

Desempenho de cupons de aço carbono 1020 na região metropolitana de Salvador - Ba.

Kelly Jacqueline Campos Brambilla¹, Kleber Franke Portella², Danilo Damasceno Silva³, Mário Seixas Cabussú⁴, Daílton Pedreira Cerqueira⁵ e Rogério Nascimento Salles⁶

Abstract

Salvador is a warm and sticky city typically tropical, 2,500 hours per year of sunshine, windy, enabling a (t) thick wet surface (> 4000 h / year) or very corrosive environment (C4) and an average annual temperature of 25 °C. These weather conditions are extremely harmful for engineering materials, especially in places where there is industrial pollution concurrently. This study makes an analysis of variables which affect the atmospheric corrosion process of 1020 carbon steel used in electric power transmission and distribution lines (RD) of Salvador's metro area as well as providing a fully mapping of the region. A sorting of aggressive air and its effect on the 1020 carbon steel rod samples were first made to provide data collection relating to 17th atmospheric corrosion (ACS). According with the current corrosion rates standards were used the NBR 6210 and ASTM G 1-90. The results of these parameters allowed us to observe an emphasis on Amaralina, Ipitanga Beach and Pituba as regions where there was a trend to greater mass losses and corrosion rates on such samples.

Keywords: corrosion, carbon steel, atmosphere, Salvador

¹Aluno de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Engenharia – UFPR

²Kleber Franke Portella – Pesquisador Doutor - LACTEC

³Aluno de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade Salvador, Bolsista PIBITI – LACTEC

⁴Mário Seixas Cabussú – Gerente de pesquisa e Desenvolvimento - COELBA

⁵Daílton Pedreira Cerqueira – Coordenador do Setor de Expansão de Redes - COELBA

⁶Rogério Nascimento Salles – Coordenador de RDE - COELBA

Resumo

Salvador é uma cidade de clima quente e úmido, tipicamente tropical, com cerca de 2.500 h anuais de sol, ventilada, tempo de superfície úmida (t) elevado ($\gg 4.000$ h/ano), ou seja, de alta corrosividade ambiental (C_4) e uma temperatura média anual de 25°C . Estas condições climáticas extremamente prejudiciais aos materiais de engenharia, principalmente nos locais onde há, concomitantemente, poluição industrial. Neste trabalho foram analisadas as variáveis que influenciam no processo de corrosão atmosférica do aço carbono 1020 da rede aérea de distribuição de energia elétrica (RD) da região metropolitana de Salvador, bem como a realização do mapeamento ambiental da região. Na classificação da agressividade atmosférica e do efeito desta sobre o aço carbono 1020 foram confeccionados cupons que proporcionaram desta forma o levantamento de dados referentes a dezessete estações de corrosão atmosférica (ECAs), onde foram distribuídos. Na determinação da taxa de corrosão as normas utilizadas foram a ABNT NBR 6210 e ASTM G 1-90. A análise dos resultados destes parâmetros permitiu observar um destaque para as regiões de Amaralina, Praia de Ipitanga e Pituba, como regiões onde houve uma tendência a maiores perdas de massa e taxa de corrosão dos cupons.

Palavras-chave: corrosão, aço carbono, atmosfera e Salvador

Introdução

Salvador é uma cidade de clima quente e úmido, tipicamente tropical, com cerca de 2.466 h anuais de sol, ventilada (ventos anuais com velocidade média de $2,2$ m/s) e uma temperatura média anual de 25°C . É considerada uma das cidades mais ensolaradas do mundo, com umidade média anual da ordem de 81%, tendo a vantagem de ser cercada pelo mar em três de seus lados. Estas condições climáticas são extremamente prejudiciais aos materiais de engenharia, principalmente nos locais onde há, concomitantemente, poluição industrial. Assim, têm-se como desvantagens, em boa parte das regiões analisadas: ambiente propício à corrosão ou degradação dos materiais como os metálicos, pela instauração de um tempo de superfície úmida (t) elevado ($\gg 4.000$ h/ano), neste caso, classificado pela NBR 14643/01 [1], como t_4 , ou seja, de alta corrosividade ambiental (C_4); altas taxas de salinidade e material particulado de dureza elevada, devidos aos ventos predominantes em direção ao continente, podendo causar corrosão atmosférica pelos íons cloretos e sulfatos e, também, erosão por abrasão das superfícies dos

materiais e, alta taxa de radiação solar, com valor médio >2.400 h/ano, o que amplia a possibilidade de degradação dos materiais [1, 2].

