades mais avançadas (180 e 360 dias), é utilizado uma concentração padrão de 5000 ppm.

Os pontos têm suas concentrações predeterminadas pela Equação (1):

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \quad (1)$$

Onde:

C_1= amostra a ser diluída (ppm);

C_2 = quantidade da amostra padrão (ppm);

V_1= quantidade da amostra padrão (ml);

V_2 = quantidade da diluição (ml).

Os valores de C_1 e V_2 são fixos, sendo respectivamente 1000 ppm ou 5000 ppm (dependendo a idade do concreto analisado) e 50 ml (volume de água onde as amostras são diluídas). Os valores de C_2 devem ser determinados através da idade do concreto e V_1 é o volume de solução salina que será adicionada a mistura que origina o ponto da curva padrão.

Essa solução é agitada em um balão e, em um Becker, é realizada a leitura da amostra através do mesmo voltímetro da qual foram feitas as leituras das amostras de concreto, assim evitando possíveis variáveis derivadas de uma diferença de calibração entre eletrodos.

3.4 Modelagem

Conforme é afirmado por ANDRADE (2001), a avaliação das estruturas expostas aos íons de cloreto podem ser determinadas por modelos matemáticos. Para esse trabalho, foi utilizada a 2ª Lei de Fick, ver Equação 2, para a determinação dos coeficientes de difusão e as concentrações superficiais dos diferentes tipos de concreto em diferentes idades.

$$C(x,t) = C_s\left[1 - erf\left(\frac{x}{2\sqrt{tD}}\right)\right] \quad (2)$$

Onde:

$C(x,t)$ = concentração de cloretos na profundidade x a partir da superfície do concreto em um dado tempo t (%);

C_s = concentração superficial de cloretos, admitida como constante (%);

x = profundidade (m);

D = coeficiente de difusão de cloretos, admitido como constante (m²/s);

t = tempo (segundos);

erf = função erro de Gauss.

Através dessa equação foi possível verificar os valores de D e Cs para cada tipo de cimento em diferentes idades. Tendo como base esses dados, é possível, segundo Costa e Appleton (1999), prever futuros valores de D, utilizando a Equação 3, e Cs, utilizando a Equação 4.

$$D(t) = D_0 \cdot t^{-m} \qquad (3)$$

Onde:

$D(t)$ = coeficiente de difusão de cloretos em um tempo t (m²/s);

D_0 = coeficiente de difusão de cloretos inicial (m²/s);

t = tempo (segundos);

m = ...

$$C(t) = C_0 \cdot t^{m} \qquad (4)$$

Onde:

$C(t)$ = concentração superficial de cloretos em um tempo t (%);

C_0 = concentração superficial de cloretos inicial (%);

t = tempo (segundos);

m = ...

Com esse conjunto de equações é, teoricamente, possível obter a previsão da penetração de cloretos em futuras idades. Os resultados obtidos com as Equações 2 e 3 são jogados na Equação 1 possibilitando a previsão em tempos futuros.

4. RESULTADOS

Com os resultados obtidos nas análises dos concretos com cimentos CP V ARI, CP IV e CP II-E frente a penetração de cloretos foi possível a análise das diferenças de comportamento entre si e com o comportamento de outros concretos presentes na literatura.

4.1 Comparação dos perfis de penetração de cloretos presentes neste estudo

Os três tipos concretos foram analisados nas idades de 15, 30, 60, 180 e 360 dias, com exceção do CP II-E que só foi analisado até a idade de 180 dias. Os perfis de penetração de cloretos obtidos estão apresentados nas figuras 6, 7 e 8.

Em todos os tipos de cimento foi verificado que, quanto maior o tempo de exposição, maior é a penetração de cloretos. Fenômeno proveniente da maior quantidade de íons cloretos que penetram no concreto pelo maior tempo de submersão da viga na solução salina.

Foi observado, também, que, aos 360 dias o teor de cloretos necessário para provocar a despassivação da armadura (representado graficamente nas Figuras 6, 7 e 8 como Teor crítico de cloreto, 0,4% sobre a massa de cimento) foi de, aproximadamente, 2,5 cm, para o CP IV e 3,0 cm, para o CP V ARI. Aos 180 dias, foi verificado que a penetração crítica de cloretos foi de, aproximadamente, 1,5 cm, para o CP IV, 2,4 cm para o CP V ARI e 1,3 cm para o CP II-

E. É observado que os concretos produzidos com cimentos pozolânicos (CP IV e CP II-E) têm uma concentração de cloretos menores se comparados a do concreto que moldado com CP V ARI. Por consequência, a profundidade com o teor necessário para a despassivação da armadura é menor nas vigas com cimentos pozolânicos.

