

COMPORTAMENTO DOS PERFIS DE CLORETO CONSIDERANDO A VARIÇÃO DE CS E A FORMAÇÃO DE PICO NO CONCRETO DOS TETRÁPODES DO MOLHE LESTE DA BARRA DO RIO GRANDE RS

Leandro Gularte Blois¹
leandroblois.eng@gmail.com

André T. da Cunha Guimarães²
atcg@vetorial.net

ÁREA: REABILITAÇÃO

Resumo

O comportamento dos perfis de cloretos considerando a variação da concentração de cloretos na superfície (CS) e a concentração de cloretos no pico do concreto dos tetrápodes do molhe leste da Barra do Rio Grande RS tem por finalidade observar a dinâmica do processo com o passar do tempo. Com a chegada de uma nova estação do ano, no litoral sul, que faz com que aumente ou diminua o índice pluviométrico de água doce na região, permite a oscilação do comportamento do percentual de cloretos no concreto nesse ambiente. Assim, torna-se viável a análise do comportamento para possível aplicação em estruturas de concreto armado em ambientes similares visando analisar a durabilidade das estruturas em concreto armado. Os métodos utilizados para elaboração do trabalho foram à utilização de dados e informações das pesquisas de Guimarães (2003), Silva (2010) e Oliveira (2013), os quais consideraram apenas a variação de CS, incluindo, neste trabalho, a formação de pico dos perfis. O monitoramento da concentração de cloretos no concreto dos tetrápodes do molhe leste da Barra do Rio Grande RS começou aos 5 anos, sendo avaliado após, aos 9,5 e posteriormente aos 15 anos. Logo, utilizando esses dados como referências, realizou-se uma nova avaliação levando em consideração, além da concentração superficial de cloretos (CS) no concreto dos tetrápodes do Molhe Leste, a formação de pico nos perfis de cloretos já existentes. Os resultados obtidos foram satisfatórios mostrando que, além dos modelos de perfis cloretos considerando a variação CS a criação de modelos de perfis de cloretos considerando CP também é viável em ambientes onde acontece esse processo.

Palavras-chave: Concreto
Ambiente marítimo
Cloretos
Durabilidade

¹ Mestre em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Escola de Engenharia.

² Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Escola de Engenharia.



COMPORTAMIENTO DE LOS PERFILES DE CLORURO CONSIDERANDO LA VARIACIÓN DE CS Y LA FORMACIÓN DE PICO EN EL CONCRETO DE LOS TETRÁPODES DEL MOLLETE LESTE DE LA BARRA DEL RÍO GRANDE RS

Leandro Gularte Blois³

leandroblois.eng@gmail.com

André T. da Cunha Guimarães⁴

atcg@vetorial.net

AREA: REHABILITACIÓN

Resumen

El comportamiento de los perfiles de cloruros considerando la variación de la concentración de cloruros en la superficie (CS) y la concentración de cloruros en el pico del concreto de los tetrápodos del mohe este de la Barra del Rio Grande RS tiene por finalidad observar la dinámica del proceso con el paso del proceso tiempo. Con la llegada de una nueva estación del año, en el litoral sur, que hace que aumente o disminuya el índice pluviométrico de agua dulce en la región, permite la oscilación del comportamiento del porcentual de cloruros en el concreto en ese ambiente. Así, se hace viable el análisis del comportamiento para posible aplicación en estructuras de hormigón armado en ambientes similares para analizar la durabilidad de las estructuras en hormigón armado. Los métodos utilizados para la elaboración del trabajo fueron a la utilización de datos e informaciones de las investigaciones de Guimarães (2003), Silva (2010) y Oliveira (2013), los cuales consideraron sólo la variación de CS, incluyendo, en este trabajo, la formación de pico de los perfiles. El monitoreo de la concentración de cloruros en el concreto de los tetrápodos del mohe este de la Barra del Río Grande RS comenzó a los 5 años, siendo evaluado después, a los 9,5 y posteriormente a los 15 años. Por lo tanto, utilizando estos datos como referencias, se realizó una nueva evaluación tomando en consideración, además de la concentración superficial de cloruros (CS) en el concreto de los tetrápodos del Molhe Este, la formación de pico en los perfiles de cloruros ya existentes. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios mostrando que, además de los modelos de perfiles cloruros considerando la variación CS la creación de modelos de perfiles de cloruros considerando CP también es viable en ambientes donde ocurre ese proceso.

