Copyright 2010, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Variação do valor da classificação da corrosividade atmosférica em diferentes ambientes

Iêda N. S. Montenegro[1], Anadite M. de Luna[2], Ana L. Maia[3], Antônio R. de M. Filgueira[4], Narcelio de A. Pereira[5], Jailson S. Rodrigues[6], Jocilane de A. Rodrigues[7], Solange M. B. Girão[8].

Abstract

To complete the main objective of the project (Study of atmospheric corrosion and materials used in the electrical energy distribution degradation) has been drawn up the mapping about the categories of atmospheric aggressiveness of the Ceará.
This map is the result of a research conducted in 19 test sites, which are distributed on the Ceará territory. In these test sites were installed (1,80 meters height, as recommended by NBR 6209, NBR 7011, NBR 6211 and NBR 6921 standards and by Petrobrás sedimentable particles methodology).
This work is a continuation of a previous study conducted in COFECO station. This station is located in the tropical marine region and it was classified (NBR 14643) as very high aggressiveness. The tests were conducted in two different ways: inside cupboards/cabinets used to house electrical and electronic systems and outdoors (similar heights to those indicated for materials fixation in electricity distribution and transmission system, 5m and 7m, and telecommunication tower, 40 m). These environment were classified also under NBR 14643, based on such pollutants data (chlorides, sulfates and solid particles).
Keywords: study station of atmospheric corrosion, atmospheric corrosiveness, pollutants, marine atmospheric.

[1]Doutor, Químico Industrial – FUNDAÇÃO NÚCLEO DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL DO CEARÁ - **NUTEC**

[2]Especialista, Engenheira Eletricista - CONSULTORIA EM CIÊNCIAS E ENGENHARIA DOS MATERIAIS LTDA-**CONCEMA**

[3]Mestre, Engenheira Química - FUNDAÇÃO NÚCLEO DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL DO CEARÁ - **NUTEC**

[4]Especialista, Engenheiro Eletricista - COMPANHIA ENERGÉTICA DO CEARÁ – **COELCE.**

[5]Mestre, Engenheiro Civil - INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ - **CENTEC**

[6]Químico - FUNDAÇÃO NÚCLEO DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL DO CEARÁ – **NUTEC.**

[7]Técnico em Química - FUNDAÇÃO NÚCLEO DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL DO CEARÁ - **NUTEC**

[8]Mestre, Químico Industrial - FUNDAÇÃO NÚCLEO DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL DO CEARÁ - **NUTEC.**

Resumo

Para concluir o principal objetivo do projeto de corrosão e degradação atmosférica de materiais elétricos foi elaborado o mapa de classificação da agressividade atmosférica do estado do Ceará. O referido mapa é resultante de pesquisa realizada em 19 estações de estudo, as quais estão distribuídas no território cearense. Nestas estações, foram instalados coletores de poluentes atmosféricos com altura de 1,80 metros, de acordo com as normas ABNT (NBR 6209, NBR 7011, NBR 6211 E NBR 6921) e metodologia Petrobrás para partículas sedimentavéis. Este trabalho trata da continuidade do estudo da corrosividade atmosférica da estação COFECO que está situada em região tropical costeira e que foi classificada, conforme a norma NBR 14643, como sendo de agressividade muito alta (salinidade de origem marinha). E tem a finalidade de determinar os valores de classificação da corrosividade de atmosferas, em diferentes condições ambientais desta estação, tais como: no interior de armários/gabinetes utilizados para abrigar sistemas elétricos e eletrônicos; e em ambientes externos com diferentes alturas que são similares as indicadas para fixação dos materiais elétricos utilizados no sistema aéreo de distribuição e transmissão de energia (postes com alturas de 5,00 metros e 7,00 metros, e em torre de telecomunicação de 40,00 metros de altura), também seguindo NBR 14643, com base em medidas de dados dos poluentes (cloretos, sulfatos e partículas sedimentáveis) coletados e de tempos de umectação medidos. Pretende-se no final, comparar os valores da corrosividade atmosférica destas condições ambientais com a corrosividade determinada para a estação COFECO no mapa de classificação da agressividade atmosférica do estado do Ceará.

Palavras-chave: estações de estudo de corrosão atmosférica, corrosividade atmosférica, poluentes, atmosfera marinha.

Introdução

De junho de 2002 a maio de 2008, com periodicidade mensal, foram realizadas monitorações, segundo a norma NBR 14643 – Classificação da corrosividade de atmosferas, em 19 estações de estudo de corrosão atmosférica distribuídas no estado do Ceará, com as seguintes finalidades: retirar os poluentes atmosféricos dos coletores de 1,80 m de altura; observar o comportamento quanto à resistência à corrosão de diversos materiais elétricos expostos em painéis com inclinação de 30° fixados em cavaletes de (1,00 - 1,50 m de altura) e realizar as medidas do tempo de umectação. Com base nos resultados desta pesquisa, foi elaborado o mapa da corrosividade atmosférica do estado do Ceará para aço carbono, zinco, cobre e alumínio. Este mapa foi um dos principais objetivos da pesquisa solicitada pela COELCE, a qual foi coordenada pelo NUTEC, em parceria com o CENTEC e a FUNCEME. Contou-se com os recursos do fundo setorial da energia elétrica, da ANEEL, para o desenvolvimento do projeto de corrosão e de gradação atmosférica dos materiais elétricos.

Com o objetivo de determinar a existência de variação de agressividade atmosférica entre os resultados determinados na estação COFECO, sob as condições acima descritas, e os resultados obtidos das amostras coletadas em alturas superiores a cinco metros (altura em que geralmente se encontram todas as ferragens, os cabos, os transformadores e os demais materiais utilizados na distribuição de energia elétrica), ensaiadas em regiões caracterizadas por alta salinidade marinha, foi realizada uma pesquisa complementar. A referida pesquisa teve por objetivo, também, determinar a variação da agressividade atmosférica para materiais ensaiados dentro de armários ou de equipamentos eletrônicos. Para atender esta solicitação,

adotou-se uma metodologia de coleta de poluentes atmosféricos, de determinação de medidas dos valores para quantificação do tempo de umectação e de determinação do comportamento de materiais expostos em alturas de 5,40 metros e 7,20 metros, durante o período que abrangeu 2008 a 2009. Dentro do armário construído com aço carbono pintado, as determinações foram realizadas entre o período 2005 a 2008.
Os resultados obtidos no estudo complementar, apresentado neste trabalho, ao serem comparados com os publicados no mapa de corrosividade atmosférica do Ceará (período de ensaio: 2002 a 2008), vão gerar informações necessárias para a elaboração das recomendações e especificações técnicas dos materiais adequados para serem usados na extensa faixa do litoral cearense (600 km de comprimento e 30 km de largura).