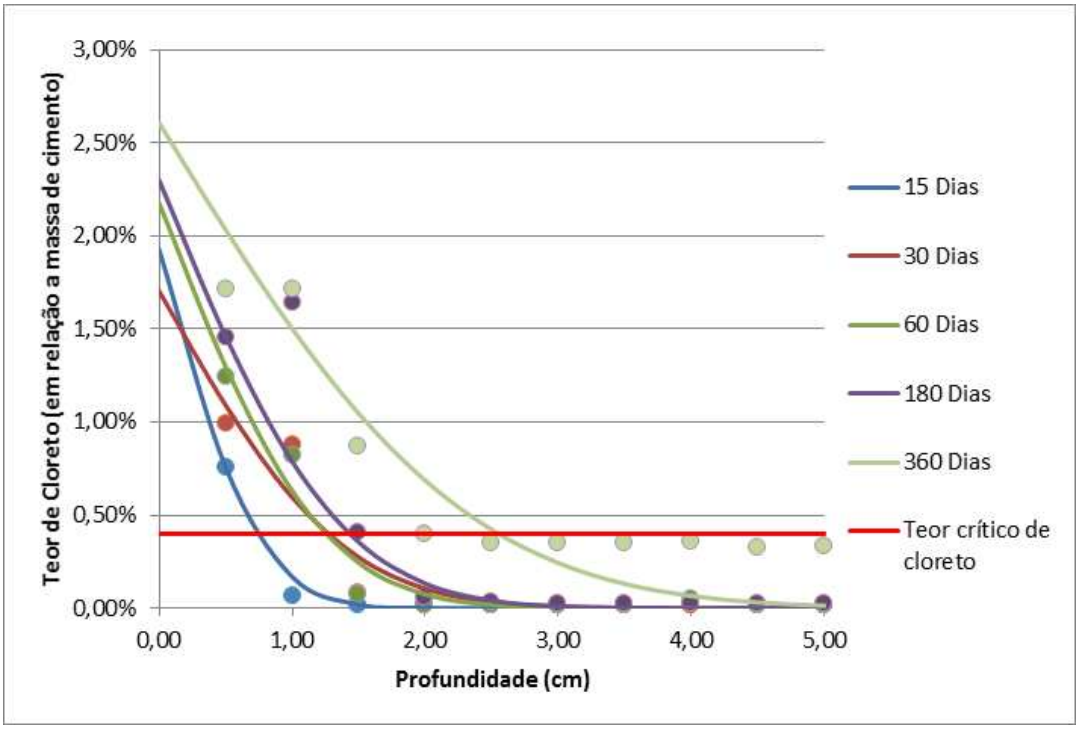


Figura 6: Penetração de cloretos em concretos com CP IV.

