



**3er Congreso Nacional ALCONPAT
2008
Chihuahua: Chih. México**



DISSEMINAÇÃO DE ÍONS CLORETO EM ZONA COSTEIRA DO BRASIL

E. C. B. Monteiro¹, R. A. Oliveira¹, R. B. Pontes², M.Q. Oliveira³.

¹ Professores da Universidade Católica de Pernambuco. Rua do Príncipe, 526. Boa Vista - CEP 50050-900 - Recife - PE – Brasil.

² Doutorando da UFPE e Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Católica de Pernambuco Rua do Príncipe, 526. Boa Vista - CEP 50050-900 - Recife - PE – Brasil.

³ Engenheira Civil, formada pela Escola Politécnica de Pernambuco. Rua Benfica, 455. Madalena – CEP 50751-460 – Recife – PE – Brasil.

Resumo

Diante da exposição à névoa salina, as estruturas em concreto podem sofrer ataques por cloretos, provocando corrosão das armaduras. As peças voltadas para os ventos dominantes estão mais suscetíveis, especialmente aquelas que possuem grande superfície em relação ao volume, como são os casos de pilares e vigas. Os íons cloreto chegam à superfície das estruturas a distintos níveis de concentração, dependendo da distância em relação à sua fonte geradora, no caso, o mar. Este trabalho tem como objetivo avaliar o nível de agressividade marinha, na zona costeira da Região Metropolitana do Recife, em função de sua distância em relação ao mar, medindo a taxa de deposição de cloretos, pelo método da vela úmida (NBR 6211 [1]), tendo como apoio o monitoramento do ambiente. Os resultados indicam que a deposição de cloretos decresce, numa relação do tipo exponencial, à medida que há um aumento do distanciamento em relação ao mar, e que a agressividade é significativa até 400 m da orla marítima.

Palavras-chave: concreto, corrosão de armaduras, atmosfera marinha, deposição de cloretos, vela úmida.

Abstract

Exposing concrete structures to the saline mist, they can suffer chlorides attacks, could cause reinforcement corrosion. The parts directed to dominant winds are more susceptible, especially those with great surface in relation to the volume, as pillars and beams. The chloride ions reach surface structure in different levels of concentration, depending on the distance from its origin, in that case, the sea. The purpose of this research is to evaluate the level of marine aggressiveness, onshore zone of Recife-PE, in function of the distance to the sea, measuring the value of chloride deposition, using the wet candle method (NBR 6211 [1]), having as support the environment management. The results indicate that chloride deposition decreases, in an exponential relation, when there is an increase of the distance to the sea, and that aggressiveness is significantly as far as 400 m from the marine edge.

Keywords: concrete, reinforcement corrosion, marine atmosphere, chloride deposition, wet candle.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua: Chih. México



INTRODUÇÃO

Patologias podem ocorrer quando existem vulnerabilidades no sistema aço/concreto, resultantes de falhas durante a execução ou na especificação do concreto, que necessita ser adequada à situação de exposição. Nessa acepção, um dos agentes mais agressivos às estruturas de concreto são os íons cloreto da atmosfera marinha que estão em suspensão no ar. No litoral, os sais retirados do mar pelas ondas e transportados pelo vento podem percorrer grandes distâncias e se depositarem sobre o concreto na forma de gotículas de água.

Os íons cloreto atacam o aço do concreto armado, atacando a capa passivante de forma pontual, corrosão essa conhecida com o nome de pite. Essa corrosão pode avançar e provocar a ruptura pontual da barra de aço, conforme Andrade [2]. Nas reações de ataque ao aço, o produto final da corrosão não consome cloreto, podendo esse processo acarretar grandes agressões ao aço mesmo para baixos teores de íons cloreto.

A ação agressiva tem origem na formação e no transporte do aerossol marinho, onde o vento exerce um papel importantíssimo, segundo Spiel e Leew [3]. Os cloretos, parte integrante deste aerossol, são transportados pelo deslocamento das massas de ar e se depositam na superfície do concreto. A partir deste ponto, são transportados para o seu interior através de mecanismos que envolvem convecção e difusão.