Palabras clave: Hormigón

Ambiente marítimo

Cloruros

Durabilidad

³ Mestre em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Escola de Engenharia.

⁴ Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Escola de Engenharia.

Introdução

É de conhecimento geral que, em Rio Grande, no estado do Rio Grande do Sul - Brasil, há um crescimento elevado das obras de infraestrutura relacionadas à região costeira e portuária. Portanto, torna-se viável estudar, desenvolver e aprimorar modelos matemáticos de análise de perfis de cloreto existentes e que poderão ser aplicados em projetos futuros de estruturas de concreto armado em ambientes marítimos.

O ambiente marítimo é um dos meios mais agressivos ao concreto armado, tendo como principal agente propulsor de ataque os íons cloreto, no qual, ao atingir a barra de aço em um teor de aproximadamente 0,4% em relação à massa de cimento despassiva a armadura, iniciando o processo de corrosão (Helene, 1993).

Os tetrápodes não apresentam problemas com penetração de cloretos, pois não possuem armadura estrutural. O estudo da penetração de cloretos nos tetrápodes do Molhe Leste da Barra do Rio Grande RS tem por finalidade estudar a formação de perfis de cloretos para aplicar em ambientes similares. A aplicação destes modelos também pode ser feita em projetos de estruturas marítimas de concreto armado para as diferentes estações do ano (verão, outono, inverno e primavera), analisando as variáveis envolvidas no processo de desgaste superficial e deterioração estrutural do concreto através do traçado de perfis cloreto.

O concreto

O concreto utilizado para elaboração dos tetrápodes foi o concreto massa com cimento Serrana, Portland especial para pré-moldados (CEP - 32), com finura Blaine entre 390 e 440, de alta resistência inicial, resistente a sulfatos e com, aproximadamente, 12% de cinza volante (CIENTEC, 1997).

Foram utilizados pedra granítica como agregado graúdo e areia quartzosa como agregado miúdo. O concreto deveria alcançar 15 Mega Pascal (MPa) para ser considerado propício para desforma, o que era previsto em 24 h, e a resistência à compressão nominal aos 28 dias de projeto era de 26 MPa. A relação a/c variou bastante, ou seja, de 0,37 a 0,60 (Silva, 2010), sendo que a maioria dos valores se apresentou em torno de 0,50. A resistência à compressão aos 28 dias (fck) apresentou valores entre 27,6 MPa e 53,3MPa, sendo que a média foi de aproximadamente 32MPa (FURG, 1997-1998).

Crank (1975) representa a variação de C_s no concreto em função da raiz do tempo através da Equação 1 e a Equação 2 é a solução da segunda Lei de Fick considerando a mesma condição.

$$C(x=0) = C_{svar} = kt^{1/2} \quad (1)$$

$$Mt = \frac{1}{2} kt (\pi DC_{svar})^{1/2} \quad (2)$$

O tempo equivalente (t_{eq}) para C_{sconst} no qual se obtém um perfil igual para a mesma idade sem alterar o coeficiente de difusão de cloretos, próprio do concreto, é utilizado para igualar os perfis.

$$ttroca = 1,62. teq$$

(3)

O ambiente da pesquisa

A obra de Engenharia pesquisada localiza-se no Molhe Leste da Barra do Rio Grande RS - Brasil. O ambiente foi estudado por Guimarães (2003), obtendo perfis de cloretos para a idade de 5 anos, por Silva (2010) elaborando os perfis de cloretos restantes aos 5 anos e realizando os perfis aos 9,5 anos e por Oliveira (2013) traçando os perfis de cloretos para os 15 anos de idade.

Os molhes da barra têm a finalidade de manter a profundidade do canal de acesso ao complexo portuário da cidade do Rio Grande e dar segurança às embarcações que dele se utilizam. Foram construídos nos anos entre 1910 e 1919, partindo do litoral para o oceano, visto que o Molhe Leste tinha um comprimento de 4220 metros (m) (Fig. 1) e o Molhe Oeste com 3160 m (Guimarães et al., 2003).