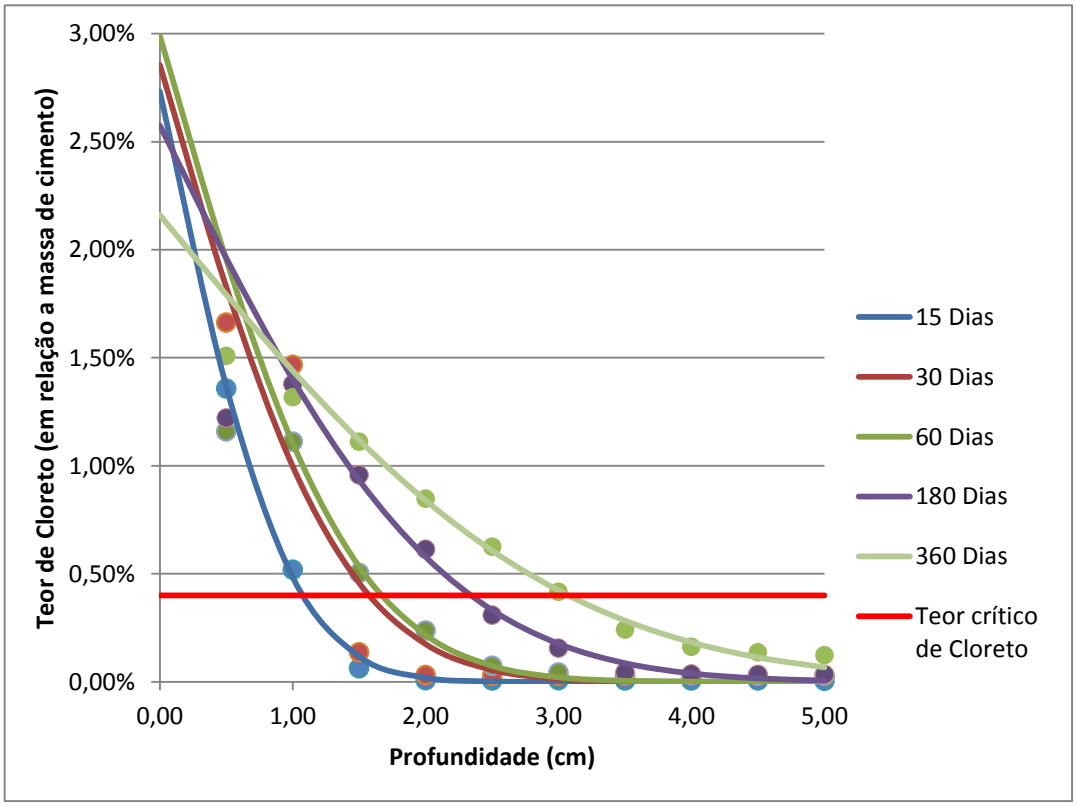


Figura 7: Penetração de cloretos em concretos com CP V ARI.

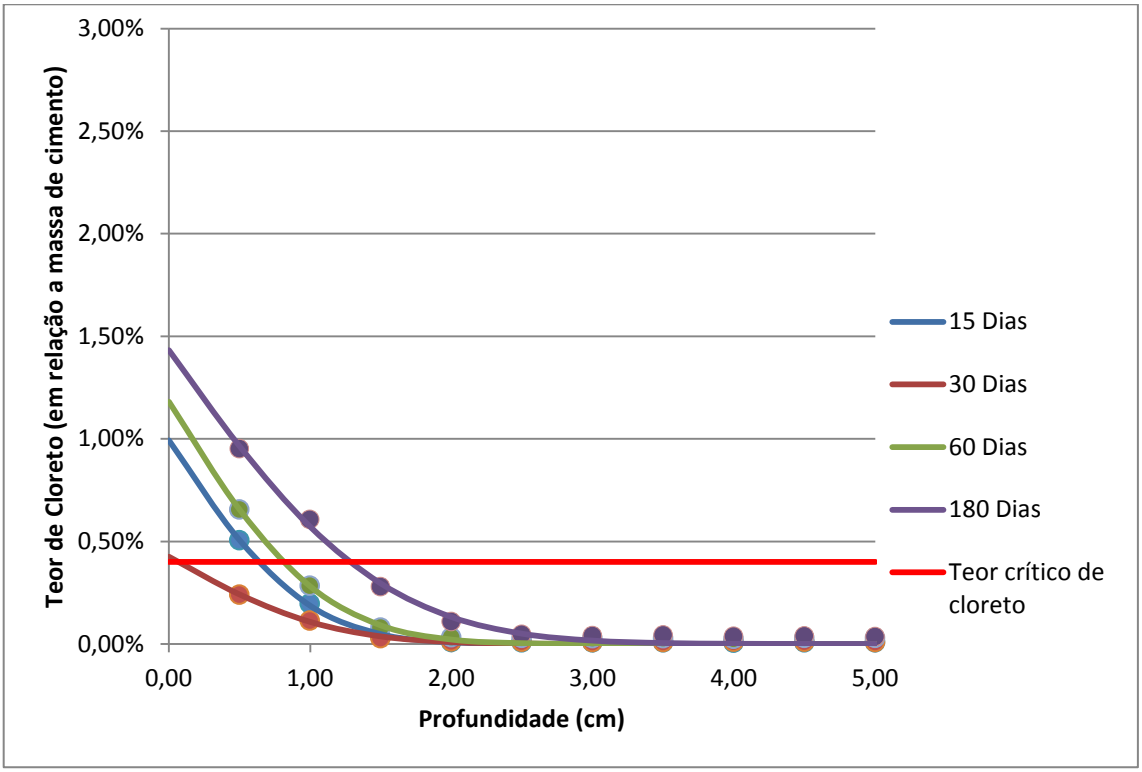


Figura 8: Penetração de cloretos em concretos com CP II-E.

Esse comportamento é provocado pela reação pozolânica presente nos concretos. Esse fenômeno consiste na reação provocada entre a pozolana e o hidróxido de cálcio formando um composto com ações cimentantes (CSH) resultando numa densificação do concreto impedindo a penetração dos íons cloreto. Também existe o efeito físico chamado de Microfiler, que consiste, também, na densificação do concreto. Como as partículas da pozolana têm um diâmetro menor que as partículas de cimento, essas partículas ocupam espaços vazios da mistura provocando no tamponamento dos poros impedindo o avanço dos íons cloreto.