A última revisão da NBR 6118 [4], que determina parâmetros de projeto para as estruturas de concreto, traz como uma das principais novidades a introdução de classes de agressividade ambiental. Ao todo são quatro níveis, que vão desde ambientes menos agressivos até locais com agressividade muito alta, em uma escala de I a IV. São esses níveis de agressividade que irão definir, por exemplo, qual a classe de concreto a ser empregada, a relação água/cimento adotada, o cobrimento nominal, além de exigências referentes à fissuração. As estruturas expostas à atmosfera marinha enquadram-se nas classes III, de forma indireta, ou IV, quando chegam a receber respingos de maré, entretanto, na NBR 6118 [4] não existem dados numéricos disponíveis que caracterizem cada classe, com relação ao nível de agressividade.

Os íons cloreto atingem a superfície das estruturas a distintos graus de concentração, subordinados à distância em relação à sua fonte geradora que é o mar. Deste modo, as estruturas lidam com distintos níveis de agressividade, em função do distanciamento do mar. O comportamento das estruturas quando se distanciam do mar, tem sido pouco estudada. Contudo, o Brasil é um país de uma ampla costa e com uma respeitável ocupação urbana nesta região. Portanto, avaliar o comportamento da agressividade da atmosfera é de capital importância para o ajustamento do projeto e da execução de novas estruturas ao meio, assim como da intervenção em estruturas já existentes.

Albuquerque e Otoch [5] apresentaram uma proposta para a elaboração do mapeamento da agressividade ambiental na cidade de Fortaleza e salientaram que a metrópole necessita de um estudo particular que sirva de embasamento para a classificação do ambiente, segundo as prescrições da NBR 6118 [4], e que com isso os cuidados ali indicados sejam corretamente adotados.

Meira [6] realizou um estudo, colocando o aparato da vela úmida em cinco pontos de monitoramento (10, 100, 200, 500 e 1100 m), ao longo da costa da cidade de João Pessoa, no período de novembro/2001 – março/2002, e ressaltou que a taxa de deposição de cloretos, pelo

método da ASTM G-140 [7], após os duzentos metros iniciais é menos acentuada, atingindo valores mínimos de concentração depois do primeiro quilômetro de distância em relação ao mar. Foi observado, ainda, que nos meses de novembro e dezembro apresentaram uma tendência de maiores concentrações, pelo fato de que a partir de janeiro há um incremento gradual das chuvas, o que facilita a deposição de sais.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Este trabalho tem por finalidade fazer um levantamento da agressividade ambiental, através da deposição de cloretos, em zona costeira na Região Metropolitana do Recife, especificamente no bairro de Boa Viagem, empregando o método da vela úmida, seguindo os critérios da NBR 6211 [1] e tendo como apoio à caracterização climatológica do ambiente.

Características dos Materiais

Vela úmida.

Conforme a NBR 6211 [1] a vela úmida consiste em um cilindro envolvido com gaze cirúrgica e fixado a um frasco coletor por meio de uma rolha. A rolha tem dois tubos de vidro localizados, o mais próximo possível do cilindro, pelos quais passam as extremidades da gaze, que devem atingir o fundo do frasco. Estes tubos devem ter formato adequado para que o líquido que desce pela gaze seja drenado, sem perda, para o frasco coletor. Na Figura 1 é mostrada a vela úmida utilizada no experimento.

Suporte, proteção e colocação da vela úmida.

Segundo a NBR 6211 [1], a vela úmida deve ser instalada num suporte adequado, a uma altura mínima de 1 m acima do nível do solo e em posição mais alta que todos os obstáculos localizados num raio de 3 m. Também necessita ser protegida por meio de uma cobertura de material inerte e opaco de no mínimo 50 cm x 50 cm. Necessita, ainda, ser colocada numa posição central e a uma distância de 20 cm do topo da cobertura, como indicado na Figura 2.