1. Revisão bibliográfica

Este trabalho apresenta dados inéditos de uma região caracterizada por ser de elevada corrosividade atmosférica, marinha, em clima tropical e situada abaixo da linha do equador. Trata-se do estado do Ceará[1-3]. A existência de dados apenas relacionados à cidade de Fortaleza justificou a necessidade de extensão da pesquisa para todo estado do Ceará.
Dentre a vasta bibliografia da corrosão atmosférica que se têm conhecimento, constatamos que resultados com a finalidade de caracterizar os estados brasileiros[4] foram iniciados em 1972. Estas informações tornaram-se mais completas e representativas dos possíveis micros climas que caracterizam os vários estados brasileiros e outras localizações da Iberoamerica quando os dados desta pesquisa de corrosividade atmosférica foram complementados com os resultados do Projeto MICAT – Mapa Iberoamericano de Corrosividade Atmosférica[5], em 1988.
Finalmente, uma nova metodologia para os procedimentos de coletas de poluentes e de preparação e dimensionamento de corpos-de-prova metálicos foi somada ao trabalho de pesquisa da corrosividade atmosférica do estado do Ceará, projeto corrosão e degradação atmosférica dos materiais elétricos[6-7] com a finalidade de caracterizar os efeitos das condições climáticas sobre os produtos eletro-eletrônicos utilizados nos diferentes micros climas existentes no referido estado
Pelo exposto, tem como foco o desenvolvimento de soluções tecnológicas apropriadas para aumentar a resistência dos materiais utilizados na distribuição da energia elétrica, dentro da melhor relação entre custo e beneficio.

2. Metodologia

Os resultados apresentados neste trabalho tiveram como referência os dados obtidos na pesquisa da classificação da corrosividade atmosférica anual, realizadas nos microclimas característicos das 19 estações de estudo de corrosão atmosférica distribuídas no estado do Ceará. Foram considerados o tempo de superfície úmida e os teores de SO_2 e Cl^- como os fatores atmosféricos relevantes que influenciam estes resultados. Para o estudo da corrosividade das atmosferas das demais variações das condições de coletas de poluentes e exposições dos materiais, seguiu-se os passos descritos na norma NBR 14643:2001[8]:

- instalação de velas de dióxido de chumbo, para obtenção dos dados de sulfatação total na atmosfera[10] (norma NBR 6921, out.1981), em duplicata na estação COFECO , (coletores com alturas de 1,80 m, 5,40 m e 7,20 m (Figuras 1 e 2) e dentro de armário (Figura 3));
- instalação de velas úmidas, para obtenção dos dados de cloretos inorgânicos na atmosfera[11] (norma NBR 6211,dez. 1980), em duplicata na estação COFECO,

(coletores com alturas de 1,80 m, 5,40 m e 7,20 m (Figuras 1 e 2) e dentro de armário (Figura 3));

- instalação de sistema de coleta de precipitação, para a coleta e análise de partículas sedimentáveis[12] (norma Petrobrás), em duplicata na estação COFECO (coletores com alturas de 1,80 m, 5,40 m e 7,20 m (Figuras 1 e 2));
- as considerações para a determinação do tempo de umectação tiveram por base o número de horas/ano em que a umidade relativa esteve acima de 80ºC e a temperatura acima de 0ºC, obtidos em medidas realizadas na estação COFECO (dentro e fora de armário) e por meio de medidores eletrônicos (Figuras 1 e 3). A classificação do tempo de umectação também foi realizado com base em dados atmosféricos;
- a corrosividade da atmosfera foi determinada com base em medidas de taxa de corrosão de metais-padrão e através da classificação da atmosfera em termos de dados atmosféricos (tempo de superfície úmida e contaminação por SO_2 e Cl^-)(norma NBR 14643:2001). Cabe salientar que, os fatores atmosféricos relevantes na corrosão de metais e ligas são: o tempo de superfície úmida; e teores de SO_2 e Cl^-.

Figura 1 – Coletores de cloretos e sulfatos – atmosfera externa (1,80 m).

Figura 2 - Coletores de cloretos e sulfatos – atmosfera externa (5,40 m e 7,20 m).

Figura 3 – Coletores de cloretos e sulfatos – ambiente interno (dentro do armário).

3. Resultados

3.1. Classificação da corrosividade atmosférica, anual, dos microclimas característicos das 19 estações de estudo de corrosão atmosférica, distribuídas no estado do Ceará (2002 a 2008):

Tabela 01 – Teores de Poluentes Atmosféricos, Dezembro de 2002 a Maio de 2008.

Identificação da Estação		Concentração de Sulfatos (em mg de SO_2/m^2.dia)						Concentração de Cloretos (em mg de Cl^-/m^2.dia)						Ambiente
N.º	Nome	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	
1	ITAPIPOCA	17,29	12,14	25,00	46,97	86,42	24,28	2,24	52,84	32,09	33,32	29,68	29,49	Rural/Urbano
2	ACARAÚ	-	37,07	36,34	59,27	141,61	30,73	70,71	105,60	160,47	41,25	42,65	20,74	Marinho
3	SOBRAL	26,28	-	73,49	58,00	115,47	26,16	16,13	37,71	82,95	19,90	36,60	8,73	Rural/Urbano
4	CAMOCIM	38,90	30,99	49,93	76,05	73,95	35,50	70,71	303,56	1146,20	453,25	260,91	141,44	Marinho
5	INHUÇU	-	164,96	45,85	85,61	71,91	36,21	9,43	30,07	30,85	18,79	41,79	28,74	Urbano
6	NUTEC	21,85	71,02	109,04	51,50	59,55	80,31	4,44	27,79	32,62	41,96	51,61	39,45	Rural/Urbano
7	**COFECO**	**76,45**	**399,49**	**163,16**	**155,37**	**125,36**	**99,01**	**492,00**	**1518,36**	**3219,19**	**2217,34**	**2664,52**	**2070,70**	**Marinho**
8	MARACANAÚ	16,46	63,35	72,45	25,88	82,37	37,32	14,44	15,53	23,72	21,67	32,46	22,11	Rural/Urbano
9	PECÉM	19,45	21,73	52,24	32,43	95,65	41,57	6,66	89,32	196,05	37,81	38,80	26,33	Marinho
10	B. SUCATINGA	37,85	71,69	91,57	21,89	80,04	75,89	214,27	272,02	272,69	325,01	248,79	166,64	Marinho
11	ITAIÇABA	22,21	58,87	58,87	24,16	95,08	48,27	20,22	65,71	47,53	40,60	62,91	55,13	Marinho
12	ARACATI	36,35	65,34	38,18	-	-	-	15,18	15,11	15,10	-	-	-	Rural/Urbano
13	LIMOEIRO	324,25	42,58	237,81	28,87	79,37	50,04	21,93	9,29	22,93	33,21	25,80	15,37	Rural/Urbano
14	QUIXADÁ	55,92	44,73	43,54	34,90	69,01	53,28	11,47	11,82	19,46	17,22	26,86	14,26	Urbano