Em geral a penetração de cloretos foi bastante significativa, se levada em consideração que, em um ano, a penetração crítica alcançou a profundidade de até 3,0 cm, ultrapassando a capa protetora de concreto de muitas edificações presentes no país, atingindo o aço dessas estruturas, assim, iniciando o processo de despassivação da armadura.

4.2 Análise dos coeficientes de difusão e concentração superficial

Numa tentativa de observar a evolução de Cs e D, obtidos através da solução da 2ª Lei de Fick (2), é apresentada a variação do Coeficiente de Difusão e Concentração Superficial respectivamente apresentados nas Figuras 9 e 10.

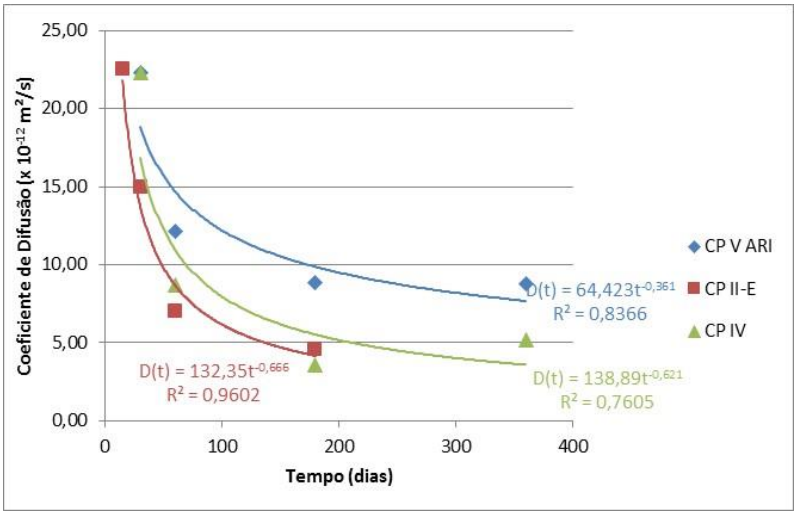


Figura 9: Comparação do Coeficiente de Difusão entre os concretos com CP V, CP IV e CP II-E e suas respectivas linhas de tendência.

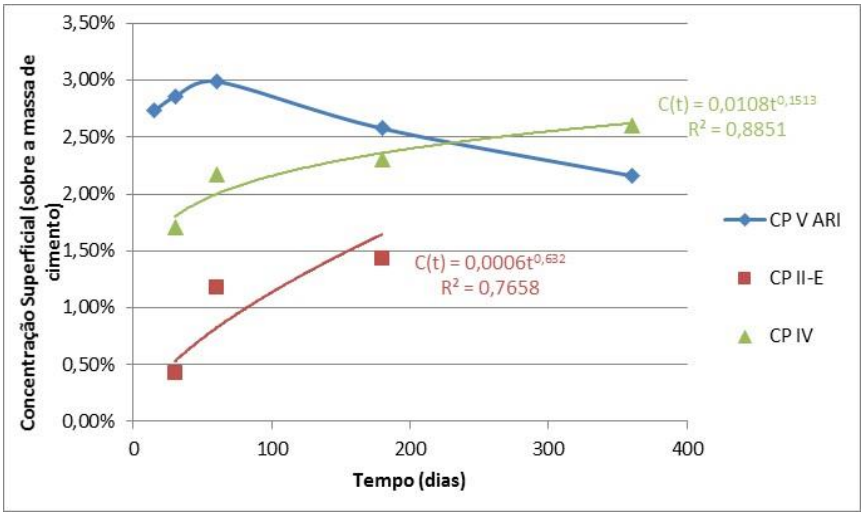


Figura 10: Comparação da Concentração Superficial entre os concretos com CP V, CP IV e CP II-E e as linhas de tendência CP IV e CP II-E.

Em todos os tipos de concretos, analisados em laboratório, foi observado que D decresceu com o passar do tempo, conforme citado por Andrade (2005). É observado, também, que os coeficientes dos concretos pozolânicos (CP IV e CP II-E) foram menores que os do CP V ARI. Isso é devido a maior dificuldade que os íons cloreto têm de avançar nos concretos pozolânicos devido a reação pozolânica e ao efeito Microfiler, já citados anteriormente.

Com esse comportamento, foi possível traçar linhas de tendência bastante aderentes com as linhas descritas por Costa e Appleton (1999), Equação 3, com apenas uma dificuldade na determinação de D_0, que não satisfaz a literatura. Portanto, é necessário a analise em idades

maiores para a obtenção de dados mais precisos para tentar atender esse parâmetro da literatura.