Figura 1. Vela úmida.

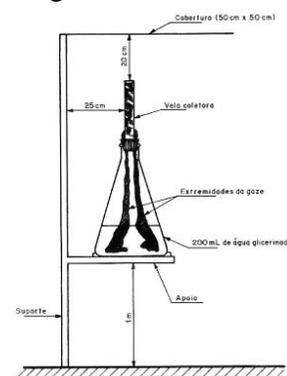


Figura 2. Suporte da vela úmida (NBR 6211 [1]).

Condições de exposição.

A escolha das distâncias em relação ao mar, para exposição do aparato da vela úmida, baseou-se em estudos publicados, sobre o tema, por Nunes et al. [8], Meira [6], entre outros, bem como, o fator primordial que foi a limitação das áreas disponibilizadas para esta pesquisa.

O monitoramento foi conduzido através de cinco estações, situadas a 7, 100, 160, 230 e 320 m em relação ao mar.

A Figura 3 mostra, de forma esquemática, as zonas de exposição adotadas e as Figuras 4 e 5 expõem uma das cinco estações de monitoramento.



Figura 3. Representação esquemática da distribuição das zonas de exposição do aparato da vela úmida (earth.google.com [10]).



Figura 4. 2.^a estação de monitoramento (100 m).



Figura 5. Detalhe da 2.^a estação de monitoramento.

Caracterização do ambiente.

A caracterização do ambiente estudado foi definida através da direção predominante e velocidade dos ventos, da precipitação, da umidade relativa, da temperatura e da insolação, obtida por meio do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET no 3.^o Distrito de Meteorologia – 3.^o DISME, localizado em Recife-PE.

Princípio do Método.

O íon cloreto resultante da absorção em água contendo glicerol é titulado com solução padrão de nitrato mercúrico na presença do indicador misto difenilcarbazona e azul-de-bromofenol. O ponto final da titulação é indicado pela formação do complexo mercúrico-difenilcarbazona, de cor azul-violeta, segundo a NBR 6211 [1], como mostram as Figuras 6 e 7.



Figura 6. Indicador misto difenilcarbazona e azul-de-bromofenol.



Figura 7. Ponto final da titulação (cor azul-violeta).

RESULTADOS

Condições Ambientais

Na Tabela 1, são apresentadas as condições ambientais nos doze meses de estudo (ago./2005 a jul./2006).

Tabela 1. Resumo dos dados climatológicos no período do estudo.

Mês/ano	Direção predominante do vento		Velocidade do vento (m/s)	Precipitação (mm)	Umidade relativa (%)	Temperatura (°C)	Insolação (h)
	1. ^a	2. ^a					
ago./2005	SE	Calmo	2,0	290,8	84	24,2	181,1
set./2005	SE	E	2,7	45,3	77	25,2	234,3
out./2005	SE	E	2,7	59,7	74	26,0	277,4
nov./2005	E	SE	2,8	8,2	71	26,9	270,7
dez./2005	E	SE	2,7	174,2	73	26,7	241,1
jan./2006	E	SE	2,8	12,3	71	27,1	259,5
fev./2006	E	NE	2,3	32,4	71	27,7	221,9
mar./2006	NE	E	2,1	156,8	75	27,6	258,3
abr./2006	E	Calmo/NE	1,7	322,8	81	26,6	194,1
maio/2006	SE	S	1,8	338,1	86	25,8	192,3
jun./2006	SE	S	2,2	431,4	84	25,0	137,3
jul./2006	SE	S	2,2	222,5	82	24,5	201,5

Comportamento do aerosol marinho

Efeito da distância em relação ao mar.

A diminuição na deposição de cloretos, em cada estação de monitoramento, à medida que existe um distanciamento do mar, comportou-se de maneira evidente, conforme Tabela 2 e Figura 8.