Assim, o estudo das variáveis que influenciam no processo de corrosão atmosférica, é de fundamental relevância, haja vista que grande parte dos materiais presentes no cotidiano está susceptível ao processo de degradação. Tem-se, como exemplo, a maioria dos metais das linhas de distribuição e transmissão de energia elétrica, bem como de comunicação de dados, tais como: cabos, torres, linhas telefônicas, acessórios de rede, entre outros [2, 3]. Com base nestas informações esta pesquisa propõe apresentar uma metodologia para a determinação da taxa de corrosividade e de deterioração de aço carbono da rede aérea de distribuição de energia elétrica (RD) da região metropolitana de Salvador, BA. Para tanto, foi desenvolvida uma metodologia baseada na implantação de 17 estações de corrosão atmosférica (ECAs) abrangendo diferentes ambientes corrosivos. Então, nestas ECAs foram monitorados, mensalmente, parâmetros meteorológicos, a fim de se obter subsídios para a classificação da corrosividade atmosférica, assim como, foram instalados, cupons de aço carbono.

Revisão Bibliográfica

Classificação da corrosividade atmosférica

A corrosão atmosférica é um dos processos de corrosão mais comuns, pois a grande maioria das estruturas expostas a atmosfera é metálica. Ela ocorre quando se forma uma fina película de eletrólito sobre a superfície do metal, o que possibilita o ataque do tipo eletroquímico. A película é formada devido à presença de umidade na atmosfera. Mesmo para umidade relativa baixa, como 60%, pode ocorrer a formação dessa película [4]. A velocidade de corrosão dependerá fortemente da umidade relativa do ar e dos constituintes da atmosfera [5].

A norma NBR 14643 [6] da ABNT, fornece guias padrões para a classificação do grau de corrosividade da atmosfera frente a materiais metálicos padrões tais como o aço carbono, alumínio, cobre e zinco. Esta reflete então o atual conhecimento sobre este tipo de classificação e caracteriza a atmosfera em cinco categorias de corrosividade, variando de C_1 (muito baixa) a C_5 (muito alta), conforme demonstrado na Tabela 1.

A classificação do grau corrosividade de uma atmosfera sobre o aço carbono pode ser realizada a partir das taxas de corrosão obtidas no primeiro ano de exposição, conforme demonstrado na Tabela 2.

TABELA 1. CATEGORIAS DE CORROSIVIDADE ATMOSFÉRICA.

CATEGORIA DE CORROSIVIDADE	AGRESSIVIDADE
C ₁	Muito baixa
C ₂	Baixa
C ₃	Média
C ₄	Alta
C ₅	Muito Alta

TABELA 2. CATEGORIAS DE CORROSIVIDADE ATMOSFÉRICA SEGUNDO DADOS OBTIDOS NO PRIMEIRO ANO DE EXPOSIÇÃO.

CATEGORIA DE CORROSIVIDADE	UNIDADES	AÇO CARBONO
C ₁	g/m ² /ano µm/ano	≤ 10 ≤ 1,3
C ₂	g/m ² /ano µm/ano	10-200 1,3-25
C ₃	g/m ² /ano µm/ano	200-400 25-50
C ₄	g/m ² /ano µm/ano	400-650 50-80
C ₅	g/m ² /ano µm/ano	650-1500 80-200

Corrosão atmosférica do aço carbono

Um metal se dissolve pela formação de íons metálicos a um potencial dado pela equação de Nernst (1) [7]:



$$E^0 = -\frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{a_{\text{Me}^{++}}}{a_{\text{Me}}} \right), \text{sendo } a_{\text{Me}} = 1 \quad (2)$$

Não há dissolução a um potencial inferior e que acima dele a forma estável é a iônica, dissolvendo-se o metal segundo a reação (1), e independente do pH do meio, visto que a presença dos íons H^+ ou OH^- não intervém no processo [7, 8].