A concentração superficial teve um comportamento esperado de crescimento nos concretos CP II-E e CP IV, permitindo assim, traçar linhas de tendência satisfatórias. Já no concreto CP V ARI não foi possível traçar uma linha de tendência compatível com a de outros trabalhos. Isso é devido ao comportamento anormal dos pontos da concentração superficial em relação ao tempo que tendeu a decrescer com o passar do tempo conforme é ilustrado na Figura 11.

Esse comportamento é originado pelo efeito de pico derivado da zona de absorção presente no perfil de concreto, que ocorre nas profundidades mais superficiais do material (de 0,0 a 1,0 cm de espessura). Esse fenômeno é caracterizado por um aumento ou estagnação da concentração de cloretos nas menores profundidades da estrutura. Isso traz como consequência uma anomalia no ajuste da Equação 2. A solução da 2ª Lei de Fick trabalha somente com a difusão e não leva em consideração a absorção e secagem da peça. Uma solução para tal comportamento é, conforme citado por André Tavares da Cunha Guimarães e Paulo Roberto do Lago Helene (2004), ignorar os pontos onde ocorrem o crescimento dos teores de cloretos e ajustar somente os valores após o efeito de pico. Isso traz, por consequência, uma extrapolação da linha ajustada podendo descaracterizar a concentração superficial, assim, podendo impossibilitar o traçado de uma linha de tendência adequada para o comportamento de Cs.

Porém, apesar desse comportamento, é possível observar que, na zona de difusão pura, os teores de cloretos em grandes idades foram maiores que os teores de menores idades. Portanto, a evolução da penetração de cloretos foi conforme prevista na literatura.

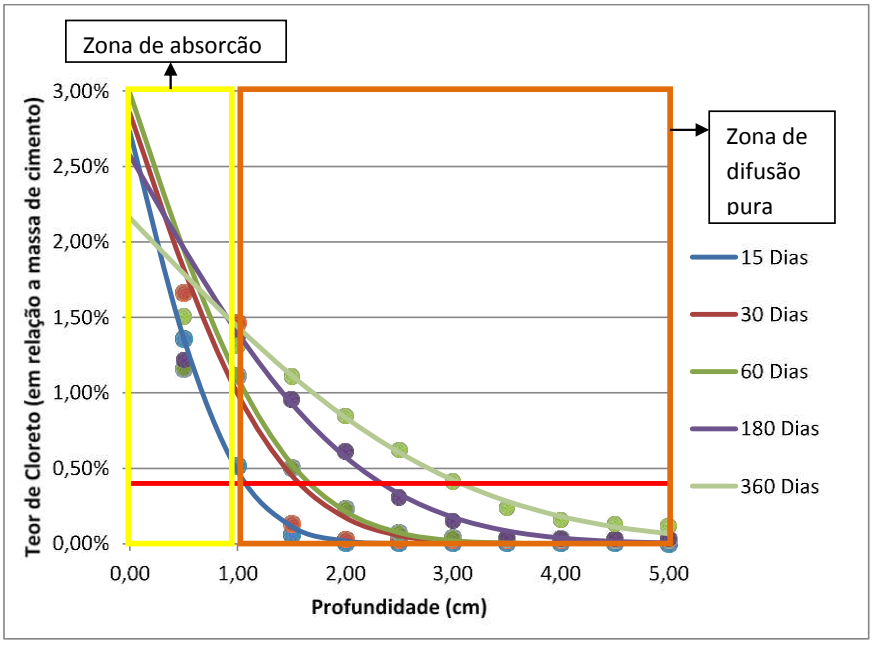


Figura 11: Penetração de cloretos no concreto com CP V ARI destacando as zonas de absorção e de difusão pura do perfil.

4.3 Comparação entre outros trabalhos da literatura

Para a realização deste trabalho foi feita uma pequena meta-analise com oito trabalhos com ensaios não acelerados encontrados na literatura. São eles: MEIRA et al., 2007; LIN et al, 2007; J.M. Khatib, 2001; W. Chalee, 2009; COSTA et al., 1999; Mangat & Limbachiya, 1999; Oh & Jang, 2007, Guimarães & Helene, 2007 . Com esses trabalhos foram feitos ajustes semelhantes aos feitos com os dados do presente trabalho possibilitando, então, realizar pequenas comparações entre os perfis obtidos em cada trabalho, podendo assim, analisar a evolução de Cs, Figura 12, e D, figura 13.