Figura 1: Molhes da Barra do Rio Grande RS. Canal de acesso ao complexo portuário de Rio Grande (Fonte: Ministério dos Transportes).

No Molhe Leste da Barra do Rio Grande RS, foram determinados pontos por Guimarães, et al. (2003) de forma a serem representativos em relação ao comportamento da ação da água do mar e dos ventos naquela região, em uma mesma seção no molhe. Os pontos dos microambientes escolhidos foram denominados de MLLS, MLLM, MLOM e MLOI (Fig. 2).

O significado das siglas utilizadas por Guimarães (et al., 2003) na denominação dos microambientes pesquisados são: MLLS – Microambiente localizado no Molhe Leste, voltado para leste e em uma cota superior; MLLM – Microambiente localizado no Molhe Leste, voltado para leste e em uma cota média; MLOM – Microambiente localizado no Molhe Leste, voltado para oeste e em uma cota média; MLOI – Microambiente localizado no Molhe Leste, voltado para oeste e em uma cota inferior.

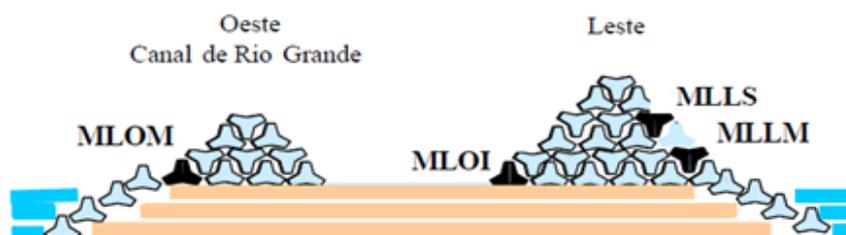


Figura 2: Esquema do Molhe Leste da Barra do Rio Grande RS com os microambientes pesquisados (Fonte: Guimarães et al., 2003).

Resultados e análises

Análise do microambiente localizado no molhe leste, voltado para leste e em cota superior - MLLS

A Figura 3 apresenta as medições de cloretos em função da profundidade, tendo por base o perfil aos 5 anos, no concreto dos tetrápodes para o microambiente MLLS com a transposição do pico para a origem do eixo x (perfil aos 5 anos ajustado com o pico na origem). Com os valores desse perfil foi possível realizar a regressão representada na Fig. 3 por modelo aos 5 anos. Então, determinou-se o teor de cloretos na superfície do concreto (C_s) pelo menor erro quadrado, 0,200 % em relação à massa de concreto. Com o valor de C_s e o respectivo ano, do microambiente MLLS, 5 anos, obteve um k (Eq. 1) de 0,0894 $\% \cdot \text{ano}^{-1/2}$ e um coeficiente de difusão de cloretos (D) (Eq. 2) $D = 134,7087 \text{ mm}^2/\text{ano}$.

A Figura 3 mostra os perfis, as regressões pelo menor erro quadrado aos 5, 9,5 e 15 anos e a previsão do comportamento do teor de cloretos em função da profundidade de 5 para 9,5 e 15 anos, estimativa de C_s fixo no tempo de troca (t_{troca}) (Eq. 3) de 45 anos e a estimativa para 50 anos.

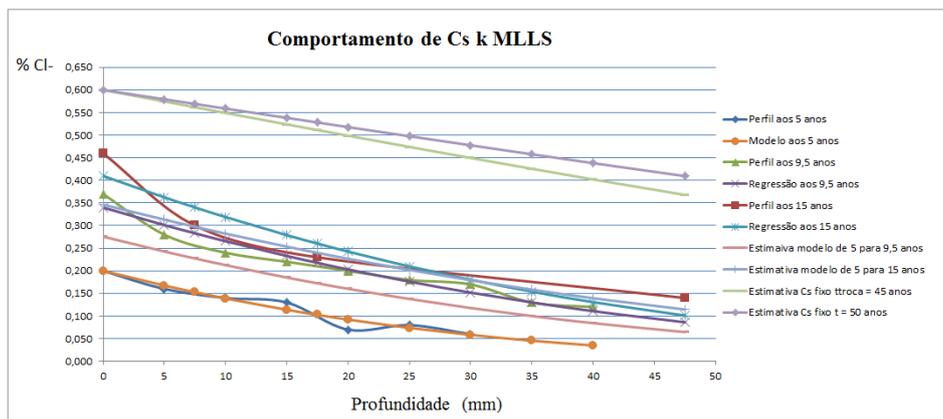


Figura 3: Comportamento do % de Cl- MLLS (k) aos 5, 9,5 e 15 anos, previsão do comportamento do teor de cloretos aos 9,5 e 15 anos, tempo de troca e estimativa de C_s fixo $t = 50$ anos.