15	CRATEÚS	28,52	5,59	70,30	29,53	49,71	46,12	-	11,54	12,70	19,77	19,19	15,60	Rural/Urbano
16	IGUATU	39,14	48,33	48,33	23,25	39,09	40,49	11,13	45,26	11,52	19,77	22,25	11,50	Rural/Urbano
17	CRATO	24,20	60,15	118,79	43,42	68,26	26,54	5,90	13,58	6,72	7,84	17,08	9,56	Rural/Urbano
18	GUARAMIRANGA	-	-	47,69	23,57	162,97	133,69	5,04	84,45	73,92	56,54	53,72	27,08	Marinho
19	PACOTI	-	-	28,44	56,23	66,96	40,85	-	-	21,16	21,15	25,40	11,48	Urbano

Tabela 2 - Classificação da Agressividade Atmosférica, Dezembro de 2002 a Maio de 2008.

Identificação da Estação		**CATEGORIA**	**Concentração de Sulfatos (em mg de SO_2/m^2.dia)**						**Concentração de Cloretos (em mg de Cl^-/m^2.dia)**						**Ambiente Atmosférico**
N.º	**Nome**		**Ano 0**	**Ano 1**	**Ano 2**	**Ano 3**	**Ano 4**	**Ano 5**	**Ano 0**	**Ano 1**	**Ano 2**	**Ano 3**	**Ano 4**	**Ano 5**	
1	ITAPIPOCA	t_4	A_1	A_1	A_1	A_2	A_3	A_1	B_0	B_1	B_1	B_1	B_1	B_1	Rural/Urbano
2	ACARAÚ	t_4	-	A_2	A_2	A_2	A3	A_1	B_2	B_2	B_2	B_1	B_1	B_1	Marinho
3	SOBRAL	t_4	A_1	-	A_2	A_2	A_3	A_1	B_1	B_1	B_2	B_1	B_1	B_1	Rural/Urbano
4	CAMOCIM	t_5	A_2	A_1	A_2	A_2	A_2	A_2	B_2	B_3	B_3	B_3	B_2	B_2	Marinho
5	INHUÇU	t_5	-	A_3	A_2	A_3	A_2	A_2	B_1	B_1	B_1	B_1	B_1	B_1	Urbano
6	NUTEC	t_3	A_1	A_2	A_3	A_2	A_2	A_3	B_1	B_1	B_1	B_1	B_1	B_1	Rural/Urbano
7	**COFECO**	$\mathbf{t_5}$	$\mathbf{A_2}$	$\mathbf{A_3^*}$	$\mathbf{A_3}$	$\mathbf{A_3}$	$\mathbf{A_3}$	$\mathbf{A_3}$	$\mathbf{B_3}$	$\mathbf{B_3^*}$	$\mathbf{B_3^*}$	$\mathbf{B_3^*}$	$\mathbf{B_3^*}$	$\mathbf{B_3^*}$	**Marinho**
8	MARACANAÚ	t_4	A_1	A_2	A_2	A_1	A_3	A_2	B_1	B_1	B_1	B_1	B_1	B_1	Rural/Urbano
9	PECÉM	t_4	A_1	A_2	A_2	A_1	A_3	A_2	B_1	B_2	B_2	B_1	B_1	B_1	Marinho
10	B. SUCATINGA	t_5	A_2	A2	A3	A1	A1	A2	B2	B2	B2	B3	B2	B2	Marinho
11	ITAIÇABA	t_4	A_1	A2	A2	A1	A3	A2	B1	B2	B1	B1	B2	B1	Marinho
12	ARACATI	t_5	A_2	A2	A2	-	-	-	B1	B1	B1	-	-	-	Rural/Urbano

13	LIMOEIRO	t_3	A_3*	A2	A3*	A1	A2	A2	B1	B1	B1	B1	B1	B1	Rural/Urbano
14	QUIXADÁ	t_4	A_2	A3	A3	A1	A2	A2	B1	B1	B1	B1	B1	B1	Urbano
15	CRATEÚS	t_3	A_1	A2	A2	A1	A2	A2	-	B1	B1	B1	B1	B1	Rural/Urbano
16	IGUATU	t_3	A_2	A2	A2	A1	A2	A2	B1	B1	B1	B1	B1	B1	Rural/Urbano
17	CRATO	t_3	A_1	A2	A3	A2	A2	A2	B1	B1	B1	B1	B1	B1	Rural/Urbano
18	GUARAMIRANGA	t_5	-	A2	A2	A1	A3	A3	B1	B2	B2	B1	B1	B1	Marinho
19	PACOTI	t_5	-	-	A1	A2	A2	A2	-	-	B1	B1	B1	B1	Urbano

Observações:

CATEGORIA - classificação em termos de tempo de superfície úmida resultante da média dos cinco anos da pesquisa;

Classificação por SO_2 - classificação em termos de contaminação por SO_2 (categorias referentes aos resultados das médias das taxas de deposição de SO_2 expressas em mg/(m^2.d) – média para cada ano da pesquisa (Ano 0, Ano1, Ano2, Ano 3,Ano 4 e Ano 5);

Classificação por Cl^- - classificação em termos de contaminação por Cl^- (categorias referentes aos resultados das médias das taxas de deposição de Cl^- expressas em mg/(m^2.d) - média para cada ano da pesquisa (Ano0, Ano1, Ano2, Ano 3, Ano 4 e Ano 5);