O modelo que melhor se ajustou aos resultados obtidos foi o exponencial, do tipo $y = ae^{bx}$, onde y é a deposição de cloretos do aerosol marinho, e x é a distância em relação ao mar (Figura 8). O modelo ajustado ($y = ae^{bx} \cdot \epsilon$) foi linearizado através do transformador cartesiano $\ln y = \ln a + bx$, onde:



**3er Congreso Nacional ALCONPAT
2008
Chihuahua: Chih. México**



$$\begin{aligned} \ln y &= Y; & (1) \\ x &= X; & (2) \\ \ln a &= \beta_0; & (3) \\ b &= \beta_1. & (4) \end{aligned}$$

Tabela 2. Deposição de cloretos no período do estudo.

Distância em relação ao mar (m)	Concentração de cloretos (mg/m ² .dia)					
	ago./2005	set./2005	out./2005	nov./2005	dez./2005	jan./2006
7	1050,39	678,04	484,41	332,60	394,94	386,03
100	406,14	370,10	355,91	469,41	403,15	353,50
160	151,00	127,59	111,30	155,94	146,35	178,23
230	46,74	36,09	31,66	52,22	41,47	36,41
320	53,13	42,89	39,18	49,66	41,73	37,75

Distância em relação ao mar (m)							Média
	fev./2006	mar./2006	abr./2006	maio/2006	jun./2006	jul./2006	(ago./2005-jul./2006)
7	271,70	202,34	220,17	695,32	1210,85	1108,47	586,27
100	129,68	178,16	162,38	108,06	372,23	256,44	297,10
160	71,79	51,72	68,06	53,82	196,42	119,58	119,32
230	23,58	17,24	17,20	25,29	62,59	39,67	35,85
320	33,26	20,38	18,48	26,75	41,14	26,10	35,87

Logo, o modelo referente ficou definido como $Y = \beta_0 + \beta_1 X + \ln \varepsilon$, e para retro-cálculo, $a = e^{\beta_0}$ e $b = \beta_1$. Os parâmetros do modelo foram estimados, usando o método dos mínimos quadrados (MONTGOMERY, PECK e VINING [9]). A análise de variância (Tabela 3) mostra que o teste foi significativo, existe regressão, e o modelo conduz a 92% (R^2) da variabilidade em Y, tendo como equação de regressão $Y = 6,44 - 0,01X$. Na Figura 9, é mostrado o modelo linearizado, e, na Tabela 4, é feita uma predição do modelo. A partir da Tabela 2 e da Figura 8, nota-se que, com o incremento da distância ao mar, existe uma diminuição da concentração de cloretos na atmosfera, contudo, na 5.^a estação de monitoramento, esta concentração foi superior a da 4.^a estação, em nove dos doze meses de estudo, podendo este comportamento ser explicado pelo fato de que, há uma canalização na direção do vento, condição esta não-existente nas outras estações de monitoramento. Nas Figuras 10 e 11 é mostrada esta canalização.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua: Chih. México

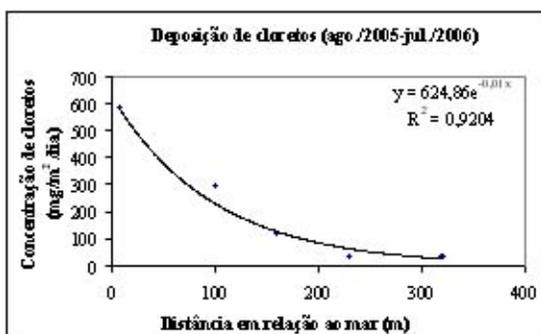


Figura 8. Relação entre a deposição média de cloretos e a distância em relação ao mar, no período de ago./2005 a jul./2006.

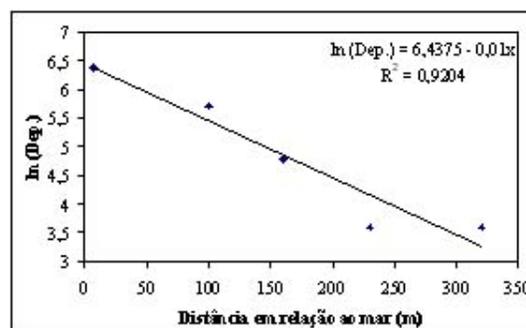


Figura 9. Modelo linearizado.