Já a Figura 4 representa as medições de cloretos em função da profundidade, tendo por base o perfil aos 9,5 anos, para o microambiente MLLS com a transposição do pico para a origem do eixo x (perfil aos 9,5 anos ajustado com o pico na origem). A regressão está representada na Fig. 4 como modelo aos 9,5 anos. O C_s encontrado foi de 0,3400 % em relação à massa de concreto. Com C_s e o respectivo ano do microambiente MLLS, 9,5 anos, e com k (Eq. 1) de 0,1103 $\% \cdot \text{ano}^{-1/2}$, tem-se o coeficiente de difusão de cloretos de D (Eq. 2) $D = 148,0422 \text{ mm}^2/\text{ano}$.

Da mesma forma que o perfil aos 5 anos e com o objetivo de traçar um perfil de previsão, considerando além da variação de C_s a formação de pico, do comportamento do percentual de cloretos aos 5 e 15 anos, manteve-se os mesmos valores de D e k encontrados aos 9,5 anos, porém alterando a idade para 5 e 15 anos.

Portanto, para o perfil na idade de 9,5 anos, obtendo um t_{troca} de 29,58 (Eq. 3) anos e calculando um tempo equivalente (t_{eq}) de 18,26 anos, com C_s constante de 0,600%, traçou-se o perfil de cloretos para a idade de 50 anos representada por estimativa C_s fixo $t = 50$ anos.

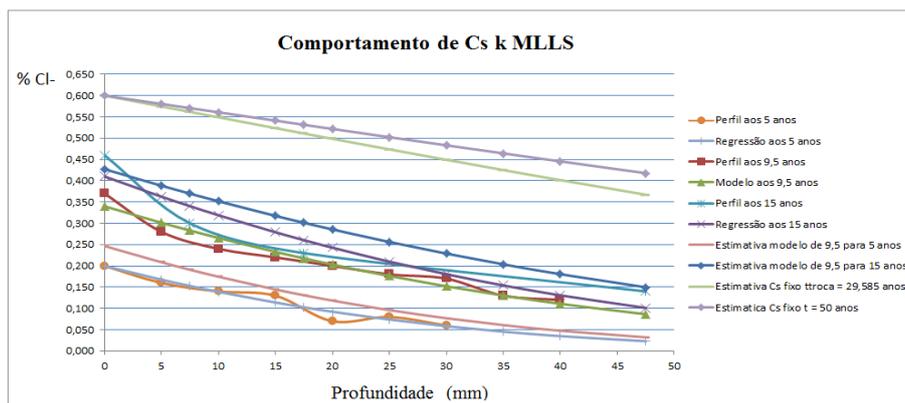


Figura 4: Comportamento do % de Cl MLLS (k) aos 5, 9,5 e 15 anos, previsão do comportamento do teor de clareos aos 5 e 15 anos, tempo de troca e estimativa de Cs fixo t = 50 anos.

E, na Figura 5, estão representadas as medições de clareos em função da profundidade no concreto dos tetrápodes para o microambiente MLLS na idade de 15 anos com a transposição do pico para a origem do eixo x. Com os valores desse perfil e pela regressão, representada na Fig. 5 por modelo aos 15 anos determinou-se o Cs do concreto pelo menor erro quadrado, chegando, 0,4100 % em relação à massa de concreto. Com Cs e o ano de estudo, 15, do microambiente MLLS obteve um k (Eq. 1) de 0,1059 %. $\text{ano}^{-1/2}$. O coeficiente de difusão de clareos encontrado foi de D (Eq. 2) = 90,6694 mm^2/ano .