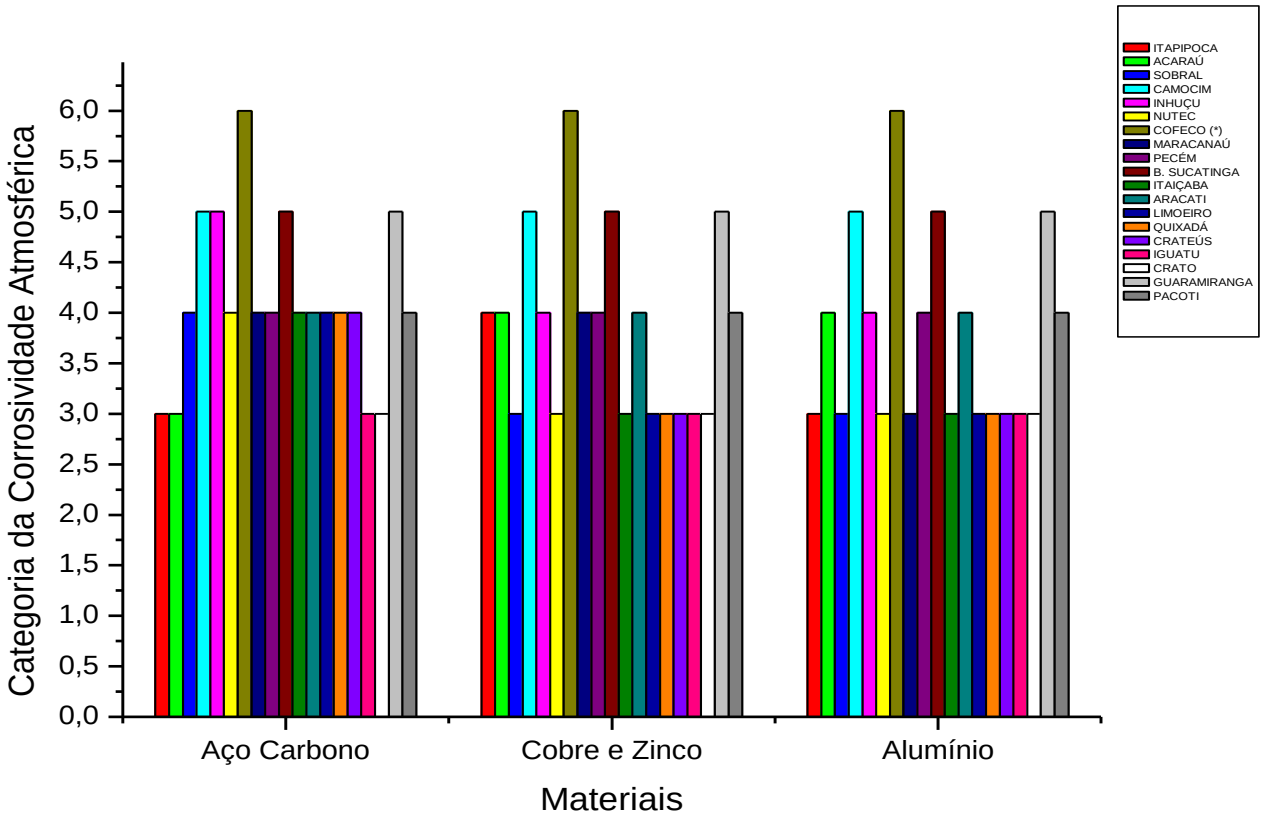
*A e *B – Teor de sulfatos e de cloretos acima dos valores classificados na norma NBR 14643:2001

Tabela 3 - Categorias de Corrosividade Estimada da Atmosfera, Dezembro de 2002 a Maio de 2008.

ESTAÇÃO		Estimativas dos Valores das Categorias de Corrosividade da Atmosfera Para os Materiais Metálicos																				
		AÇO CARBONO							ZINCO E COBRE							ALUMÍNIO						
N.º	**Nome**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Média dos 6 Anos**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Média dos 6 Anos**	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Média dos 6 Anos**
1	ITAPIPOCA	3	3	3	3	5	3	**C_3**	3	3	3	3	4	**3**	**C_4**		3	3	3	4	3	**C_3**
2	ACARAÚ	-	3	3	3	5	3	**C_3**	-	4	4	3	4	3	**C_4**	-	4	4	3	4	3	**C_4**
3	SOBRAL	3	-	4	4	5	3	**C_4**	3	-	4	3	4	3	**C_3**	3	-	4	3	4	3	**C_3**
4	CAMOCIM	5	5	5	5	5	5	**C_5**	5	5	5	5	5	5	**C_5**	5	5	5	5	5	5	**C_5**
5	INHUÇU	-	5	4	5	4	5	**C_5**	-	5	4	5	4	4	**C_4**	-	5	4	5	4	4	**C_4**
6	NUTEC	2	3	4	3	3	4	**C_4**	3	3	3	3	3	3	**C_3**	3	3	3	3	3	3	**C_3**
7	**COFECO (*)**	**5**	**5***	**5***	**5***	**5***	**5***	**C_5^***	**5**	**5***	**5***	**5***	**5***	**5***	**C_5^***	**5**	**5***	**5***	**5***	**5***	**5***	**C_5***
8	MARACANAÚ	3	4	4	3	5	4	**C_4**	3	4	4	3	4	3	**C_4**	3	3	3	3	4	3	**C_3**
9	PECÉM	3	4	4	3	5	4	**C_4**	3	4	4	3	4	3	**C_4**	3	4	4	3	4	3	**C_4**
10	B. SUCATINGA	5	5	5	5	5	5	**C_5**	5	5	5	5	4	5	**C_5**	5	5	5	5	5	5	**C_5**
11	ITAIÇABA	3	4	4	3	5	4	**C_4**	3	4	3	3	5	3	**C_3**	3	4	3	3	5	3	**C_3**
12	ARACATI	4	4	4	-	-	-	**C_4**	4	4	4	-	-	-	**C_4**	4	4	4	-	-	-	**C_4**
13	LIMOEIRO	5*	4	5*	3	4	4	**C_4**	3	3	3	3	3	3	**C_3**	4	3	4	3	3	3	**C_3**
14	QUIXADÁ	4	4	4	3	4	4	**C_4**	3	3	3	3	3	3	**C_3**	3	3	3	3	3	3	**C_3**
15	CRATEÚS	-	3	4	3	4	4	**C_4**	-	3	3	3	3	3	**C_3**	-	3	3	3	3	3	**C_3**
16	IGUATU	3	3	3	2	3	3	**C_3**	3	3	3	3	3	3	**C_3**	3	3	3	3	3	3	**C_3**
17	CRATO	2	3	4	3	3	3	**C_3**	3	3	3	3	3	3	**C_3**	3	3	3	3	3	3	**C_3**