Tabela 3. Análise de variância.

	G.L.	S.Q.	M.Q.	F
Regressão	1	5,7574	5,7574	34,70
Resíduo	3	0,4977	0,1659	--
Total	4	6,2551	--	--

Tabela 4. Predição do modelo.

Distância em relação ao mar (m)	Deposição de cloretos (mg/m ² .dia)
7	584,06
100	230,44
160	126,47
230	62,80
320	25,53
400	11,47
500	4,22
600	1,55
700	0,57
800	0,21
900	0,08
1000	0,03
1100	0,01
1200	0,004
1300	0,001
1400	0,0005
1500	0,0002

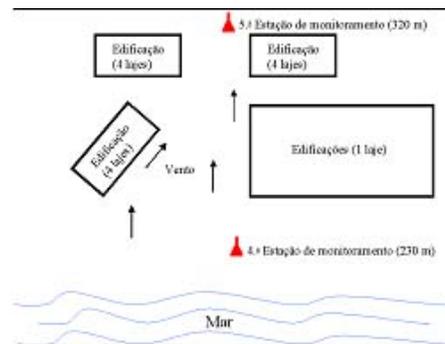


Figura 10. Esquema da canalização do vento na 5.^a estação de monitoramento.



Figura 11. Efeito da canalização do vento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As seguintes considerações foram levantadas, em relação ao comportamento da névoa salina (PONTES [11]):

- a deposição de cloretos decresce à medida que há um distanciamento em relação ao mar, numa relação exponencial, do tipo $y = ae^{-bx}$, onde, y é a deposição de cloretos, expressa em $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$, e x é a distância em relação ao mar;
- na zona de agressividade marinha existem distintos níveis de agressividade com o distanciamento do mar;
- a deposição de cloretos, conforme predição do modelo (Tabela 4), dá-se, de modo significativo, nos primeiros 400 m e atinge valores ínfimos a partir dos 700 m do mar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6211: corrosão atmosférica - determinação de cloretos na atmosfera pelo método da vela úmida: método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.
- [2] ANDRADE, M. C. Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras. Tradução e adaptação Antônio Carmona e Paulo Helene. São Paulo: Pini, 1992.
- [3] SPIEL, D. E.; LEEW, G. Formation and production of sea spray aerosols, J. Aerosol Sci., v.27, s. 1, p. S65-S66, 1996.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua: Chih. México



- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- [5] ALBUQUERQUE, A. T.; OTOCH, S. Proposta de classificação da agressividade do ambiente na cidade de Fortaleza. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47., 2005, Recife. Anais... Recife: IBRACON, 2005.
- [6] MEIRA, G. R.; Agressividade por cloretos em zona de atmosfera marinha frente ao problema da corrosão em estruturas de concreto armado. 2004. 346 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- [7] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G-140 (1996). standard test method for determining atmospheric chloride deposition rate by wet candle method. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia (USA).
- [8] NUNES, J. L. O.; GUIMARÃES, A. T. C.; SILVEIRA, B. P.; GUIMARÃES, D. L. C.; OLIVEIRA, M. T.; RODRIGUES, N. D. Zona de névoa: Intensidade do ataque de cloretos em função da distância do concreto em relação à água do mar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46., 2004, Florianópolis. Anais... Florianópolis: IBRACON-Volume III-Obras de Saneamento em Concreto, 2004. p. 1-11.
- [9] MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. Introduction to linear regression analysis. 3. ed. New York: John Willey & Sons, 2001.
- [10] Earth.google.com. .Net, nov. 2006. Disponível em: <<http://earth.google.com/.htm>>. Acesso em: 10 nov. 2006.
- [11] PONTES, R. B. Disseminação de íons cloreto na orla marítima do bairro de Boa Viagem, Recife-PE. 2006. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2006.