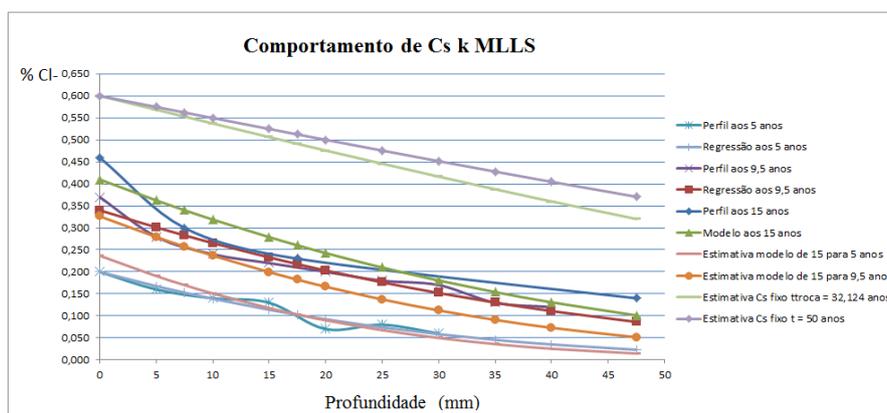


Figura 5: Comportamento do % de Cl MLLS (k) aos 5, 9,5 e 15 anos, previsão do comportamento do teor de clareos aos 5 e 9,5 anos, tempo de troca e estimativa de Cs fixo t = 50 anos.

Análise do microambiente localizado no molhe leste, voltado para leste e em cota média - MLLM

A Figura 6, traz as medições de clareos em função da profundidade no concreto dos tetrápodes para o microambiente MLLM na idade de 5 anos, com pico na origem do eixo x (perfil aos 5 anos ajustado com o pico na origem). A regressão está apresentada, na Fig. 6, por modelo aos 5 anos. A curva de regressão determina o Cs do concreto pelo menor erro quadrado, já que o pico foi deslocado para a origem, chegando ao valor de 0,300 % em relação à massa de concreto. Com Cs para a idade de 5 anos, MLLM, calculou-se um k (Eq. 1) de 0,1342 %. $\text{ano}^{-1/2}$ e um D (Eq. 2) = 798,58 mm^2/ano .

A previsão do comportamento do teor de cloretos em função da profundidade de 5 para 9,5 e 15 anos, o t_{troca} (Eq. 3), tempo a partir do qual considera-se C_s constante, e a estimativa de C_s fixo $t = 50$ anos quando o teor de cloretos atinge o seu valor máximo na superfície do concreto, 0,600 %, em relação a massa de concreto também estão apresentados no gráfico da Fig. 6.

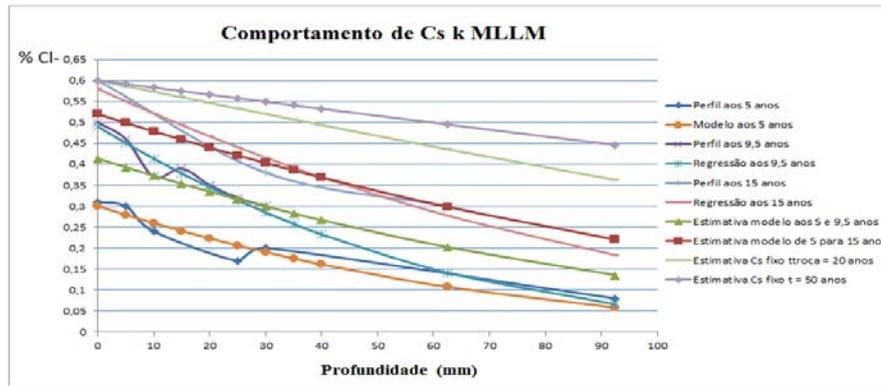


Figura 6: Comportamento do % de Cl⁻ MLLM (k) aos 5, 9,5 e 15 anos, previsão do comportamento do teor de cloretos aos 9,5 e 15 anos, tempo de troca e estimativa de C_s fixo $t = 50$ anos.

Para o perfil na idade de 5 anos, MLLM, tem-se um t_{troca} (Eq. 3) de 20 anos. Com ele, obteve-se o teq de 12,346 anos com C_s constante de 0,600 %. Logo, traçou-se o perfil de cloretos para a idade de 50 anos e para o t_{troca} , 20 anos, representado na Fig. 6 por estimativa C_s fixo $t = 50$ anos e estimativa C_s fixo $t_{troca} = 20$ anos.