18	GUARAMIRANGA	-	-	5	3	5	5	**C_5**	-	-	5	3	5	5	**C_5**	-	-	5	4	5	5	**C_5**
19	PACOTI	-	-	3	4	4	4	**C_4**	-	-	3	4	4	4	**C_4**	-	-	4	4	4	4	**C_4**

Observações:
Ano 0 - Dezembro / 2002 a Maio / 2003;
Ano 1 - Junho / 2003 a Maio / 2004;
Ano 2 - Junho / 2004 a Maio / 2005;
Ano 3 - Junho / 2005 a Maio / 2006;
Ano 4 - Junho / 2006 a Maio / 2007;
Ano 5 - Junho / 2007 a Maio / 2008;
* – Resultado mais elevado que os valores classificados na Norma NBR 14643:2001



Figuras 4 - Categorias de corrosividade da atmosfera estimada para os materiais metálicos padrão, segundo NBR 14643:2001 (aço carbono; zinco e cobre; alumínio) expostos nas 19 estações do estado do Ceará – 2002 a 2008.

3.2 Classificação da corrosividade atmosférica anual, dentro do armário e na atmosfera externa da estação de estudo de corrosão atmosférica COFECO (2005 a 2008):

Tabela 4 – Teores de poluentes atmosféricos dentro do armário e em atmosfera externa (2005 a 2008)

Condições Ambientais na COFECO		Tempo de superfície úmida (TSU)		Concentração de sulfato (em mg de SO_2/m^2.dia)				Concentração de cloreto (em mg de Cl^-/m^2.dia)			
		Horas/ano (h/a)	Categoria	2005	2006	2007	2008	2005	2006	2007	2008
1.	Dentro do armário	4.658,37	t_4	72,23	61,91	62,78	36,86	19,69	31,68	25,81	9,57
2.	Atmosfera externa (1,80 m)	4.035,00	t_4	155,37	125,36	130,69	67,26	2066,3	2664,5	2278,5	1221,7

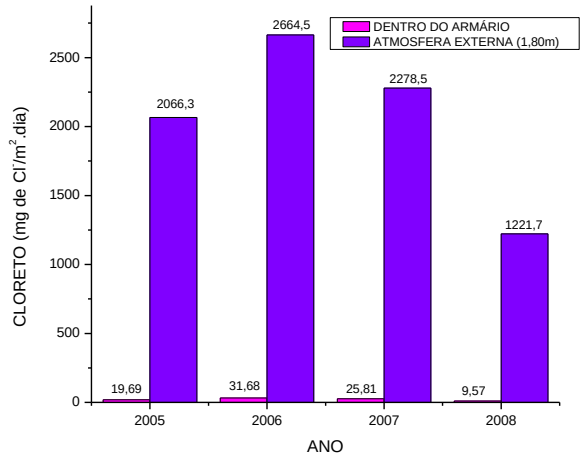
Tabela 5 – Classificação da agressividade atmosférica dentro do armário e em atmosfera externa (2005 a 2008)

Condições ambientais na COFECO		Tempo de superfície úmida (TSU)	Classificação por SO_2				Classificação por Cl^-			
		Categoria	2005	2006	2007	2008	2005	2006	2007	2008
1	Dentro do Armário	t_4	A2	A2	A2	A2	B1	B1	B1	B1
2	Atmosfera Externa (1,80 m)	t_4	A3	A3	A3	A2	B3*	B3*	B3*	B3

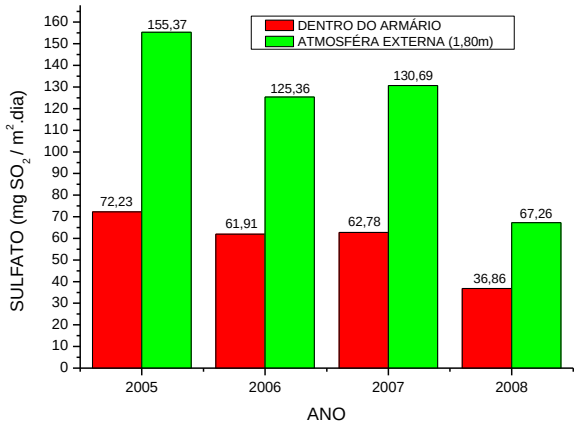
Tabela 6 - Categorias de corrosividade estimada da atmosfera dentro do armário e em atmosfera externa (2005 a 2008)

Condições ambientais na estação COFECO		Estimativas dos valores das categorias de corrosividade da atmosfera para os materiais metálicos														
		AÇO CARBONO					ZINCO E COBRE					ALUMÍNIO				
		2005	2006	2007	2008	Média de 4 anos	2005	2006	2007	2008	Média de 4 anos	2005	2006	2007	2008	Média de 4 anos
1	Dentro do armário	4	4	4	4	C_4	4	4	4	4	C_4	4	4	4	4	C_4
2	Atmosfera externa (1,80 m)	5*	5*	5*	5	C_5*	5*	5*	5*	5	C_5*	5*	5*	5*	5	C_5*

* – Resultado mais elevado que os valores classificados na Norma NBR 14643:2001



Concentração de cloreto (em mg de Cl^-/m^2.dia)



Concentração de sulfato (em mg de SO_2/m^2.dia)

Figura 05 – Teores de poluentes atmosféricos dentro do armário e fora do armário na estação COFECO (2005 a 2008)

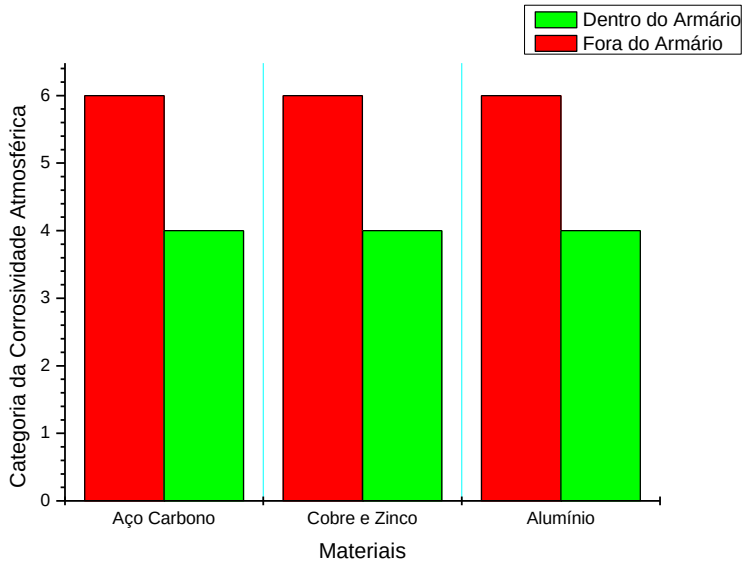


Figura 06 - Estimativas dos valores das categorias de corrosividade da atmosfera para os materiais metálicos expostos em diferentes meios (dentro e fora do armário), 2005 a 2008.