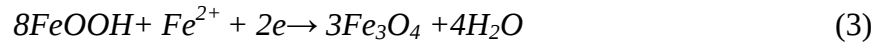
Entretanto, de alguma forma os íons H^+ e OH^- , não somente altera o potencial, como condicionam as reações de corrosão, pois os íons Me^{++} produzidos nelas dão lugar a óxidos e hidróxidos, compostos que influem sobre a velocidade de corrosão pelas suas características mais ou menos protetoras. Além disso, acima de certo valor de potencial, distinto para cada metal, os metais se dissolvem, juntamente com os óxidos e hidróxidos previamente precipitados, originando ânions ou íons complexos [9, 10].

Tudo isso se torna importante para o estudo da corrosão, pois, nas condições em que se formam produtos solúveis é de se esperar que ocorra corrosão, enquanto que a formação de produtos insolúveis pode paralisá-la, chegando inclusive a proteger o metal por passivação. Sabe-se que a velocidade de corrosão alcança em um determinado período de exposição um regime estável e no geral muda pouco durante a exposição posterior.

Entre os produtos da corrosão atmosférica do ferro geralmente encontram-se os oxi-hidróxidos (α -FeOOH, goethita; γ -FeOOH, lepidocrocita; β -FeOOH, akaganeita), o óxido ferroso-férrico (Fe_3O_4 , magnetita) e o hidróxido ferroso ($Fe(OH)_2$). Obviamente, os compostos que se detectam com maior facilidade são aqueles mais insolúveis e que, portanto, são encontrados em concentrações elevadas.

Nas atmosferas rurais, urbanas e industriais, longe da costa, geralmente se detecta exclusivamente goethita e lepidocrocita. Sua existência pode ser confirmada pela microscopia eletrônica de varredura (MEV). Nas atmosferas marinhas também ocorre a formação de akaganeita e magnetita. Pela lixiviação com água destilada quente e posterior concentração pode-se chegar a detectar a presença de cloretos e sulfatos de ferro solúveis. Ambas as espécies tendem a se concentrar na camada aderente de produtos de corrosão.

Em atmosferas não contaminadas, os produtos primários da corrosão do ferro, principalmente hidróxido ferroso, se transformam em óxidos férricos hidratados insolúveis (produtos secundários), de natureza amorfa e coloidal, que dificultam a difusão através dos reagentes e produtos da reação, freando extraordinariamente o processo da corrosão. Em ausência de acidez o $Fe(OH)_2$ precipita-se, inibindo a formação da película de ferrugem. Entretanto o $Fe(OH)_2$ não é estável, e em presença de oxigênio se oxida a FeOOH. Em regiões da película onde o acesso de oxigênio está limitado (próximo à interface aço/ferrugem), os oxi-hidróxidos se reduzem eletroquimicamente à magnetita, de acordo com a seguinte reação:



Posteriormente a magnetita se reoxida pelo oxigênio do ar em presença de umidade:



Experimental

Para a classificação e correlação da região de Salvador-Ba foram levantados dados referentes a 17 ECAs localizadas em distintas áreas abrangendo desde os ambientes mais agressivos, devido à salinidade e aos poluentes industriais, até os menos agressivos nas regiões mais afastadas da orla marítima e de complexos industriais.

Regiões de monitoramento

Na Tabela 3, encontram-se listados os módulos e o período de coleta de dados para cada ECA.

Classificação Climática de Salvador

Altas temperaturas e umidade relativa são fatores que contribuem com o aumento da degradação dos materiais na atmosfera [11]. Com base em tal conceito, Brooks apud Morcillo *et al.* [12] apresentou um índice sobre o potencial corrosivo a partir de dados meteorológicos. O valor numérico denominado índice de deterioração de Brooks (Id), pode representar um importante índice sobre o potencial corrosivo a partir de dados meteorológicos, e é calculado a partir da pressão de saturação do vapor de água (este valor pode ser obtido experimentalmente ou por meio de tabelas padrão) [13] à temperatura e umidade relativa médias da região. De acordo com o valor de Id, a taxa de corrosão tem uma correlação direta com a corrosividade atmosférica como é ilustrado na Tabela 4.