As medições de cloretos em função da profundidade no concreto dos tetrápodes, MLLM, na idade de 9,5 anos, com pico na origem são representadas na Fig. 7, assim como a regressão, modelo aos 9,5 anos. Com o pico na origem, tem-se $C_s = 0,4900$ % em relação à massa de concreto, k (Eq. 1) de $0,1590 \text{ \%} \cdot \text{ano}^{-1/2}$ e o valor do coeficiente de difusão de cloretos de D (Eq. 2) = $303,04 \text{ mm}^2/\text{ano}$.

Na Figura 7 estão apresentados os perfis, as regressões pelo menor erro quadrado aos 5, 9,5 e 15 anos, a previsão do comportamento do teor de cloretos em função da profundidade de 9,5 para 5 e 15 anos e tempo de troca (Eq. 3), para C_s invariável e a estimativa de C_s fixo $t = 50$ anos quando o teor de cloretos atinge o seu valor máximo na superfície do concreto, $C_s = 0,600$ %, em relação a massa de concreto.

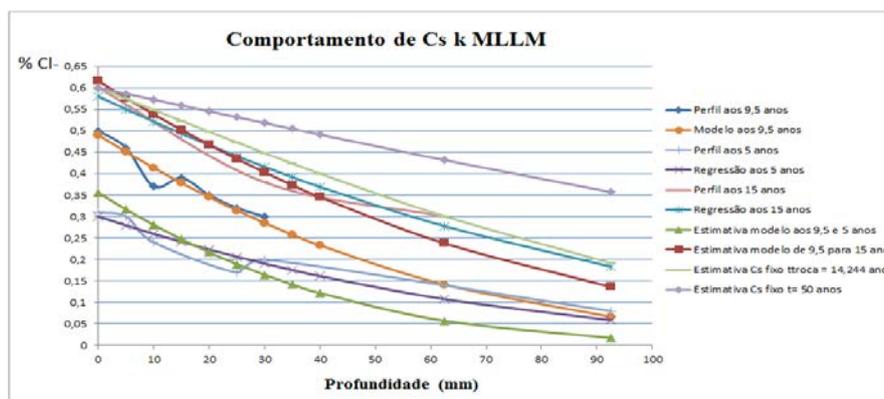


Figura 7: Comportamento do % de Cl⁻ MLLM (k) aos 5, 9,5 e 15 anos, previsão do comportamento do teor de cloretos aos 5 e 15 anos, tempo de troca e estimativa de C_s fixo $t = 50$ anos.

Já a Figura 8 mostra as medições de cloretos em função da profundidade no concreto, MLLM, na idade de 15 anos, deslocando o pico para a origem do eixo x é apresentado por modelo aos 15 anos. O Cs do concreto, com o pico na origem, ficou em 0,5800 % em relação à massa de concreto, quase atingindo o valor máximo, o qual estabiliza e se mantém constante. O k (Eq. 1) foi de 0,14,98 %·ano^{-1/2} e valor do coeficiente de difusão de cloretos D (Eq. 2) = 477,46 mm²/ano.

Os perfis, as regressões pelo menor erro quadrado aos 5, 9,5 e 15 anos e a previsão do comportamento do teor de cloretos em função da profundidade de 15 para 5 e 9,5 anos também estão dispostos na Fig. 8.

O t_{troca} (Eq. 3), para 15 anos, MLLM, k, é de 16,052 anos e o um tempo equivalente de 9,909 anos. Assim, é possível obter o perfil de cloretos para a idade de 50 anos e para o tempo de troca 16,052 anos representado por estimativa Cs fixo t = 50 anos e estimativa Cs fixo $t_{troca} = 16,052$ anos.