No eixo-Y estão expressos a parte numérica do código da categoria de corrosividade (exemplo: 1 em vez de C_1. E seguindo o mesmo raciocínio, foi considerado 6 em vez de $\mathbf{C_5}^*$).

3.3 Classificação da corrosividade atmosférica anual, referente aos poluentes e ao tempo de umectação, coletados na estação COFECO (coletores a1,80 m; 5,40 m; e 7,20 m de altura, período 2008 a 2009):

Tabela 7 – Poluentes atmosféricos e tempo de umectação coletados em diferentes alturas (1,80 m; 5,40m; e 7,20m), durante o período 2008 a 2009

Altura dos coletores instalados nos postes da estação COFECO (m)		Tempo de superfície úmida (TSU)		Concentração de sulfato (em mg de SO_2/m^2.dia)		Concentração de cloreto (em mg de Cl^-/m^2.dia)	
		Horas/ano (h/a)	Categoria	2008	2009	2008	2009
1.	1,80	4.035,00	t_4	150,93	81,84	2448,29	1744,98
2.	5,40	4.035,00	t_4	97,88	83,66	2033,92	1726,98
3.	7,20	4.035,00	t_4	114,24	89,47	1948,51	1611,36

Tabela 8 – Classificação da agressividade da atmosférica em diferentes alturas (1,80 m; 5,40m; e 7,20m), durante 2008 a 2009

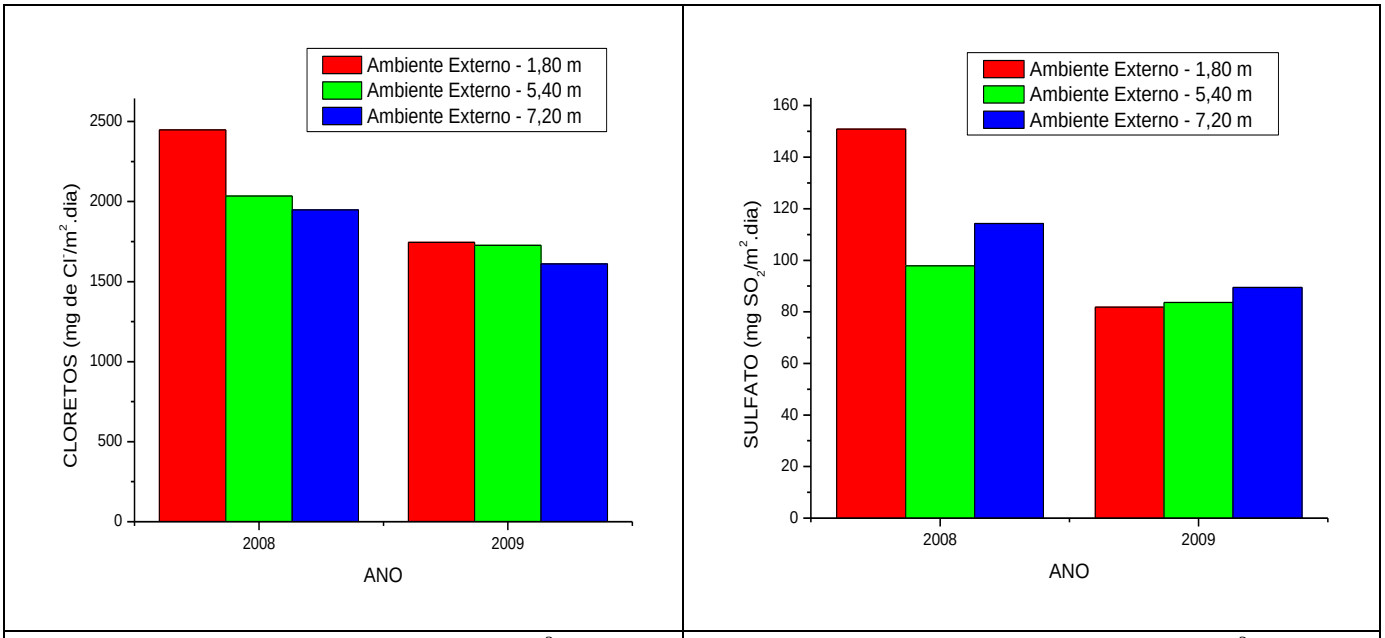
Altura dos coletores instalados nos postes da estação COFECO (m)		Tempo de superfície úmida (TSU)	Classificação por SO_2		Classificação por Cl^-	
		Categoria	2008	2009	2008	2009
1.	1,80	t_4	A3	A2	B3*	B3*
2.	5,40	t_4	A3	A2	B3*	B3*
3.	7,20	t_4	A3	A2	B3*	B3*

* – Resultado mais elevado que os valores classificados na Norma NBR 14643:2001

Tabela 9 - Categorias de corrosividade estimada da atmosfera em diferentes alturas (1,80 m; 5,40m; e 7,20m), durante 2008 a 2009

Altura dos coletores instalados nos postes da estação COFECO (em metro)		Estimativas dos valores das categorias de corrosividade da atmosfera para os materiais metálicos								
		AÇO CARBONO			ZINCO E COBRE			ALUMÍNIO		
		2008	2009	Média dos 2 anos	2008	2009	Média dos 2 anos	2008	2009	Média dos 2 anos
1.	1,80	5*	5*	C_5*	5*	5*	C_5*	5*	5*	C_5*
2.	5,40	5*	5*	C_5*	5*	5*	C_5*	5*	5*	C_5*
3.	7,20	5*	5*	C_5*	5*	5*	C_5*	5*	5*	C_5*

* – Resultado mais elevado que os valores classificados na Norma NBR 14643:2001



Concentração de cloretos (em mg de Cl^-/m^2.dia)	Concentração de sulfatos (em mg de SO_2/m^2.dia)

Figura 07 – Teores de poluentes atmosféricos em diferentes alturas (1,80 m; 5,40m; e 7,20m), durante 2008 a 2009).

