

APLICAÇÃO DE MODELO DE PREVISÃO PARA ANÁLISE DA PENETRAÇÃO DE CLORETOS NA CIDADE DE PELOTAS/RS

CARINA FARIAS FERREIRA¹; CHARLEI MARCELO PALIGA²; ARIELA DA SILVA TORRES³

¹Universidade Federal de Pelotas – carinafferreira@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Pelotas – charlei.paliga@ufpel.edu.br

³Universidade Federal de Pelotas – arielatorres@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Segundo Vieira (2003), a frequência da ocorrência de problemas relacionados à corrosão de armaduras de estruturas de concreto evidencia a necessidade de buscar soluções que contribuam para minimizar este processo de deterioração e sua evolução nestas estruturas. Assim, como forma de estimar a degradação destas ao longo do tempo, diversos modelos de previsão de vida útil vem sendo desenvolvidos referentes à penetração de cloretos, devido a este ser um dos principais agentes agressivos que comprometem o desempenho e vida útil de estruturas de concreto.

Para Possan (2010), o emprego deste método, é sugerido tanto para estruturas existentes como uma forma de planejar as intervenções de manutenção e reparo em longo prazo, quanto para novas estruturas, sendo aconselhável a aplicação na fase de projeto, como uma maneira de avaliar se a estrutura construída terá a vida útil de serviço especificada. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo analisar através de modelos de previsão, a penetração de cloreto em elementos de concreto na cidade de Pelotas/RS.

2. METODOLOGIA

Este estudo teve como metodologia a aplicação de um modelo de previsão de vida útil existente na literatura, tendo como base os resultados encontrados por Ferreira et al. (2016), onde foi realizada a análise da penetração de cloreto em elementos de concreto expostos em diferentes bairros de Pelotas/RS (bairro Centro, Porto, Fragata e dois locais do bairro Três Vendas), e para diferentes tempos de exposição (4, 8, 12 e 16 meses). Após determinação das profundidades de penetração do agente agressivo pelo modelo, foi realizado um comparativo com os resultados adquiridos pelos autores.

Para a avaliação da influência das variáveis do estudo nos dados de profundidade de cloreto encontrados no ensaio natural por Ferreira et al. (2016), foi realizado o teste de análise de variância (ANOVA) de duas vias. Foram consideradas como variáveis independentes os diferentes locais de exposição das amostras e os tempos em que estas ficaram expostas. Já como variável dependente considerou-se a profundidade contaminada por cloreto.

Para análise de cloretos em estruturas de concreto, foi escolhido o modelo de Bob (1996), pois este faz a avaliação de cloretos em termos de profundidade percorrida pelo contaminante, ao invés de fazer a análise em termos de concentração, como grande parte dos modelos para análise de deste agente agressivo. Este modelo, determina a profundidade média da penetração de cloretos na estrutura, considerando a concentração superficial destes, propriedades do concreto utilizado e condições ambientais, sendo apresentado na equação 1.

$$x_m = 150 \left(\frac{ck_1 k_2 d}{f_c} \right) \sqrt{t} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

x_m = profundidade média de penetração de cloretos (mm);

f_c = resistência à compressão do concreto (N/mm²);

c = capacidade de fixação dos cloretos em função do tipo de cimento;

k_1 = coeficiente de influência da temperatura;

k_2 = coeficiente de influência da umidade relativa;

d = relação entre a concentração crítica e a concentração superficial de cloretos na estrutura.

O modelo foi aplicado para diferentes valores do parâmetro d (tabela 1), como forma de analisar diferentes concentrações críticas e superficiais de cloretos na estrutura, já que esta variável representa a relação entre as duas concentrações. Para a aplicação deste modelo foram utilizadas a temperatura média e umidade relativa diária da cidade de Pelotas/RS durante o período de exposição das amostras. E também a resistência à compressão (f_{ck}) média diária do concreto, obtida através da curva de evolução desta característica ao longo do tempo para o tipo de cimento utilizado nos corpos-de-prova (CP IV), sendo baseada na NBR 5739 (ABNT, 2007) e nas médias de resistência encontradas em cada período no ensaio natural. Segundo Andrade (2001) alguns parâmetros de entrada (d , c , k_1 e k_2) foram pré-determinados pelo autor do modelo, sendo apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros relacionados ao modelo de Bob (1996)