TABELA 3. *MODULOS DE COLETA INSTALADOS NA REGIÃO DE SALVADOR-BA*

ECAS	Localização	Período	
		Início	Fim
ECA 1	São Cristovão (SE SCR)	20/10/2008	5/8/2009
ECA 2	Federação (SE FDR)	17/10/2008	5/8/2009
ECA 3	Amaralina (SE AML)	17/10/2008	4/8/2009
ECA 4	Pituaçu (SE PUD)	17/10/2008	4/8/2009
ECA 5	Pituba (SE PIT)	17/10/2008	4/8/2009
ECA 6	Paripe (SE PPE)	17/10/2008	5/8/2009
ECA 7	Camaçari (SE CMU)	16/10/2008	2/8/2009
ECA 8	Sauípe (SE SPS)	16/10/2008	2/8/2009
ECA 9	Praia de Ipitanga (SE PR IPI)	7/11/2008	6/8/2009
ECA 10	Lapinha (SE LPN)	11/11/2008	5/8/2009
ECA 11	Candeal (SE CDL)	11/11/2008	5/8/2009
ECA 12	Itapagipe (SE IPG)	16/10/2008	6/8/2009
ECA 13	Cajazeiras II (SE CJD)	14/10/2008	5/8/2009
Centro Administrativo (SE			
ECA 14	CAB)	20/10/2008	6/8/2009
ECA 15	CIA Paripe (CIA PPE)	6/11/2008	7/8/2009
ECA 16	CIA Aeroporto (CIA AER.)	6/11/2008	5/8/2009
ECA 17	Estrada do Côco (ES COC)	6/11/2008	6/8/2009

Na Figura 1 têm-se esquematizada a localização das ECAs na região metropolitana de Salvador.

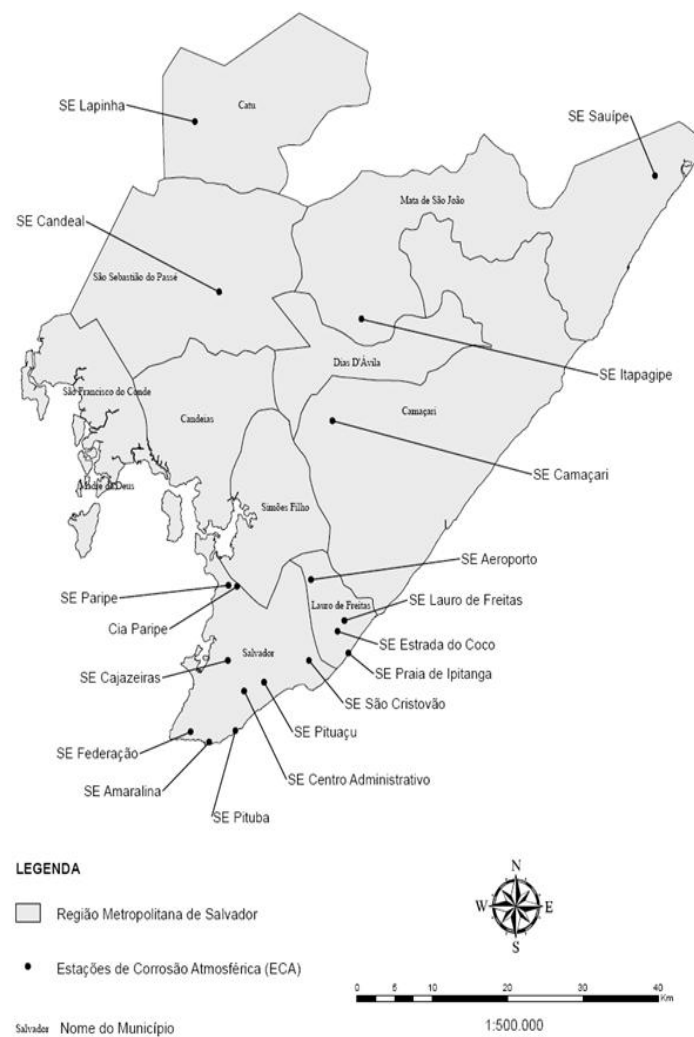


FIGURA 1. MAPA ILUSTRATIVO DA LOCALIZAÇÃO APROXIMADA, DAS 17 ECA'S INSTALADAS NA REGIÃO METROPOLITANA DE SALVADOR.

TABELA 4. ÍNDICE DE DETERIORAÇÃO DE BROOKS [12].