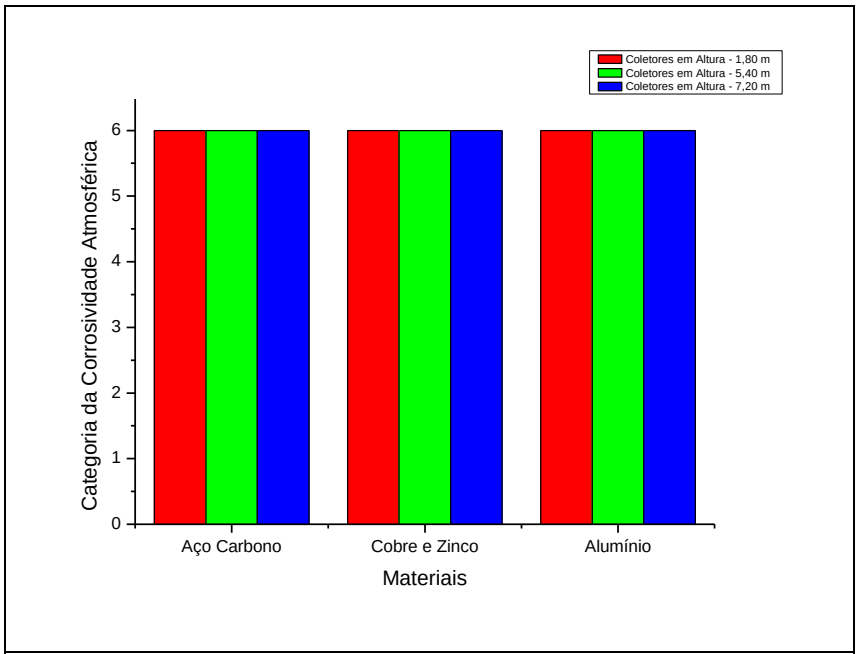


Figura 08 – Média dos valores de dois anos (2008 a 2009) de estimativas das categorias de corrosividade da atmosfera para os materiais metálicos expostos em diferentes alturas (1,80 m; 5,40m; e 7,20m).

No eixo-Y estão expressos a parte numérica do código da categoria de corrosividade (exemplo: 1 em vez de C_1. E seguindo o mesmo raciocínio, foi considerado 6 em vez de $\mathbf{C_5}^*$).

4. Discussões e Conclusões

4.1. Avaliando-se a agressividade da atmosfera das 19 estações de estudo de corrosão instaladas no estado do Ceará em relação ao comportamento dos materiais padrão segundo

NBR 14643:2001 (aço carbono; zinco e cobre; alumínio) até 2008 e de acordo com o gráfico apresentado para as categorias de corrosividade da atmosfera estimada para os materiais estudados na pesquisa iniciada em 2002 (Figura 4) foi possível identificar a existência de 4 microclimas distintos no estado do Ceará, tal como mostrado na Tabela 10.

Tabela 10 – Microclimas identificados em função da categoria da corrosividade atmosférica das estações de estudo de corrosão do estado do Ceará

Material Padrão	**Categoria da corrosividade atmosférica das estações de estudo de corrosão do estado do Ceará**			
	C_5* (Extremamente Agressiva)	**C_5 (Agressividade Muito Alta)**	**C_4 (Agressividade Alta)**	**C_3 (Agressividade Média)**
1. Aço Carbono	COFECO	CAMOCIM INHUÇU B. SUCATINGA GUARAMIRANGA	SOBRAL NUTEC MARACANAÚ PECÉM ITAIÇABA ARACATI LIMOEIRO QUIXADÁ CRATEÚS PACOTI	ITAPIPOCA ACARAÚ IGUATU CRATO
2. Zinco e Cobre	COFECO	CAMOCIM B. SUCATINGA GUARAMIRANGA	ITAPIPOCA ACARAÚ INHUÇU MARACANAÚ PECÉM ARACATI PACOTI	SOBRAL NUTEC ITAIÇABA LIMOEIRO QUIXADÁ CRATEÚS IGUATU CRATO
3. Alumínio	COFECO	CAMOCIM B. SUCATINGA GUARAMIRANGA	ACARAÚ INHUÇU PECÉM ARACATI PACOTI	ITAPIPOCA SOBRAL NUTEC MARACANAÚ ITAIÇABA LIMOEIRO QUIXADÁ CRATEÚS IGUATU CRATO

* – Resultado mais elevado que os valores classificados na Norma NBR 14643:2001

4.2. Observando os resultados dos teores dos poluentes atmosféricos apresentados na Figura 5 têm-se:

- os teores de íons cloreto detectados dentro do armário, são muito mais baixos do que os valores detectados no ambiente externo. Isto acontece devido à proteção por barreira oferecida pelas paredes do armário. As barreiras se comportam como isoladoras impermeáveis que bloqueiam o transporte dos cloretos presentes na massa de ar soprada pelos ventos no sentido do mar para o território. O teor de cloretos, dentro do armário, dependerá da quantidade e da velocidade de difusão destes íons na massa de ar e, também, de um somatório de variáveis como: direção dos ventos, chuva, umidade relativa do ar, radiação solar, etc;

- os teores de íons sulfatos detectados dentro do armário, equivalem a, aproximadamente 50% dos valores detectados no exterior. A diferença teor interno/externo pode ser explicada como apresentado para os íons cloreto, ou seja, ocasionada pela proteção por barreira oferecida pelas paredes do armário. O teor de sulfatos dentro do armário depende, principalmente, da quantidade e da velocidade de difusão do enxofre dentro da massa de ar.

4.3. Observando os resultados dos teores dos poluentes atmosféricos apresentados na Figura 6 têm-se:

- o comportamento dos quatro diferentes materiais escolhidos como padrão (aço carbono, cobre e zinco, e alumínio), mostrou similaridade em relação as resistências à corrosão tanto para ambiente interior quanto exterior. Contudo, deve ser ressaltado, de acordo com a Tabela 4, que todos os valores determinados para íons cloreto no ambiente exterior da COFECO, foram mais elevados que 1500 mg de Cl^-/m^2.dia (maior valor normalizado para a categoria de classificação de concentração de Cl^- (**B_3**)). Sendo assim, a categoria de corrosividade da atmosfera do ambiente exterior nesta estação foi considerada como (**C_5^***), agressividade superior C_5.