Na avaliação dos trabalhos encontrados foi possível perceber que, as evoluções de Cs tenderam a se agrupar em três grupos distintos, caracterizados pelo local e/ou maneira das quais os corpos de prova foram expostos, conforme é ilustrado pela Figura 12. Os trabalhos que expuseram seus corpos de prova imersos em solução salina tenderam a ter grandes concentrações em pequenas idades devido a agressividade do ambiente. Os artigos que expuseram seus materiais em zona de variação de maré, caracterizada pela molhagem e secagem do material, apresentaram, teores bastante elevados de concentração de cloretos, também, derivados da grande agressividade do meio em que se encontraram.

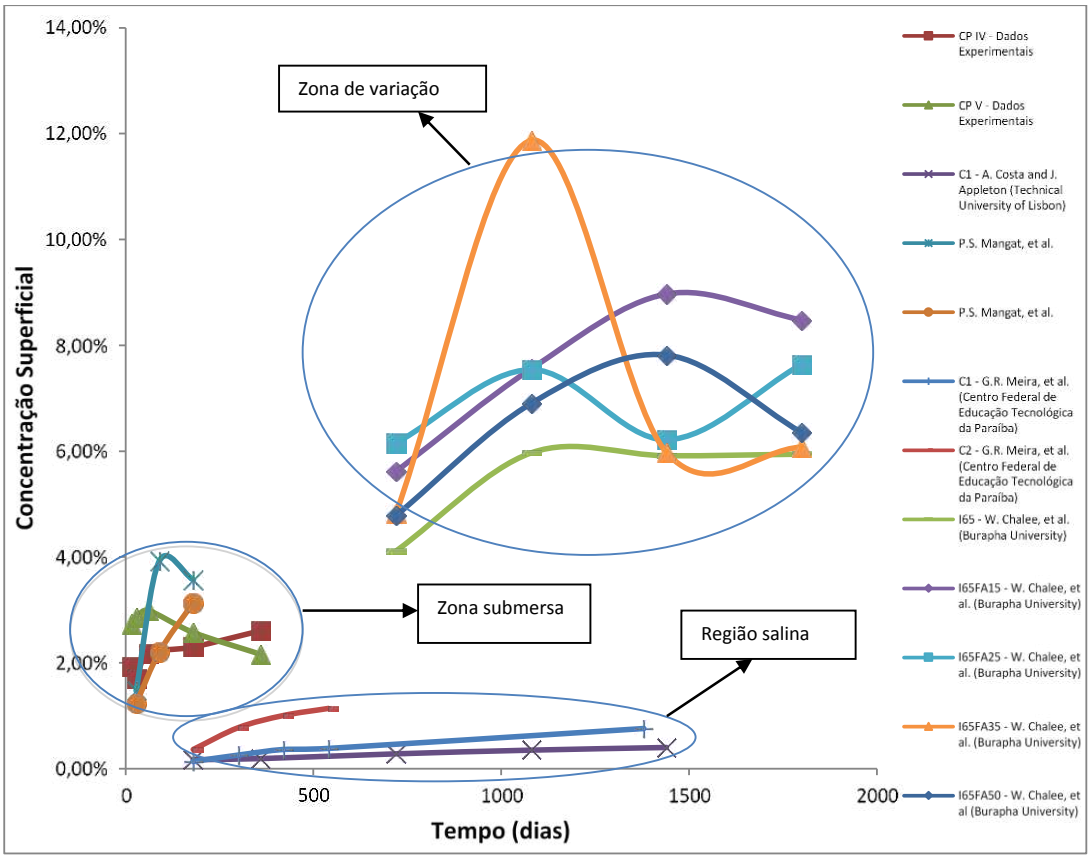


Figura 12: C em função do tempo para os trabalhos avaliados.

Novamente, é possível observar a variação desordenada de Cs devido a absorção e secagem da peça, provocando um efeito de pico causando a variabilidade da concentração superficial. Contudo, em idades futuras, os concretos moldados pela pesquisa presente, podem se encontrar na mesma posição da zona de grandeza que aos dados das pesquisas realizadas na zona de transição, tornando de extrema importância a continuação de coleta de dados.

Por último, foi observada a existência do grupo de dados referente a exposição de estruturas em regiões salinas, que ficam a uma certa distância da água, nesses casos de 10 a 100 m de distância do mar. Esses corpos de prova apresentaram uma concentração de cloretos pequenas em grandes idades, se comparadas aos das outras zonas. Nota-se que, por não ter o efeito de absorção e secagem, as concentrações superficiais cresceram de maneira ordenada possibilitando assim traçar uma linha de tendência confiável, Figura 12. Ao comparar os valores de D em função do tempo percebe-se que todos têm um comportamento parecido de decrescimento nas maiores idades. Nota-se, também, que, em pequenas idades, os concretos obtiveram um coeficiente de difusão elevado, conforme é previsto pela literatura.