Id	GRAU DE DETERIORAÇÃO	Id	AGRESSIVIDADE
Id < 1	Muito baixo	0 - 1	Não agressivo
1 < Id < 2	Baixo	1 - 2	Muito pouco agressivo
2 < Id < 5	Moderado	2 - 4	Pouco agressivo
Id > 5	Alto	4 - 5	Agressivo
		5 - 10	Muito agressivo

A implantação das estações de intemperismo natural teve como objetivo avaliar a agressividade dos contaminantes atmosféricos, aliada às condições climáticas locais, sobre o desempenho de CPs metálicos semelhantes às estruturas metálicas usadas na região. Estas estações foram situadas em áreas capazes de representar, o melhor possível, a região de avaliação de forma a considerar os parâmetros ambientais envolvidos, pois de acordo com a natureza e a concentração dos contaminantes um ambiente pode ser caracterizado como muito agressivo para um determinado metal e pouco agressivo para outro.

Os cupons foram instalados conforme norma ABNT NBR 6209 [14]. A direção e velocidade dos ventos foram parâmetros importantes na escolha do local, por influenciarem diretamente na dispersão e sinergismo dos poluentes.

Na Figura 2 é possível visualizar a instalação dos cupons em uma estação de corrosão atmosférica, neste caso, a subestação está localizada em Lauro de Freitas.

Na Figura 3 têm-se a foto de um cupom antes de ser instalado em uma ECA (Figura 3a), e na Figura 3b tem-se a sua foto após 1 ano de exposição a corrosão atmosférica.

Os CPs foram devidamente cortados, desengraxados com solvente (acetona), preparados por limpeza química, pesados e tiveram sua área determinada conforme a norma ABNT NBR 6210 [15]. Após o preparo dos CPs, estes foram codificados por meio de uma haste contendo letras e números (Tabela 5), estas hastes foram inseridas em um orifício feito dentro do CP.



FIGURA 2. SUBESTAÇÃO LDF CUPONS DE AÇO CARBONO



FIGURA 3. CUPONS DE AÇO CARBONO.

Os CPs foram retirados com periodicidade trimestral. Após cada período de exposição dos CPs e de terem passado por uma prévia inspeção visual e registro fotográfico, foi realizada a limpeza adequada dos produtos de corrosão de acordo com o tipo de material padrão. Neste trabalho foi adotada, primeiramente, a limpeza mecânica leve dos produtos de corrosão fracamente aderidos, utilizando-se escovas de cerdas macias, e, em seguida, procedeu-se à limpeza química que implicou na remoção dos produtos gerados, dissolvendo-os em reagentes químicos adequados para cada tipo de material, conforme normas ABNT NBR 6210 e ASTM G1-90 [16].

A massa final dos CPs após remoção dos produtos de corrosão foi determinada pela interseção das retas correspondentes à remoção dos produtos de corrosão e ao ataque do metal-base, conforme demonstrado na Figura 4[3].

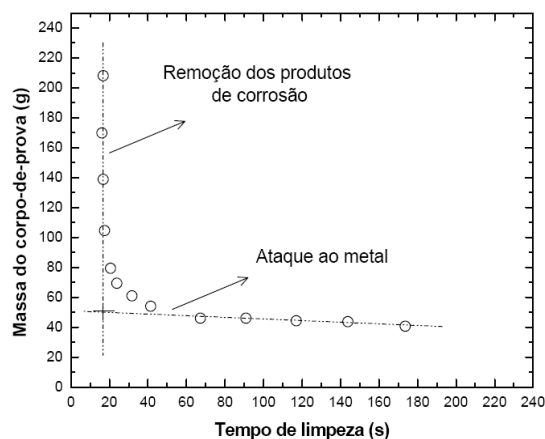


FIGURA 4. CURVA DA PERDA DE MASSA DO CP, REMOVIDA POR ATAQUE QUÍMICO, EM RELAÇÃO AO TEMPO DE LIMPEZA[3].

Devido essa perda de massa ser influenciada pela área exposta e pelo tempo de exposição, essas variáveis foram combinadas e expressas numa fórmula que determina a taxa de corrosão conforme norma [16].

$$\text{Taxa de corrosão} = \frac{K.M}{S.t.\rho} \quad (5)$$

Onde (K) é uma constante que determina a unidade da taxa de corrosão; (M) é a perda de massa em g, com aproximação de 1 mg; (S) é a área do CP em cm², com aproximação de 0,01 cm²; (t) é o tempo de exposição em horas e (ρ) é a massa específica em g/cm³.