Parâmetro K1		Parâmetro c		Parâmetro k2		Parâmetro d	
k1	T(°C)	c	(%) adições no cimento	k2	UR (%)	d	R
0,67	0 a 5	1,00	0	0,75	50	2,00	0 a 19
0,75	5 a 15	0,90	15	1,00	85	1,00	20
1,00	15 a 25	0,75	30	0,75	100	0,50	50
1,25	25 a 35	0,67	50	-	-	0,33	65
1,50	35 a 45	-	-	-	-	0,16	85

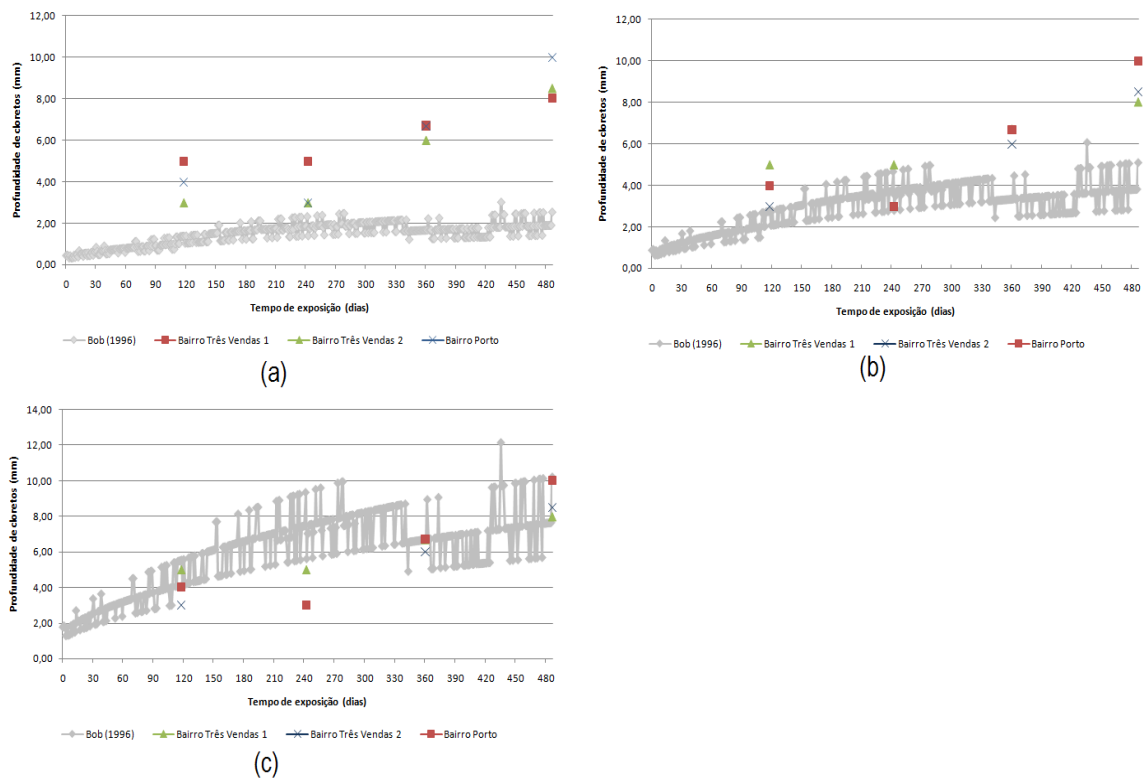
Fonte: Andrade (2001).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a análise estatística foi possível identificar diferença significativa entre o bairro Porto e os dois locais analisados do bairro Três Vendas. O modelo de previsão foi aplicado então, somente para os locais que foram considerados diferentes estatisticamente entre si.

Os resultados encontrados com a aplicação do modelo de Bob (1996) e a comparação com os valores obtidos por Ferreira et.al (2016) estão apresentados na figura 1.

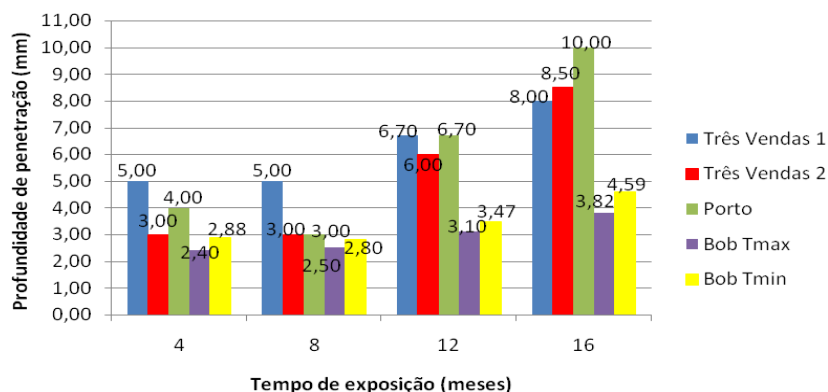
Figura 1 - Modelo de Bob (1996) com parâmetro (a) $d = 0,5$, (b) $d=1$ e (c) $d=2$.