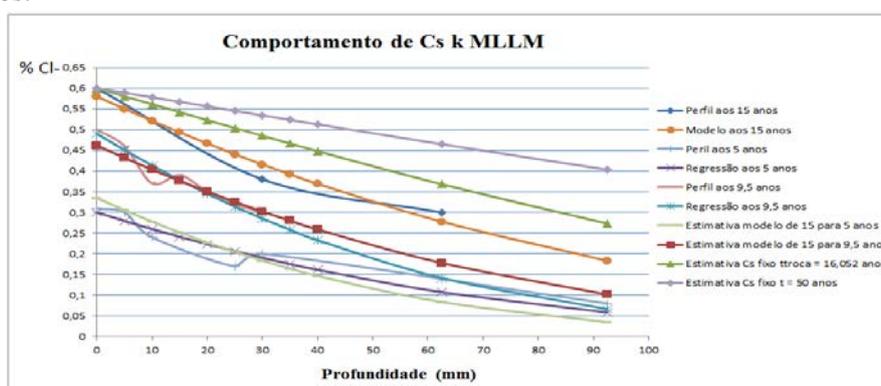


Figura 8: Comportamento do % de Cl⁻ MLLM (k) aos 5, 9,5 e 15 anos, previsão do comportamento do teor de cloretos aos 5 e 9,5 anos, tempo de troca e estimativa de Cs fixo t = 50 anos.

Comparação entre os resultados de Silva (2010) e Oliveira (2013) com a pesquisa atual

A fim de comparar os resultados obtidos na pesquisa de Silva (2010) e Oliveira (2013), considerando a variação de Cs no tempo, com os resultados obtidos na pesquisa atual, considerando a variação de Cs no tempo e a formação de pico, numericamente, calculou-se os erros relativos referentes às três pesquisas.

Os erros relativos foram calculados conforme proposto por Silva (2010), para comparar o desempenho de cada modelo, tanto para MLLS quanto para MLLM, nas três idades do estudo da penetração de cloretos no concreto. O erro relativo é calculado pela seguinte expressão:

$$E \text{ Relativo} = \frac{E \text{ Est.}}{E \text{ mín. Reg.}} \quad (4)$$

Em que:

E Est. = Erro quadrado da estimativa (entre pontos medidos e pontos estimados pelo modelo);

E Mín.Reg. = Erro quadrado mínimo da regressão (entre pontos medidos e pontos de sua regressão);

E Relativo = Erro relativo.

Logo, para que o modelo, com variação de Cs e formação de pico, seja considerado de bom desempenho ele deve apresentar um pequeno erro relativo. O cálculo dos erros relativos, considerando k, está apresentado na Tab. 1.

Silva (2010) salienta que considerou a seguinte classificação para melhor analisar os resultados obtidos. Entre 1 e 2 – **muito bom** (MB); Entre 2 e 4 - **bom** (B); Entre 4 e 10 – **regular** (Reg.); E, maior que 10 – **ruim** (R).

A tabela 1 apresenta, de forma resumida, todos os resultados, numericamente, entre o modelo de Silva (2010), a aplicação do modelo de Silva (2010) por Oliveira (2013) considerando apenas a variação de Cs no tempo e a presente pesquisa levando em consideração tanto a variação de Cs no tempo quanto a formação de pico.

Tabela 1 – Comparativo de Silva (2010) e Oliveira (2013) considerando variação de Cs no tempo e 2017 considerando a variação de Cs no tempo e a formação de pico.

COMPARATIVO DE ERROS RELATIVOS CONSIDERANDO k										
MICROAMBIENTE	D 5 anos Erro relativo mm ² /ano					D 9,5 anos Erro relativo mm ² /ano				
	Estimativas	D Silva (2010)	Erro ²	D atual (2017)	Erro ²	Estimativas	D Silva (2010)	Erro ²	D atual (2017)	Erro ²
MLLS	5//9,5	179,23	3,040	134,71	7,814	9,5//5	129,01	34,370	148,04	10,349
	5//15	179,23	2,040	134,71	2,082	9,5//15	129,01	2,080	148,04	1,692
MLLM	5//9,5	593,15	5,070	798,58	4,900	9,5//5	451,80	12,550	303,04	2,250
	5//15	593,15	3,050	798,58	2,050	9,5//15	451,80	4,090	303,04	1,370
Classificação do Erro Relativo		1 a 2 MUITO BOM		2 a 4 BOM		4 a 10 REGULAR		>10 RUIM		
D 5 anos 5/9,5 - 5/15		Coeficiente de difusão de cloretos aos 5 anos, erro relativo das estimativas de 5 para 9,5 anos e de 5 para 15 anos								
D 9,5 anos 9,5/5 - 9,5/15		Coeficiente de difusão de cloretos aos 9,5 anos, erro relativo das estimativas de 9,5 para 5 anos e de 9,5 para 15 anos								

Com D aos 5 anos, MLLS, as previsões se mostraram mais coerentes para os perfis de cloretos que levam em consideração a variação de Cs no tempo e a formação de pico, pois a estimativa de 5/9,5 anos foi a que mudou em faixa de cores e valores. O recálculo e o cálculo para D aos 5 anos também ficaram com bom desempenho diminuindo em valores para a pesquisa atual para MLLM de 5 para 9,5 anos.