Resultados e Discussão

Dados Metereológicos

No período considerado, Salvador bem como outras capitais do nordeste e norte do Brasil, apresentou índices de precipitação pluviométrica superior às últimas médias anuais [17, 18]. Assim, o índice de deterioração da atmosfera (ID), obtidos a partir da expressão Brooks foi de 5,1 para a cidade de Salvador-BA, classificado como muito agressivo.

Distância das ECAs ao mar

De acordo com GENTIL (2003), a água do mar pode ser considerada uma das mais corrosivas, visto que contém concentrações relativamente elevadas de sais funcionando como eletrólito forte, o que provoca um rápido processo eletroquímico de corrosão nos metais.

A salinidade em atmosferas marinhas acelera a corrosão metálica e varia dentro de amplos limites geográficos, contendo valores extremamente elevados perto das zonas de fortes rebentações oceânicas a valores baixos em águas calmas. A concentração de aerossóis marinhos na atmosfera depende diretamente de diversos fatores tais como a distância do mar, topografia da terra, orografia da terra (altura de montanhas e fronteiras), predominância e velocidade de ventos.

Desta forma mediu-se a distância de cada Eca ao mar conforme a Tabela 5.

TABELA 5. DISTÂNCIAS DAS ECA's AO MAR EM KILÔMETROS.

NOME	DISTÂNCIA DA ECA ATÉ O MAR (Km)
SE SCR	3,77
SE FED	1,35
SE AML	0,15
SE PUD	2,83
SE PIT	0,5
SE PPE	1,68
SE CMU	20,5
SE SPS	2,87
PRAIA IPI	0,06
SE LNP	57,04
SE CDL	2,92
SE IPG	24,83
SE CJD	2,94
SE CAB	3,35
CIA PPE	2,83
SE AER	9,7
EST. COC	3,08

Ensaio de Intemperismo

São apresentados na Figura 5, a perda de massa dos cupons de aço carbono 1020, assim como, na Figura 6 as respectivas taxas de corrosão.

Do gráfico da Figura 5, constatou-se que a perda de massa das ECA's de Amaralina, Praia de Ipitanga, Camaçari e Pituba foram superiores às demais, sendo que a da praia de Ipitanga entre estas citadas foi a que mais se destacou. O mesmo foi observado em relação à taxa de corrosão apresentada na Figura 6, onde estas mesmas ECA's se destacaram em relação às demais outras estações.

Uma explicação para o fato da taxa de corrosão e a perda de massa terem sido maiores nestas ECA's está relacionada com a proximidade destas estações ao mar, conforme demonstrado na Tabela 5.

Outro aspecto importante a ser tratado é o fato da ECA de Camaçari não estar próxima ao mar (20,50 Km de distância), e ter apresentada uma alta taxa de corrosão quando considerada em relação às outras estações. Este fato pode ser consequente de sua proximidade ao pólo industrial e petroquímico de Camaçari, onde se supõe maior concentração de poluentes atmosféricos.

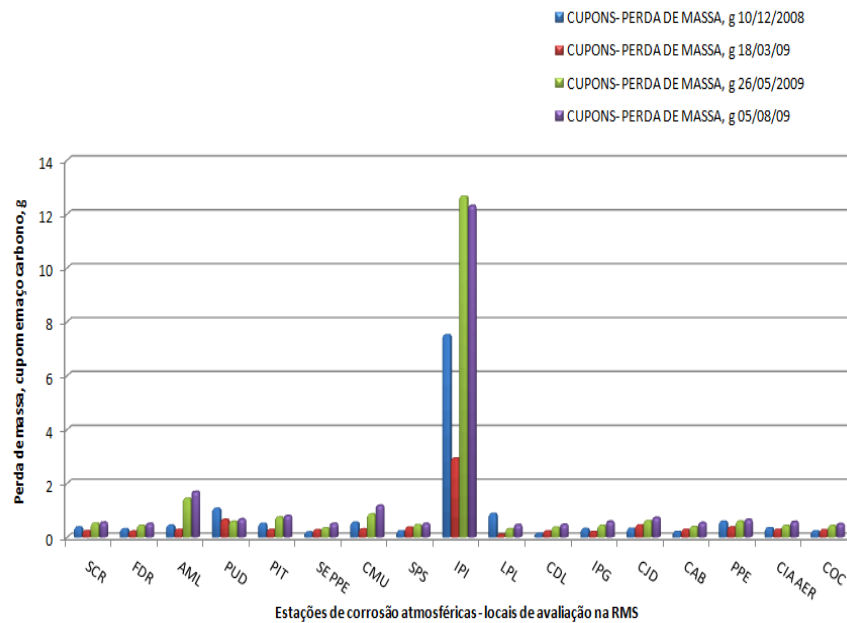


FIGURA 5. PERDA DE MASSA (g) DOS CUPONS EM AÇO CARBONO 1020 NAS ECA's.