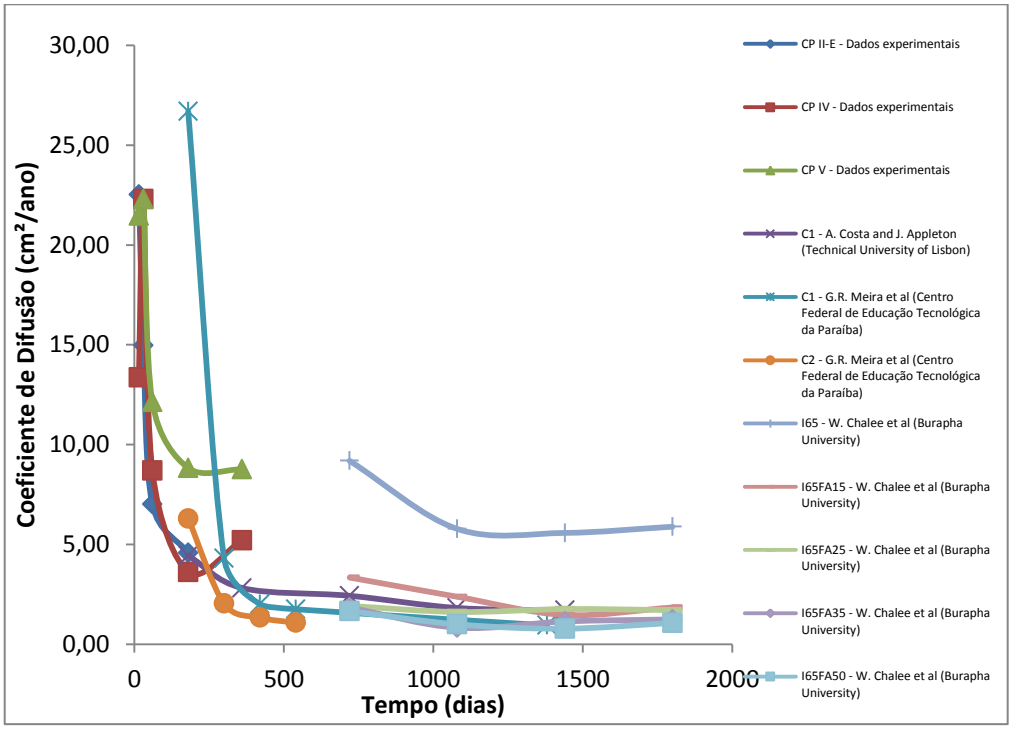


Figura 13: D em função do tempo para os trabalhos avaliados.

A tabela 4 apresenta as linhas de tendência de D e Cs obtidas nas análises dos trabalhos estudados. Essa tabela ressalta a necessidade que esse estudo deve ter de continuar para encontrar melhores ajustes para os dados analisados. Já que os valores de r^2, que representam a qualidade dos ajustes encontrados (que devem tender a 1) foram baixos, Assim, tornando imprecisa a previsão da penetração de íons cloreto nas estruturas em futuras idades.

Tabela 4: Equações C(t) e D(t) .

Referência	Equações ajustadas	r^2
CP IV	$C(t) = 0{,}0108t^{0{,}1513}$	0,885
	$D(t) = 138{,}89t^{-0{,}621}$	0,761
CP II-E	$C(t) = 0{,}0006t^{0{,}632}$	0,766
	$D(t) = 132{,}35t^{-0{,}666}$	0,96
CP V ARI	Não determinado	-
	$D(t) = 64{,}423t^{-0{,}361}$	0,837
MEIRA et al., (2007)	$C(t) = 0{,}0024.t^{0{,}808}$	0,967
	$D(t) = 35783.t^{-1{,}526}$	0,805

Referência	Equações ajustadas	r^2
COSTA *et al.* (1999)	$C(t) = 0{,}0165.t^{0{,}4337}$	0,963
	$D(t) = 43{,}712.t^{-0{,}449}$	0,9699
MANGAT *et al.* (1999)	$C(t) = 0{,}2938.t^{0{,}51}$	0,7982
	$D(t) = 6297{,}8.t^{-1{,}031}$	0,9308
MEIRA et al. (2007)	$C(t) = 0{,}0017.t^{1{,}054}$	0,9528
	$D(t) = 25924.t^{-1{,}624}$	0,9635
CHALEE *et al.* (2009)	$C(t) = 0{,}3368.t^{0{,}3922}$	0,7108
	$D(t) = 215{,}42.t^{-0{,}495}$	0,6913

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho mostrou, com eficiência, que a penetração de cloretos é influenciada de maneira significativa pelo tipo de cimento que é empregado na mistura do concreto. Os concretos com presença de pozolanas apresentaram um rendimento mais satisfatório a

infiltração de íons cloreto devido a reação pozolânica e ao efeito Microfiler. Ambas ações provocam a densificação do material trancando a passagem do Cl-.