Para D aos 9,5 anos, a variação do recálculo, Silva (2010), e do cálculo, Oliveira (2013), para MLLS e MLLM se mostrou menos eficiente, tendo dois desempenhos ruins. O resultado do recálculo e do cálculo para a estimativa de 9,5 para 5 anos, MLLS, e de 9,5 para 5 anos, MLLM tiveram seus desempenhos menos satisfatórios que os cálculos atuais. Embora no cálculo atual, de 9,5 para 5 anos, o resultado obtido tenha sido ruim, ele melhorou muito passando de 34 para 10. Os demais cálculos atuais melhoraram bastante, tanto em faixa de cores quanto valores.

O modelo atual tem um desempenho muito bom, se comparado com o modelo existente. O modelo de Silva (2010), em algumas estimativas, se mostra também eficiente, porém com duas estimativas de desempenho não satisfatório. Contudo, não significa que um ou outro é melhor ou pior modelo para estimar comportamentos de Cs em concretos em ambientes marítimos, mas sim que os dois podem ser utilizados, cada um com suas peculiaridades, buscando prever e estimar a intensidade do ataque de cloretos em estruturas de concreto armado.

Conclusões

Todos os perfis de cloretos originais medidos, dos microambientes MLLS e MLLM, do molhe leste da barra do Rio Grande RS aos 5, 9,5 e 15 anos, apresentaram pico no teor de cloretos em alguma profundidade.

Referente à durabilidade, os perfis de 5 anos ainda são de pouca idade para usar como estimativa de vida útil residual em estruturas de concreto armado. No entanto, os perfis com 9,5 e 15 anos podem ser utilizados para realizar essas estimativas, mas levando em consideração que os percentuais de teor de cloretos podem ter seus valores de Cs aumentado. Entretanto, aos 15 anos, para o microambiente MLLM, estima-se que o valor Cs seja o máximo de 0,600 % em relação à massa de concreto. Sendo assim, tem-se uma expectativa de que Cs não varia mais e pode ser considerado fixo, a partir do tempo de troca, ao longo do tempo.

Deseja-se continuar monitoramento os tetrápodes no Molhe Leste da Barra do Rio Grande RS - Brasil ao longo do tempo para verificar se Cs está estabilizado e apurar a previsão do modelo para idades maiores.

Bibliografia

(1) HELENE, P. R. L. – **Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. São Paulo, 1993. Tese (livre docência), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Civil.

(2) CIENTEC, 1997. **Relatórios de ensaios realizados durante a execução dos tetrápodes**. Porto Alegre, 1997.

(3) SILVA, C. A., 2010. **Comportamento dos perfis de cloreto em tetrápodes localizados nos molhes da barra (Rio Grande – RS – Brasil)**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande.

(4) FURG – Fundação universidade Federal do Rio Grande, Centro de Pesquisas e Orientação Industrial. **Relatórios de Ensaios Realizados Durante a execução dos Tetrápodes. Rio Grande**, 1997 a 1998.

(5) CRANK, 1975. **The Mathematics of Diffusion**, second ed., Oxford Univ. Press, Oxford, UK.

(6) GUIMARÃES, A. T. C.; BANDEIRA, F.; GUIMARÃES, D.; PENNA, L., 2003. **Durabilidade de Tetrápode de Concreto Contaminado com Íons Cloreto: estudo de caso**. 45º Congresso Brasileiro do Concreto, Espírito Santo. Anais.

(7) OLIVEIRA, J. C. P. **Projeto de graduação: Avaliação de Modelo Considerando a Avaliação no Tempo do Teor de Cloretos na Superfície**. Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Escola de Engenharia, 2013.