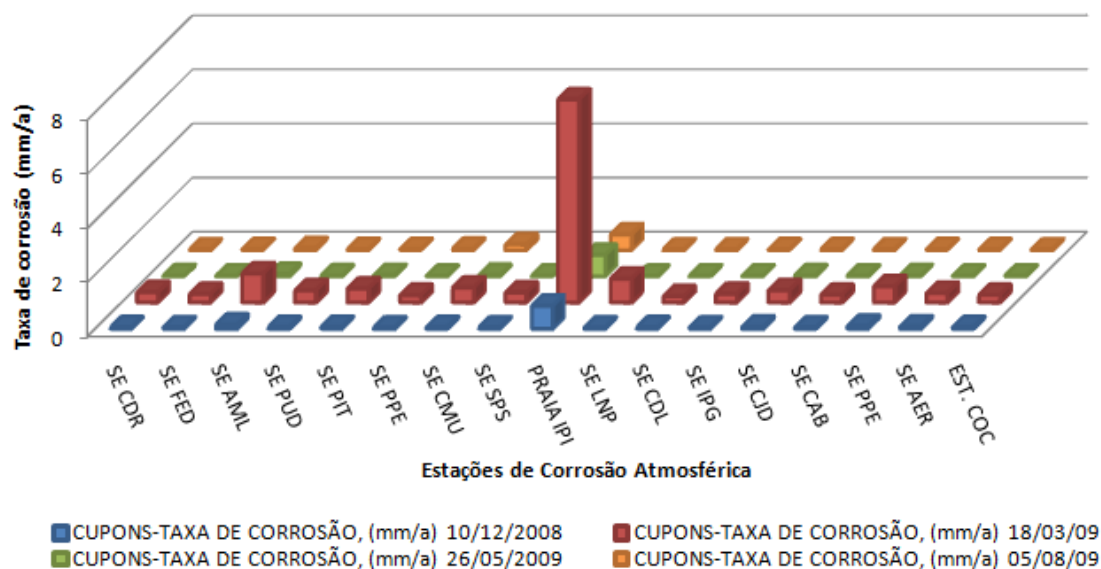


FIGURA 6. TAXA DE CORROSÃO (mm/a) DOS CUPONS EM AÇO CARBONO 1020 NAS ECA's.

Categoria de Corrosividade

De acordo com a norma NBR 14643 [6] foi possível classificar as ECA's em categorias quanto a sua corrosividade como pode ser observado na Tabela 6.

De acordo com a Tabela 6, foi possível observar que a corrosividade da Região Metropolitana de Salvador varia entre média e baixa, tendo apenas a ECA de Amaralina e Praia de Ipitanga como alta e muito alta, respectivamente.

TABELA 6. CATEGORIA DE CORROSIVIDADE EM RELAÇÃO À TAXA DE CORROSÃO APÓS 1 ANO DE EXPOSIÇÃO DOS CUPONS.

NOME	CATEGORIA DE CORROSIVIDADE	CORROSIVIDADE
SE CDR	C2	baixa
SE FED	C2	baixa
SE AML	C4	alta
SE PUD	C3	média
SE PIT	C3	média
SE PPE	C2	baixa
SE CMU	C3	média
SE SPS	C2	baixa
PRAIA IPI	C5	muito alta
SE LNP	C2	baixa
SE CDL	C2	baixa
SE IPG	C2	baixa
SE CJD	C3	média
SE CAB	C2	baixa
SE PPE	C3	média
SE AER	C2	baixa
EST. COC	C2	baixa

Conclusão

Em relação à perda de massa e taxa de corrosão as ECAs de Amaralina, Camaçari, Praia de Ipitanga, e Pituba se sobressaíram em relação as demais ECA's da Região Metropolitana de Salvador, sendo que a Praia de Ipitanga entre estas citadas foi a que mais se destacou. A razão para estes destaques pode ser explicado pelo fato destas ECA's estarem localizadas próximas à zona de arrebentação marinha, sendo a estação da Praia de Ipitanga a de maior corrosividade ambiental devido à sua distância ao mar de 0,06 km.