Observa-se que o modelo que melhor se adequou aos valores encontrados no ensaio natural foi com o parâmetro $d = 2$, ou seja, com a relação entre concentração crítica e concentração superficial de cloretos na estrutura entre 0 e 19. Para o 2º período nenhum dos locais teve seus valores descritos pelo modelo aplicado, diferentemente dos outros períodos de exposição.

Avaliando de forma geral, para a cidade de Pelotas, o modelo de Bob (1996) foi aplicado para cada período de exposição dos corpos-de-prova para $d=2$. Foi utilizado como umidade relativa de 85%, devido a umidade de todos os períodos ser próxima desse valor. Já para a temperatura, como ocorre uma grande variação diária, foi utilizado às temperaturas máximas e mínimas de cada período. Quanto à resistência à compressão foi utilizada a media de todos os locais em cada período. Os resultados encontrados estão apresentados na figura 2.

Figura 2 - Comparação dos resultados do ensaio natural com o modelo de Bob (1996).



Analisando os resultados, o período que se mostrou mais próximo do modelo de Bob, para ambas as temperaturas foi de 12 meses, ficando próximo

dos valores encontrados para o bairro Porto e Três Vendas 1 usando a temperatura mínima, e do bairro Três Vendas 2 utilizando a temperatura máxima. Para o período de 4 meses, os valores encontrados se aproximaram somente da profundidade encontrada no bairro Três Vendas 1, sendo o mais próximo o resultado encontrado utilizando a temperatura máxima. Enquanto que para 8 meses o modelo resultou em um valor muito próximo ao bairro Três Vendas 1 também para a temperatura máxima. Após o período de 16 meses, independentemente da temperatura, foram obtidos com o modelo resultados menores do que para o ensaio natural, onde o valor encontrado com a maior temperatura aproximou-se do bairro Três Vendas 1, e a maior profundidade (9,17mm) foi encontrada com a menor temperatura. Esta diferença pode ser devido à grande variação de temperatura diária da cidade de Pelotas/RS, como também pelo fato do modelo considerar somente certos valores de umidade relativa (50%, 85% e 100%), sendo que a umidade para todos os períodos se encontra entre os valores de 85 e 100%.

4.CONCLUSÕES

Conclui-se que o modelo de Bob (1996) apresentou diferenças entre os valores obtidos com sua aplicação e os dados do ensaio natural, provavelmente devido a grande variação de temperatura diária da cidade de Pelotas e também pelo fato do modelo considerar somente certos valores de umidade relativa (50%, 85% e 100%) sendo que a umidade na cidade em questão, para todos os períodos encontra-se entre os valores de 85 e 100%. Porém o modelo aplicado mesmo com a diferença encontrada, apresentou boa aderência aos dados observados mostrando-se adequado para algumas situações, demonstrando grande potencial em descrever o comportamento da profundidade de cloretos ao longo do tempo para a cidade de Pelotas, sendo necessários alguns ajustes nos parâmetros de entrada.

5.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. NBR 5739. Rio de Janeiro, 2007.

BOB,C. Probabilistic assessment of reinforcement corrosion in existing structures. In: **International conference: concrete repair, rehabilitation and protection**. Proceedings, Dundee, 1996, p.17-28.

FERREIRA,C.F.; ROCHA,L.A.L.; PINZ,F.P.;PALIGA,C.M.;TORRES, A.S. Análise da penetração de cloretos e CO₂ em corpos-de-prova de concreto expostos na cidade de Pelotas/RS. In: XVIII Encontro de Pós Graduação da Universidade Federal de Pelotas. **Anais...**Pelotas, 2016.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano**. 2010. 265 f. Tese (Doutorado em engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VIEIRA, F.M.P **Contribuição ao estudo da corrosão de armaduras em concretos com adição de sílica ativa**. 2003.242f. Tese (Doutorado em engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.