4.4. Da Figura 7 tem-se:

- durante o ano de 2008 a atmosfera demonstrou-se um pouco mais corrosiva, quanto aos teores dos poluentes (cloretos e sulfatos) e as demais condições climáticas, porque foi um ano que choveu menos do que em 2009. Contudo, é muito pequena a diferença entre os resultados destes poluentes expostos durante o mesmo período, coletados nas três diferentes alturas.

4.5. Na Figura 8 observa-se:

- durante os anos de 2008 e 2009, os valores estimativos das categorias de corrosividade da atmosfera foram iguais para os materiais metálicos (aço carbono; zinco e cobre; e alumínio) expostos nas diferentes alturas (1,80 m; 5,40m; e 7,20m). Isto aconteceu, em virtude dos resultados das três variáveis quantificadas na pesquisa, durante estes dois anos, não terem sido significativamente diferentes nas três distintas alturas, e por isto, nestas alturas apresentou-se a mesma classificação da agressividade atmosférica.

Então, como todos os resultados da pesquisa de corrosão atmosférica realizada nas 19 estações do Ceará, podemos concluir que todos os resultados de classificação da corrosividade atmosférica e da pesquisa de resistência à corrosão atmosférica dos materiais utilizados na rede de energia elétrica, podem ser extrapolados para ser o valor real da

classificação da corrosividade das atmosferas que se encontram em torno dos materiais utilizados em alturas elevadas, com as dos postes, das torres, etc. e, por conseguinte, a resistência à corrosão atmosférica dos materiais que compõem a distribuição da rede deve ser preparada para suportar adequadamente às tais agressividades. Dentro da mesma linha de raciocínio, no que se refere à classificação da corrosividade atmosférica determinada por meio de ensaios das amostras coletadas de dentro dos armários, comprovamos ser aproximadamente, igual à metade em valor à classificação da corrosividade atmosférica determinada para amostras coletadas a 1,80 m de altura. Então, podemos concluir que todos os resultados de classificação da corrosividade atmosférica e da pesquisa de resistência à corrosão atmosférica, dos materiais utilizados em armários fechados ou gabinetes, inclusive, os materiais componentes dos sistemas eletrônicos que são protegidos dentro de caixas lacradas e os componentes instalados nas subestações de controle de sistemas elétricos ou de telecomunicações, devem ser extrapolados para ser a metade do valor real da classificação da corrosividade das atmosferas que se encontram expostos nas estações de corrosão, porém, estas atmosferas sempre continuam sendo consideras como corrosivas, principalmente, se a atmosfera do ambiente externo tiver alto teor de sulfato.

Finalmente, devemos concluir:

- a corrosividade da atmosfera em toda faixa do litoral situada à beira-mar do estado do Ceará, aproximadamente (600 km de comprimento por 10 km de largura) é extremamente agressiva, para metais como: aço carbono, zinco, cobre, alumínio, estanho e aço inoxidável;
- a região situada nas vizinhanças desta faixa, aproximadamente (600 km de comprimento por 20 km de largura) e a região serrana de Guaramiranga e Serra Grande devem, também, ser consideradas como sendo de muito alta agressiva;
- a região que ainda recebe influência marinha e um pouco do clima de sertão do norte deve, também, ser considerada como sendo de alta agressiva;
- todo restante do estado do Ceará, regiões do sertão central e do sertão (Inhamus, Centro-Sul e Sul) podem ser consideradas como sendo de média e moderada agressividade.

Referências bibliográficas

(1) LUNA, A. M.; MONTENEGRO, I. N. S.; FILGUEIRA, A. R. M.; PEREIRA, N. A.; FERREIRA, W.M.; RODRIGUES, J.A. **Mapeamento da Corrosividade Atmosférica do Estado do Ceará.** In: 28º Congresso Brasileiro de Corrosão e 2nd International Corrosion Meeting, 2008, Recife. ABRACO. Rio de Janeiro, 2008.

(2) MONTENEGRO, I. N. S.; MAIA, A. L.; LUNA, A. M.; PEREIRA, N. A.; FILGUEIRA, A. R. M. . **Resultados Parciais da Classificação da Agressividade Atmosférica Quanto à Corrosão e Degradação Atmosférica dos Materiais Elétricos do Ceará.** In: Congresso Latino Americano de Corrosão, 2006, Fortaleza. ABRACO. Rio de Janeiro, 2006.

(3) MONTENEGRO, I. N. S. **Corrosão Atmosférica nos Materiais Utilizados no Setor Elétrico em Fortaleza.** 1996. Dissertação de Mestrado - Depto. de Química, UFRN, Natal, 1996.

(4) VIANNA, R. de O. Avaliação da corrosão atmosférica no Brasil. Bol. Técnico [da PETROBRÁS], JUL./SET. 1977. 5p.

(5) CYTED, **Corrosão e Proteção de Metais nas Atmosferas da Iberoamerica, Parte 1- Mapas da Iberoamerica de Corrosividade Atmosférica (Projecto Micat, Xy.1/Cyted)**, Editores: Manuel Morcillo - Centro Nacional de Investigaciones, CSIC - Madrid (España);

M. Elisabete M. Almeida – Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial - Lisboa (Portugal); Blanca M. Rosales – Instituto de Investigaciones Cientificas Y Técnicas de las Fuerzas Armadas - Buenos Aires (Argentina); Jorge Uruchurtu – Instituto de Investigaciones Eléctricas - Cuernavaca (México); Marcelo Marrocos – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Rio de Janeiro Brasil). 1998**.**

(6) MONTENEGRO, I. N. S.; LUNA, A. M.; PEREIRA, N. A.; FILGUEIRA, A. R. M.. **Estrutura Física e Monitoração do Projeto Corrosão e Degradação Atmosférica dos Materiais Elétricos do Ceará.** In: Congresso Latino Americano de Corrosão, 2006, Fortaleza. ABRACO. Rio de Janeiro, 2006.

(7) SILVA, J. R. A. **Productos eletro-eletrônico en ambientes tropicales.** Sitta Gráfica, Campinas, SP, 2003.

(8) Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 14643 - Corrosão atmosférica – Classificação da corrosividade de atmosferas**. Jan. 2001.