Os resultados da pesquisa indicaram que outro fator influenciou na taxa de corrosão do aço carbono 1020, tal como a sua exposição na região industrial como foi o caso da Estação de Camaçari.

A corrosividade da Região Metropolitana de Salvador variou entre média e baixa, tendo apenas a ECA de Amaralina e Praia de Ipitanga como alta e muito alta, respectivamente.

Agradecimentos

Às instituições e profissionais da COELBA, ANEEL, CNPq Processo: 303729/2008-2 e LACTEC pelos apoios financeiros e de infraestrutura para o desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

1. <http://www.emtursa.ba.gov.br/Template.asp?nivel=00010006&identidade=12>, acessada em Março de 2008; ABNT NBR 14643; *Corrosão atmosférica, classificação da corrosividade de atmosferas*, Rio de Janeiro, 2001.
2. PORTELLA, K. F.; PIAZZA, F.; INONE, P. C.; RIBEIRO JÚNIOR, S.; CABUSSÚ, M. S.; CERQUEIRA, D. P.; CHAVES, C. S. S. **Efeitos da poluição atmosférica (litorânea e industrial) em isoladores da rede elétrica da região metropolitana de salvador.** *Quim. Nova*, Vol. 31, No. 2, 340-348, 2008.
3. SICA, C. Y.; **Mapeamento da corrosividade atmosférica de São Luiz – MA e a correlação das variáveis ambientais que influenciaram na degradação dos materiais metálicos.** Curitiba 2006. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná.

4. J-ATTWOOD, S. C. J. Corrosion and coatings. *Journal of the Oil and Colour Chemist's Association*, v. 75, n. 4, p. 128-137, 1992.
5. WOLYNEC, S.; WEXLER, S. B., FENILI, C. *Manual de Proteção Contra Corrosão Durante o Transporte e Armazenamento*, São Paulo, 2 ed.. Cap 1, 1992.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14643: corrosão atmosférica – classificação da corrosividade de atmosferas. Rio de Janeiro, 2001, 11 p. 50.
7. GENTIL, V.; Corrosão. 4ª ed., LTC-Livros Técnicos e Científicos S.A.: Rio de Janeiro, 2003, 341 p.
8. BARTON, K. Protection Against Atmospheric Corrosion. Theories and Methods, translation: Jonh R. Duncan, Nottingham University, Ed John Wiley & Sons, 1976.
9. MORCILLO, M.; ALMEIDA, E.; ROSALES, B.; URUCHURTU, J.; MARROCOS, M.; Corrosión y protección de metales en las atmósferas de iberoamerica: programa CYTED. Gráficas Salué: Madrid, 1998, 816 p.
10. JONES, D. A.; Principles and Prevention of Corrosion, 2ª ed., Department of Chemical and Metallurgical Engineering, University of Nevada, Reno, 1996, 600p.
11. FELIÚ, S.; MORCILLO, M.; *Corrosión y Protección de los Metales en la Atmósfera*, Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, Ediciones Bellaterra S. A.: Madrid, 1982, p. 246.
12. MORCILLO, M.; ALMEIDA, E.; ROSALES, B.; URUCHURTU, J.; MARROCOS, M.; *Corrosión y Protección de Metales en las Atmósferas de Iberoamerica: Programa CYTED*, Gráficas Salué: Madrid, 1998, p. 816.
13. PERRY, R. H.; CHILTON, C. H.; *Manual de Engenharia Química*, 5th ed., Guanabara Dois S.A.: Rio de Janeiro, 1980, ch. 3, p. 50.

14. ABNT NBR 6209: *materiais metálicos não revestidos – ensaio não acelerado de corrosão atmosférica*. Rio de Janeiro, 1986.
15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6210: preparo, limpeza e avaliação da taxa de corrosão de corpos de prova em ensaios de corrosão atmosférica. Rio de Janeiro, 1982, 16 p.
16. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM G 1-90: Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens. 1990, 7 p.
17. <http://www7.cptec.inpe.br/noticias/faces/noticias.jsp>. Acessado em 28 de dezembro de 2009.
18. http://clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/monitoramento_brasil.shtml, acessada em outubro de 2009.