Para efeito de comparação, o CP IV atingiu uma espessura de avanço crítico de penetração de 3,0 cm enquanto o CP V ARI atingiu 2,5 cm dessa espessura. Resultando em 0,5 cm de diferença de segurança para a armadura do concreto armado em, somente, um ano de exposição. Se comparado ao CP II-E na idade de 180 dias, essa diferença sobe para 1,1 cm, já que o mesmo teve uma penetração de 1,3 cm, enquanto o CP V ARI já estava com 2,4 de sua espessura comprometida nessa idade.

Fenômeno que pôde ser visualizado, também, pelos coeficientes de difusão, já que os valores obtidos com o concreto com CP V ARI foram os maiores entre os concretos ensaiados. Todos os concretos foram moldados com uma relação água/cimento e resistência mecânica aproximados, tornando possível afirmar que a durabilidade do material não depende somente desses dois parâmetros. Ela também depende do tipo de cimento que é empregado na mistura desse concreto.

Esse trabalho também constatou que, conseguiu valores similares aos de trabalhos semelhantes provando que tem uma boa aderência com a literatura. Mas, deve-se ressaltar, que é necessária a continuidade da pesquisa para obter ajustes mais precisos de Cs e D, para tornar possível uma previsão efetiva da penetração de íons cloretos no concreto em idades avançadas. Podendo assim, calcular a vida útil de uma estrutura de concreto armado.

6. REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2007.

ANDRADE, J. J. O. **Contribuição à previsão da vida útil das estruturas de concreto armado atacadas pela corrosão de armaduras: iniciação por cloretos.** 2001. 255 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ANDRADE, J. J. O. **Vida útil das estruturas do concreto. In: ISAIA, Geraldo (Org.). Concreto: ensino, pesquisas e realizações**. São Paulo: Ibracon, 2005.

CALÇADA, L. M. L. **Estudo da eficácia do ensaio de migração em condições de fluxo não estacionário na previsão da penetração de cloretos em concreto.** 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

CASCUDO, O. P.. **Inspeção e diagnóstico de estrutura de concreto com problemas de corrosão da armadura.** Concreto, ensino, pesquisa e realizações, 2005.

COSTA, A.; APPLETON, J. **Chloride penetration into concrete in marine environment – Part II: Prediction of long term chloride penetration.** Scientific Reports: Materials ans Structures, Vol. 32. 1999. p 354-359

GUIMARÃES, A. T. C., HELENE, P. R. L. (2005). **"Chloride diffusion and the influence of the saturation degree of the concrete"**, in. Third RILEM Workshop on Testing and Modelling the Chloride Ingress into Concrete, eds C. Andrade, J. Kropp, RILEM, Madrid, pp. 237-256.

GUIMARÃES, A. T. and P. R. HELENE. **Modelo para previsão de vida útil residual utilizando perfil de cloreto com pico**. Teoria e Prática na Engenharia Civil: 11-21, 2004.

KHATIB, P. M. J. M. **Influence of high-temperature and low-humidity curing on chloride**, 2001

LIN, G., Y. Liu, et al.. **Numerical modeling for predicting service life of reinforced concrete structures exposed to chloride enviroments**. Cement and Concrete Composites, 2010

MEIRA, G. R., ANDRADE, C., ALONSO, C., PADARADTZ, I. J., BORBA JR, J. C. (2007). **Chloride penetration into concrete structures in the marine atmosphere zone – relationship between deposition of chlorides on the wet candle and chlorides accumulated into concrete**, Cement and Concrete Composites, 29. 2007. p 667 – 676.

MANGAT, P., LIMBACHIYA, M. **Effect of initial curing on chloride diffusion in concrete repair materials.** Cement and Concrete Research, 1999. p. 1475-1485.

OH, B. H. and S. Y. JANG. **Effects of material and environmental parameters on chloride penetration profiles in concrete strutures**. Cement and Concrete Research: 47-53, 2007.

W. CHALEE, C. J. **Predicting the chloride penetration of fly ash concrete in seawater.** Marine Structures, 2009. p. 342-353.